

ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

1941



ГОСЭНЕРГОИЗДАТ

3

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Резолюция XVIII Всесоюзной конференции ВКП(б)	1
Миткевич В. Ф. и Климовицкий Я. А.—Старейший русский электротехник. К 75-летию М. А. Шателена	8
Всесоюзное научное инженерно-техническое общество энергетики и электро- связи — Михаилу Андреевичу Шателену	10
Манькин Э. А.—Советское трансформаторостроение — на уровень мировой техники	11
Карасев В. А. и Сапожников А. В.—За создание единого стандарта импульс- ной прочности трансформаторов и аппаратуры	16
Карасев В. А. и Перлин А. Г.—Методика импульсных испытаний трансфор- маторов срезанной волной	21
Липковский М. В.—Система нерезонирующих трансформаторов	25
Никитин В. П. и Куницкий Н. П.—Устойчивость и переходные процессы шунтового двигателя постоянного тока	30
Шенфер К. И.—Новая схема соединений метадина с тяговыми двигателями последовательного возбуждения	35
Немчин С. Ю.—Нестационарные процессы в метадинах с компаунд- ными и серийными двигателями	37
Фридкин П. А.—Новый способ питания вспомогательных электродвигателей	40
Жежерин Р. П.—Академик Николай Дмитриевич Папалекси. К 60-летию со дня рождения	42
Жизотовский Л. В.—Стеклопластиковая изоляция асинхронного двигателя и его мощ- ность	43
Трапезников В. А.—Оптимальный к. п. д. электрических машин	47
Воронцов Ф. Ф.—Применение железных проводов в городских сетях 380/220 В	53
Людмирский И. Л., Большаков Я. М., Подольский Л. П. и др.—Недооценка значения электрических правил и норм	58
Земляной М. И.—Четырнадцатая глава „Правил технической эксплуатации электрических станций и сетей“	60
Стекольников И. С.—Параметры молнии и расчет волны тока прямого удара	63
Акодиш М. М.—Развитие грозового разряда в силовую дугу и методы его изучения	69
Бургсдорф В. В.—О защитных углах тросового молниеотвода	71
Петров Г. Н.—К вопросу об оценке перегрузочной способности трансформаторов	73
Галочкин Н. П.—Результаты эксплуатации турбогенератора 160 MW завода „Электросила“	75
Мамиконов Л. Г.—Выбор сечения сопротивления гашения поля из условий нагрева	75
Егоров С. Г.—О форме для расчета электрических сетей	76
Куликовский Л. Ф.—Автоматический потенциометр	77
Капцов Н. А.—Джозеф Джон Томсон	79
Библиография	85
Рефераты	87

ЖУРНАЛ
ОСНОВАН
В 1880 Г.

ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

3
1941
МАРТ

ОРГАН АКАДЕМИИ НАУК СССР

Адрес редакции: Москва, Бол. Калужская, дом 67, 1 этаж, комн. 144, тел. В 2-45-63
Адрес для корреспонденции: Москва, Главный почтамт, почтовый ящик № 648

О задачах партийных организаций в области промышленности и транспорта

Резолюция по докладу тов. Маленкова, принятая XVIII Всесоюзной конференцией ВКП(б)

I

Успехи и недостатки в работе промышленности и транспорта

XVIII Всесоюзная конференция ВКП(б) отмечает, что промышленность и транспорт Советского Союза в 1940 году значительно продвинулись вперед в деле выполнения третьего пятилетнего плана, увеличили объем производства, обеспечили в значительной степени дальнейший рост народного хозяйства и укрепление оборонной мощи СССР.

Продукция социалистической промышленности в 1940 году увеличилась по сравнению с 1939 годом на 11%, причем темпы роста промышленного производства в 1940 году систематически нарастали.

Улучшилась, в особенности во втором полугодии 1940 года, работа ряда важнейших отраслей промышленности. Значительно выросла добыча угля. Выросли выплавка чугуна, стали и производство проката, причем особенно увеличился выпуск сталей специальных марок и качественного проката, идущих на нужды квалифицированного машиностроения и оборонной промышленности. Несколько улучшила свою работу также цветная металлургия, особенно по выпуску меди и алюминия. Машиностроительная промышленность в 1940 году добилась дальнейших успехов в деле освоения новых видов сложных машин и станков новейших конструкций. Темпы роста продукции оборонных промышленных наркоматов в 1940 году были значительно выше темпов роста продукции всей промышленности.

В результате успехов освоения новой техники и роста оборонной промышленности значительно повысилась техническая оснащенность Красной Армии и Военно-Морского Флота новейшими видами и типами современного вооружения.

Несколько улучшили свою работу также текстильная, легкая и пищевая промышленность.

Рост железнодорожных и водных перевозок обеспечил улучшение снабжения важнейших отрас-

лей народного хозяйства топливом, рудой, металлом, лесом и другими видами сырья и материалов.

В деле улучшения работы промышленности и транспорта во втором полугодии 1940 года большую роль сыграли мероприятия партии и правительства по укреплению трудовой дисциплины и переход на восьмичасовой рабочий день и семидневную рабочую неделю.

В результате этих мероприятий выросла производительность труда, укрепилась трудовая дисциплина на предприятиях.

XVIII Всесоюзная конференция ВКП(б) считает, однако, что наряду с успехами имеются также серьезные недостатки в работе промышленности и транспорта.

Ряд отраслей промышленности, в особенности паровозо- и вагоностроение, электропромышленность, лесная, бумажная, рыбная и промышленность стройматериалов отстают и не выполняют производственных планов. Нефтяная промышленность, хотя и заметно улучшила в IV квартале 1940 года свою работу, однако все же не выполнила плана 1940 года. Даже в тех отраслях промышленности, которые в целом улучшили свою работу, имеется ряд предприятий, в том числе и крупных, находящихся длительное время в состоянии отставания.

Ряд отраслей промышленности несвоевременно вводит в действие новые производственные мощности.

По ряду отраслей промышленности, в результате допущенных перерасходов сырья, материалов, топлива, электроэнергии, больших потерь от брака и других бесхозяйственных расходов, не выполнен план по снижению себестоимости промышленной продукции. Особенно это относится к таким отраслям промышленности, как нефтяная, лесная, бумажная и стройматериалов.

Несмотря на улучшение в 1940 году в работе электростанций, на электростанциях и особенно в электросетях имеет место все еще большое коли-

чество аварий, вследствие расхлябанности технического персонала и несоблюдения правил технической эксплуатации. Внедрение новой техники: переход на высокое давление и высокую температуру пара, автоматизация управления агрегатами, применение современной быстродействующей электрозащиты — происходит медленно и в недостаточных размерах.

В работе транспорта также имеются серьезные недостатки. На железнодорожном транспорте не выполняются установленные нормы оборота вагонов и все еще велико количество аварий. Ряд железных дорог плохо справляется с перевозками важнейших грузов, не организовали как следует пассажирское движение и не ликвидировали опозданий поездов.

В морском и речном транспорте плохо организована погрузо-разгрузочная работа в портах и на пристанях, имеются недостатки в организации движения судов и все еще велико количество нарушений правил технической эксплуатации флота, вследствие чего суда часто выходят из строя и становятся на ремонт во время навигации.

В работе железнодорожных станций, портов и пристаней нет надлежащей увязки, что приводит к большим простоям тоннажа и подвижного состава, к большой задержке грузов в пунктах перевалки.

II

Причины недостатков в работе наркоматов и парторганизаций в области промышленности и транспорта

XVIII Всесоюзная конференция ВКП(б) считает, что неудовлетворительная работа ряда отраслей промышленности объясняется прежде всего тем, что:

а) наркоматы ведут свою работу во многом бюрократически, не добираются еще до каждого отдельного предприятия, «руководят» своими предприятиями не по существу, а формально, путем бумажной переписки;

б) наркоматы не проверяют исполнение своих решений директорами предприятий и ограничивают, таким образом, рамки своей руководящей работы заседаниями коллегий и принятием решений, не понимая, что решения принимаются не для самих решений, а для их исполнения, не понимая, что главную часть руководящей работы должна составлять не заседательская работа и не принятие решений, а повседневная проверка исполнения этих решений;

в) многие местные партийные организации, вместо того, чтобы помочь предприятиям своей области, города, района, ослабили свою работу как в промышленности, так и на транспорте, неправильно полагая, что они не несут ответственности за работу промышленности и транспорта;

г) местные парторганизации так же, как и хозяйственные организации, не понимают смысла и значения проверки исполнения и не помогают ввиду этого наркоматам и главам наладить повседневную проверку исполнения решений наркоматов директорами подчиненных им предприятий.

Многие обкомы партии, занимаясь сельским хозяйством, делами заготовок сельскохозяйственных продуктов, забросили работу в промышленности и на транспорте, забыли о своей ответственности за работу заводов, фабрик, шахт, рудников, железных дорог своей области, города, района, а горкомы

партии, которые обязаны главное свое внимание уделять промышленности и транспорту, не занимаются этим делом и не принимают мер к улучшению работы отстающих предприятий и железных дорог.

Горкомы и обкомы партии вместо того, чтобы влезать в дела фабрик, заводов, железных дорог, нередко стоят в стороне от промышленности и транспорта, не контролируют работу предприятий, не проверяют руководящих людей на фабриках, заводах и железных дорогах, не вскрывают недостатков в их работе и тем самым попустительствуют этим недостаткам.

Горкомы и обкомы партии свыклись с тем положением, что ряд предприятий у них длительное время находится в глубоком прорыве и не принимают действительных мер к тому, чтобы покончить с этим позорным явлением.

Особенно плохо горкомы и обкомы партии занимаются предприятиями и промышленными стройками, подчиненными союзным наркоматам, ошибочно полагая, что за состояние дел на этих предприятиях и стройках отвечают исключительно наркоматы.

Крупным недостатком в работе горкомов и обкомов партии является то, что они не вникают в существо работы предприятий, не изучают экономику предприятий и, вместо этого, отделяются часто поверхностными обследованиями и верхоглядскими решениями.

XVIII Всесоюзная конференция ВКП(б) считает, что горкомы, обкомы, крайкомы, ЦК компартий союзных республик обязаны, наряду с наркоматами, нести ответственность за работу всех промышленных и транспортных предприятий города, области. Именно горкомы, обкомы, крайкомы, ЦК компартий союзных республик имеют возможность непосредственно на месте, наиболее объективно, не считаясь с узковедомственными интересами, разобраться в положении дел на предприятии, определить в чем кроются недостатки в его работе и помочь руководящим работникам предприятий и наркоматам устранить их.

III

Хозяйственно-политические задачи парторганизаций в области промышленности и транспорта

Какие меры нужно принять по линии хозяйственно-политических задач парторганизаций, чтобы ликвидировать недостатки в работе промышленности и транспорта?

1. Прежде всего необходимо безусловно ликвидировать безучастное отношение парторганизаций к состоянию промышленности и транспорта и решительно повернуть внимание парторганизаций в сторону максимальной заботы о нуждах и интересах промышленности и транспорта.

Необходимо, чтобы партийные организации систематически влезали в дела промышленных предприятий, железных дорог, пароходов и портов, выясняли их нужды и запросы и помогали хозяйственным организациям в их повседневной работе по руководству промышленностью и транспортом.

Партийные организации до сих пор главное внимание уделяли руководству сельским хозяйством. И это было правильно, пока зерновая проблема не была еще разрешена. Но теперь, когда в основном уже решены зерновая проблема и задача ежегодного получения урожая зерна в 7—8 миллиар-

дов пудов, — необходимо повернуть партийные организации в сторону промышленности и транспорта. Это не значит, что надо ослабить внимание к сельскому хозяйству. Но это значит, что партийные организации настолько выросли, что они могут заняться в равной мере и промышленностью и сельским хозяйством.

2. Необходимо, далее, чтобы парторганизации помогали наркоматам и главам проверять работу директоров предприятий, проверять исполнение решений наркоматов предприятий.

Парторганизации должны уяснить себе, что одни лишь наркоматы не в состоянии контролировать работу предприятий, проверять исполнение решений наркоматов. Поэтому парторганизации должны помочь наркоматам в деле проверки исполнения директив наркоматов предприятиями, то-есть в деле контролирования работы директоров предприятий.

3. Необходимо, далее, чтобы промышленные предприятия и железные дороги имели правильно поставленный учет оборудования, всякого рода имущества и материалов.

Партийные организации должны усвоить, что без правильного учета нельзя управлять предприятием и железной дорогой. Работа предприятий, где отсутствует сколько-нибудь нормальный учет, чревата неожиданностями. На таких предприятиях неизбежны срывы производства, вследствие неожиданной для руководителя нехватки материалов, полуфабрикатов, инструментов, оборудования. Запущенность в учете оборудования и материалов лишает директора возможности правильно и полностью использовать ресурсы предприятия и обеспечить бесперебойный ход производства.

4. Необходимо, далее, чтобы на наших промышленных предприятиях, железных дорогах и в организациях водного транспорта полностью и правильно использовалось оборудование и хозяйственно расходовались инструмент, сырье, материалы, топливо, электроэнергия.

Партийные организации должны понять, что пора решительно покончить с такой вреднейшей практикой, когда на предприятиях и железных дорогах простаивает, а иногда и просто лежит на складах немало станков и другого оборудования, когда дефицитное квалифицированное оборудование, сложные производственные агрегаты, крупные станки используются не по назначению или с неполной нагрузкой, а сырье, материалы, топливо и электроэнергия расходуются расточительно.

5. Необходимо, далее, добиться, чтобы на промышленных предприятиях и на транспорте все материальные ценности содержались в сохранности и в хорошем состоянии, чтобы руководители предприятий берегли доверенное им государственное имущество: здания, оборудование, инструмент, материалы.

Надо немедленно покончить с таким нерадивым и нехозяйским отношением к народному добру, когда оборудование, сырье, материалы, инструмент, в которых остро нуждается наша промышленность, часто, валяясь где попало, портятся, ржавеют, приходят в негодность, когда несвоевременный и недоброкачественный ремонт оборудования, зданий и сооружений, подвижного состава железных дорог преждевременно их разрушает и выводит из строя.

6. Необходимо, далее, покончить с установившейся на многих предприятиях и железных дорогах практикой продажи так называемого демонтируе-

мого и излишнего оборудования и материалов, что является не чем иным, как расхищением социалистической собственности.

Партийные организации обязаны обеспечить контроль за строжайшим проведением в жизнь Указа Президиума Верховного Совета СССР от 10 февраля 1941 года «О запрещении продажи, обмена и отпуска на сторону оборудования и материалов и об ответственности по суду за эти незаконные действия».

7. Необходимо, далее, навести и повседневно поддерживать чистоту и элементарный порядок в предприятиях и на железных дорогах.

Парторганизации обязаны решить немедленно задачу поддержания чистоты и порядка на предприятиях, как задачу, не терпящую никаких отлагательств. Без чистоты и порядка немыслима нормальная работа современного предприятия. Грязь есть неизбежный спутник и источник расхлябанности, расшатанности дисциплины, разболтанности, отсутствия порядка на заводе, фабрике, железной дороге. Без элементарной культуры на производстве нельзя обеспечить дальнейший подъем нашей промышленности и транспорта.

8. Необходимо, далее, покончить с бесплановостью, с неравномерным выпуском продукции, со штурмовщиной в работе предприятий и добиться ежедневного, по заранее разработанному графику, выполнения производственной программы каждым заводом, фабрикой, шахтой, железной дорогой.

Партийные организации должны понять, что неравномерный выпуск готовой продукции создает неправильный режим работы предприятия, приводит к простоям оборудования, простоям рабочей силы, к недоиспользованию производственных мощностей, к увеличению брака, к непроизводительным переплатам за сверхурочные работы. Такой неправильный режим держит предприятие в лихорадочном состоянии и ставит под постоянную угрозу срыва выполнение ил государственного плана.

9. Необходимо, далее, добиться на наших предприятиях соблюдения строжайшей дисциплины в технологическом процессе, ввести на всех предприятиях точные инструкции технологических процессов, установить контроль за их соблюдением и обеспечить, таким образом, выпуск доброкачественной и комплектной продукции, полностью отвечающей установленным стандартам.

Партийным организациям, работникам предприятий, наркоматов пора усвоить, что новые точные механизмы, которыми оснащены наши предприятия, требуют строгого порядка в производстве, точного соблюдения технических правил и инструкций и что теперь уже нельзя работать по-старинке, вразвалку, кое-как, на-глазок.

Партийные организации обязаны обеспечить строжайшее проведение в жизнь Указа Президиума Верховного Совета СССР от 10 июля 1940 года «Об ответственности за выпуск недоброкачественной или некомплектной продукции и за несоблюдение обязательных стандартов промышленными предприятиями».

10. Необходимо, далее, особое внимание уделять вопросам новой техники, непрестанно работать над усовершенствованием техники, над освоением производства новых машин, материалов и изделий.

Парторганизации, работники промышленности и транспорта должны полностью использовать огромные возможности социалистического строя для расцвета технической мысли и для скорейшего

внедрения новых достижений техники в производство.

Необходимо положить конец хвостистскому, в корне оппортунистическому отношению к новой технике со стороны части руководителей предприятий, так как такой консерватизм мешает дальнейшему развитию производства, обрекает предприятия на отсталость и прозябание, подрывает оборонную мощь страны.

11. Необходимо, далее, систематически **снижать себестоимость выпускаемой продукции**, всячески укреплять хозрасчет, решительно выкорчевывать расточительство.

В целях правильного руководства работой предприятия, необходимо знать фактические расходы на единицу изделия по основным элементам себестоимости — заработной плата, стоимость сырья, топлива и электроэнергии, амортизационные начисления, административно-управленческие расходы, и направлять экономическую сторону деятельности предприятия так, чтобы планы по себестоимости и по прибылям безусловно выполнялись.

12. Необходимо, далее, в области заработной платы строго и последовательно проводить принцип материального поощрения хорошо работающих, осуществляемый в виде сдельной системы оплаты для рабочих, премиальной системы для руководящих работников и в виде большей оплаты квалифицированного труда, сравнительно с неквалифицированным.

Необходимо до конца ликвидировать гнилую практику уравниловки в области заработной платы и добиться того, чтобы сдельщина и премиальная система в еще большей мере стали важнейшими рычагами в деле повышения производительности труда, а следовательно, и развития всего нашего народного хозяйства.

13. Необходимо, далее, полностью ликвидировать прогулы.

Проведение в жизнь Указа Президиума Верховного Совета СССР от 26. VI. 1940 г. «О переходе на восьмичасовой рабочий день, на семидневную рабочую неделю и о запрещении самовольного ухода рабочих и служащих с предприятий и учреждений» значительно улучшило состояние трудовой дисциплины на предприятиях. Однако, прогулы и самовольные уходы на многих фабриках, заводах, рудниках, шахтах, железных дорогах еще далеко не прекратились.

Партийные организации, профсоюзы, работники промышленности и транспорта обязаны вести неустанную работу по укреплению трудовой дисциплины в промышленности и на транспорте, памятуя о том, что задача борьбы с текучестью рабочей силы и прогулами является не кратковременной кампанией, а требует повседневной работы в массах.

14. Необходимо, далее, решительно укрепить единоначалие на предприятиях и добиться того, чтобы директор предприятия стал на деле полномочным руководителем, целиком отвечающим за состояние предприятия и за порядок на производстве.

15. Необходимо, далее, всемерно укрепить на предприятиях техническое руководство производством.

Необходимо направить на предприятия, в цеха, в шахты на подземные работы часть инженеров и техников, работающих в центральных и местных

хозяйственных учреждениях и в аппаратах заводоуправлений и шахтоуправлений.

16. Необходимо на предприятиях **поднять роль мастера**, как непосредственного организатора производства и поставить дело таким образом, чтобы мастер являлся полноправным руководителем на порученном ему участке производства, полностью отвечающим за соблюдение технологической дисциплины и за выполнение производственного задания по всем показателям.

17. В отношении молодых, оканчивающих вузы, специалистов, необходимо установить такой порядок, чтобы каждый, окончивший высшее учебное заведение, получал производственный опыт на предприятии, проходил в обязательном порядке стаж практической работы — помощника мастера, мастера, инженера в цехе.

IV

Организационные задачи парторганизаций в области промышленности и транспорта

Какие меры нужно принять по линии организационных задач парторганизаций, чтобы ликвидировать недостатки в работе промышленности и транспорта?

1. В целях усиления помощи наркоматам и предприятиям промышленности и транспорта, необходимо иметь в городах, областях, краях и республиках с развитой промышленностью не одного, а несколько секретарей горкомов, обкомов, крайкомов, ЦК компартий союзных республик по промышленности, соответственно основным отраслям промышленности, имеющимся в городе, области, крае, республике, а также там, где это нужно, секретаря по железнодорожному транспорту и секретаря по водному транспорту.

Секретари по промышленности и транспорту обязаны хорошо знать, что делается на предприятиях, регулярно бывать на них, должны быть лично связаны как с работниками предприятий, так и с соответствующими наркоматами, должны помогать им в выполнении планов и решений партии по промышленности и транспорту, систематически проверять исполнение этих решений, вскрывать недостатки в работе предприятий и добиваться ликвидации этих недостатков.

2. Партийные организации обязаны изучать и хорошо знать руководящих хозяйственных и инженерно-технических работников промышленных предприятий и железных дорог.

Необходимо смело выдвигать на руководящие должности на заводах, фабриках, железных дорогах способных и инициативных работников, хороших организаторов, в особенности из числа инженеров, знатоков своего дела.

Необходимо выдвигать не только партийных, и непартийных большевиков, памятуя, что среди беспартийных имеется много способных и честных работников, которые хотя и не состоят в партии и не имеют стажа, но работают часто лучше добросовестнее, чем некоторые коммунисты с стажем.

Партийные организации обязаны своевременно ставить вопрос о замене негодных и слабых работников, о замене работников безвольных и неспособных руководить предприятием, железной дорогой и наводить порядок на производстве. Болтунов, людей неспособных на живое дело, необходи-

димо освобождать и ставить на меньшую работу, безотносительно к тому, являются ли они партийными или беспартийными.

3. Необходимо покончить с отрывом отделов железнодорожного и водного транспорта от территориальных партийных организаций. Политотделы должны быть подотчетными обкомам, горкомам партии.

Обкомы и горкомы партии обязаны добиться ликвидации канцелярских методов в работе политотделов и превратить их в боевые органы партии, болеющие за работу транспорта и активно помогающие делу подъема транспорта.

4. Необходимо восстановить значение производственно-хозяйственных активов на предприятиях и в наркоматах.

В целях наилучшего использования опыта низовых работников, инженеров, стахановцев и развертывания критики и самокритики, необходимо регулярно собирать активы в наркомате, главке, дороге, заводе, шахте. Активы надо собирать как с привлечением на них работников различных отраслей промышленности, так и по отдельным отраслям промышленности и транспорта.

5. Необходимо всемерно развивать стахановское движение, направляя инициативу стахановцев на повышение производительности труда, на разрешение важнейших вопросов производства, на подтягивание отстающих участков производства.

6. Необходимо покончить с неправильной практикой, когда на ряде предприятий партийные, профсоюзные, комсомольские и другие общественные организации проводят в рабочее время собрания, заседания, совещания, дезорганизуя тем самым нормальную работу предприятий.

Необходимо безусловно воспретить партийным, советским, профсоюзным, комсомольским и другим общественным организациям:

а) созыв на предприятиях и в учреждениях в рабочее время собраний, заседаний и всякого рода совещаний;

б) вызов в рабочее время рабочих и служащих;

в) снятие рабочих и служащих предприятий и учреждений для посылки их на проведение текущих кампаний или в командировки по шефским и т. п. делам;

г) отвлечение в рабочее время рабочих и служащих предприятий и учреждений от их непосредственной работы для участия, по поручению общественных организаций, в обследовательских комиссиях и бригадах.

Нужно раз навсегда установить, что рабочие и служащие предприятий и учреждений выполняют поручения общественных организаций только в нерабочее время.

★

Наша промышленность была и есть база развития всего народного хозяйства. Промышленность была и есть руководящее начало во всей системе народного хозяйства. Промышленность ведет вперед все наше социалистическое хозяйство, включая

сельское хозяйство и транспорт. Промышленность была и есть база оборонной мощи страны. В современной международной обстановке перед нашей промышленностью, перед всеми ее отраслями стоят ответственнейшие задачи. Она должна работать исключительно организованно, максимально производительно. Переоборудованная на новой современной технической базе, обеспеченная собственными источниками всех видов промышленного сырья, наша промышленность может и должна работать значительно лучше и давать продукцию по всем отраслям гораздо больше и более высокого качества, чем сейчас.

Хозяйственные и партийные руководители должны повести дело так, чтобы в 1941 году ни в одной области, ни в одном городе и промышленном центре не осталось ни одного отстающего предприятия. В нашей промышленности и на транспорте не должно быть отстающих предприятий. Все заводы, фабрики, шахты, железные дороги обязаны выполнять план.

Бороться за выполнение плана, обеспечить выполнение плана, работать по плану — это значит:

а) выполнять годовой, квартальный и месячный планы по выработке продукции не в среднем, как это было до сих пор, а равномерно по плану, по заранее разработанному графику производства готовой продукции;

б) выполнять план не только в среднем по отрасли промышленности, как это было до сих пор, а выполнять его по каждому предприятию в отдельности;

в) выполнять план не только в среднем по предприятию, как это было до сих пор, но выполнять план ежедневно в каждом цехе, в каждой бригаде, на каждой станке и в каждой смене;

г) выполнять план не только по количественным показателям, но обязательно и качественно, комплектно, по ассортименту, с соблюдением установленных стандартов и по установленной планом себестоимости.

Большие успехи достигнуты нашей страной в экономическом и культурном строительстве. Но нельзя зазнаваться и успокаиваться на этих успехах. Самая большая опасность — почить на лаврах и удовлетвориться уже достигнутым. Это было бы губительным для нашего дела. У нас много еще крупных недостатков. Терпимость к недостаткам в работе промышленности и транспорта чрезвычайно опасна и вредна.

XVIII Всесоюзная конференция ВКП(б) выражает уверенность в том, что наши партийные организации и все руководящие работники промышленности и транспорта со всей большевистской настойчивостью возьмутся за немедленную ликвидацию недостатков в работе промышленности и транспорта, коренным образом улучшат свою работу в этой области и, на основе выполнения решений XVIII конференции, мобилизуя всю массу рабочих, служащих, инженеров и техников вокруг этих решений, добьются уже в ближайшее время новых, решительных побед социалистической промышленности и транспорта.

Хозяйственные итоги 1940 года и план развития народного хозяйства СССР на 1941 год

Резолюция по докладу тов. Вознесенского, принятая XVIII Всесоюзной конференцией ВКП(б)

I

Итоги 1940 года

XVIII Всесоюзная конференция ВКП(б) отмечает, что в 1940 году народное хозяйство СССР значительно продвинулось вперед в решении задач, поставленных третьим пятилетним планом, принятым XVIII съездом ВКП(б).

Производство промышленности СССР выросло за три года третьей пятилетки с 95,5 миллиарда рублей в 1937 году до 137,5 миллиарда в 1940 году или на 44%, в том числе продукция машиностроения и металлообработки выросла на 76%.

В 1940 году, несмотря на военные действия, продолжавшиеся в начале года, промышленная продукция СССР выросла на 11% или на 13,6 миллиарда рублей против 1939 года, в том числе продукция машиностроения и металлообработки — на 19%. Темпы роста промышленной продукции возрастали из месяца в месяц на протяжении всего 1940 года.

Производство средств производства в 1940 году выросло на 13,8% против 1939 года и на 52% против 1937 года. Производство средств потребления выросло в 1940 году на 7% против 1939 года и на 33% против 1937 года.

Черная металлургия со второй половины 1940 года начала заметно улучшать свою работу, достигнув к концу 1940 года среднесуточной выплавки чугуна в 46—47 тысяч тонн против 40 тысяч тонн в конце 1937 года и по стали 58—59 тысяч тонн против 50—51 тысячи тонн.

Улучшила также свою работу цветная металлургия. Выплавка алюминия в 1940 году выросла против 1937 года на 59%, меди на 65%, никеля на 280% и олова на 300%.

Однако, увеличение производства металла отстает от заданий третьего пятилетнего плана и еще не обеспечивает растущих потребностей народного хозяйства СССР.

Выросла, особенно за вторую половину 1940 года, угольная промышленность СССР. Прирост добычи угля за год составил 13% или почти 19 миллионов тонн против уровня 1939 года. Со второй половины 1940 года началось улучшение в нефтяной промышленности, причем к концу года среднесуточная добыча повысилась до 97—98 тысяч тонн против 84—86 тысяч тонн в конце 1937 года. Однако, отставание нефтяной промышленности от заданий третьей пятилетки еще не устранено.

Мероприятия, проведенные ЦК ВКП(б) и СНК СССР по укреплению трудовой дисциплины и увеличению рабочего времени на предприятиях и в учреждениях, привели к дальнейшему росту производительности труда и создали условия для нового подъема промышленности. Однако, возможности роста производительности труда и увеличения производства далеко не использованы рядом отраслей промышленности, особенно лесной промышленностью и промышленностью строительных материалов, ко-

торые резко недовыполнили план 1940 года и являются отстающими отраслями промышленности.

За 1940 год железнодорожные перевозки выросли с 392 миллиардов тонно-километров в 1939 году до 409 миллиардов тонно-километров в 1940 году. Речные перевозки увеличились до 36 миллиардов тонно-километров против 33 миллиардов тонно-километров в 1937 году и 34,6 миллиарда тонно-километров в 1939 году. Однако, в работе железнодорожного транспорта имеют место серьезные дефекты: продолжают нерациональные перевозки, загружающие транспорт, не ликвидированы узкие места в пропускной способности ряда узлов и направлений.

Выросла валовая продукция зерна, сахарной свеклы, подсолнечника, картофеля и овощей. Продукция зерновых культур по СССР в 1940 году составила около 7,3 миллиарда пудов.

Выросло в 1940 году поголовье скота в колхозах — крупного рогатого скота на 12%, свиней на 15%, овец на 25% и коз на 34%. Общественное колхозное животноводство уверенно повышает свою долю во всем поголовье скота в стране.

Растет материальный и культурный уровень трудящихся СССР. Фонд заработной платы рабочих и служащих в СССР увеличился в 1940 году до 123,7 миллиарда рублей против 82,2 миллиарда рублей в 1937 году и 116,5 миллиарда рублей в 1939 году. Увеличились общественные доходы колхозов и личные доходы колхозников.

Объем капитальных вложений по строительству новых предприятий составил в 1940 году почти 38 миллиардов рублей (в том числе около 6 миллиардов рублей по нецентрализованным капитальным вложениям), а всего за три года третьей пятилетки 108 миллиардов рублей (в том числе 17,5 миллиарда рублей по нецентрализованным капитальным вложениям). За эти три года вступили в строй в государственной промышленности сотни фабрик, заводов, шахт, электростанций и других предприятий, в результате чего введено в действие 51 миллион тонн мощности по добыче угля на новых шахтах, около 2.400 тысяч киловатт мощностей на электростанциях, доменных печей мощностью в 2.900 тысяч тонн чугуна, около 1 миллиона хлопкопрядильных веретен.

II

Хозяйственный план на 1941 год

XVIII Всесоюзная конференция ВКП(б) считает главной хозяйственной задачей 1941 года дальнейший рост основных отраслей промышленности и всего народного хозяйства — металлургии, машиностроения, сельского хозяйства, транспорта. Особенно необходим дальнейший рост производства чугуна, стали, цветных металлов, угля, нефти и максимальное развитие машиностроения всех видов.

XVIII Всесоюзная конференция ВКП(б) одобряет принятый ЦК ВКП(б) и СНК СССР государственный план развития народного хозяйства СССР на

1941 год и предлагает партийным, советским и хозяйственным организациям сосредоточить внимание и силы на решении следующих хозяйственных задач 1941 года:

1. Довести выпуск валовой продукции промышленности СССР до 162 миллиардов рублей с ростом против уровня 1940 года на 17—18%, в том числе по группе средств производства на 23,5% и по группе предметов потребления на 9%.

2. Увеличить производство чугуна до 18 миллионов тонн, выплавку стали — 22,4 миллиона тонн и производство проката — 15,8 миллиона тонн.

3. Обеспечить добычу угля в размере 191 миллиона тонн, нефти с газом — 38 миллионов тонн и торфа — 39 миллионов тонн.

4. Обеспечить рост продукции машиностроения против 1940 года на 26%.

5. Обеспечить прирост мощностей электростанций на 1,75 миллиона киловатт.

6. Увеличить мощность хлопчатобумажной промышленности на 850 тысяч прядильных веретен.

7. Увеличить валовую продукцию зерновых культур на 8%.

8. Обеспечить среднесуточную погрузку на железных дорогах в размере 103 тысяч вагонов. Преодолеть отставание от потребностей народного хозяйства в развитии перевозок водного транспорта.

9. Увеличить розничный товарооборот государственной и кооперативной торговли до 197 миллиардов рублей.

10. Увеличить производительность труда в промышленности и строительстве на 12%.

11. Снизить себестоимость промышленной продукции на 3,7% и обеспечить за этот счет дополнительное накопление в промышленности в размере 7,3 миллиарда рублей.

12. Увеличить число учащихся в начальных и средних школах до 36,2 миллиона человек и в высших учебных заведениях до 657 тысяч человек с тем, чтобы довести общие расходы на социально-культурные мероприятия до 48 миллиардов рублей.

13. Выполнить программу капитальных вложений в размере 57 миллиардов рублей (в том числе 9 миллиардов рублей по нецентрализованным капитальным вложениям).

14. Обеспечить дальнейшее увеличение материальных и финансовых государственных резервов.

★

XVIII Всесоюзная конференция ВКП(б) выражает твердую уверенность, что все партийные организации еще более развернут социалистическое соревнование в рабочем классе, колхозном крестьянстве и среди интеллигенции и обеспечат выполнение и перевыполнение плана развития народного хозяйства СССР на 1941 год.

„Большевик должен быть подлинным борцом против рутины в вопросах новой техники, новой продукции, новых методов производства“.

„Большевик, революционер в технике, в хозяйстве — тот, кто умеет ломать устаревшие традиции, заменять их новыми и идти вперед. Этому учит нас товарищ Сталин“.

Из доклада тов. Маленкова „О задачах партийных организаций в области промышленности и транспорта“ на XVIII Всесоюзной конференции ВКП(б).

Старейший русский электротехник

К 75-летию со дня рождения М. А. Шателена

**Акад. В. Ф. МИТКЕВИЧ
и инж. Я. А. КЛИМОВИЦКИЙ**

Заслуженный деятель науки и техники, член-корреспондент Академии Наук СССР, доктор технических наук, профессор-орденоносец Михаил Андреевич Шателен является старейшим русским электротехником, создавшим и возглавляющим многочисленную школу советских электротехников, и авторитетным ученым, получившим известность также за пределами СССР.

М. А. Шателен немедленно же после Великой Октябрьской социалистической революции отдал все свои силы, опыт и знания делу технической реконструкции нашей страны и до самого последнего времени принимает деятельное участие в решении ряда вопросов, имеющих весьма актуальное народнохозяйственное значение, главным образом в области электрификации СССР.

Особенно велики заслуги Михаила Андреевича в области применения высоких напряжений для электриче-

ских линий передачи энергии. Еще в 1910 г. М. А. Шателен создал при Петербургском Политехническом институте — ныне Ленинградском Политехническом институте им. Калинина — одну из первых в мире и первую в России высоковольтную лабораторию и организовал в ней ряд исследований, имевших целью детально изучить явления, происходящие в опытной высоковольтной линии, которая была специально построена вблизи лаборатории. Вместе с тем, организуя эти исследования, М. А. Шателен стремился фактическими данными опровергнуть господствовавшие в то время в России предельческие установки, сущность которых сводилась к утверждению, что практическое применение напряжений выше 80—100 kV представляет значительную опасность и нерационально ввиду, якобы, непреодолимых технических трудностей. Современное развитие электрических передач высокого напряжения с полной очевидностью доказывает, что основное направление, настойчиво

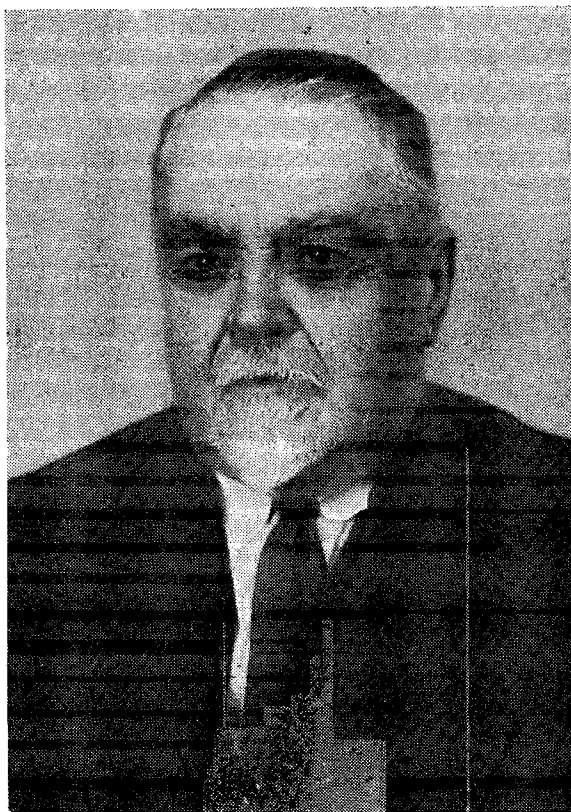
проводившееся М. А. Шателеном, было вполне правильно.

По всей справедливости М. А. Шателен должен быть признан пионером в области применения высоких напряжений в нашей стране. Нет ни одной крупной электропередачи в СССР, при проектировании и осуществлении которой в той или иной форме не отразились бы труды М. А. Шателена и его прогрессивные идеи, касающиеся высоковольтных линий. Заслуги М. А. Шателена в области высоких напряжений нашли свое признание и за границей: в 1933 г. он был избран членом совета Международных конференций по сетям высоких напряжений и вице-президентом названных конференций.

При организации в 1920 г. Государственной Комиссии по электрификации России (ГОЭЛРО) М. А. Шателен был назначен ее членом и руководителем составления плана по Северному району.

Работы, выполненные под его руководством, и «План электрификации Северного района» были напечатаны отдельным изданием и затем вошли в общее издание «Плана электрификации РСФСР», утвержденного VIII съездом Советов. С основанием Госплана в 1921 г. М. А. Шателен был назначен членом Госплана и принимал участие в разработке планов электрификации Союза, а также в разработке отдельных вопросов, в частности электрификации транспорта. Работы по этим вопросам опубликованы в изданиях Госплана. За участие в работах Госплана СССР в области электрификации М. А. Шателен был награжден в 1936 г. орденом Трудового Красного знамени.

М. А. Шателен принимал деятельное участие в крупном электростроительстве как по экспертизе проектов (Волхов, Свирь, Днепр и др.), так и в качестве члена технических советов строительства при выполнении этих проектов (Волховстрой, Свирьстрой, «Красный Октябрь» и др.). Под общим его



руководством, в качестве председателя Бюро Волховстрой — Электроток, был разработан проект и была сооружена первая в Союзе 35-киловольтная кабельная сеть в Ленинграде.

За время своей многолетней деятельности М. А. Шателен, подобно некоторым другим электрикам старого поколения, проявил себя в разнообразных областях электротехники. Еще в восьмидесятых годах прошлого столетия он, по окончании физико-математического факультета С.-Петербургского университета, уехал в Париж, где поступил рабочим в Компанию Эдисона, которая выполняла ряд электротехнических работ во Франции и строила динамомашину. На службе в Компании Эдисона Михаил Андреевич прошел все ступени от черно-рабочего до шеф-монтера, работал на заводе по постройке динамомаши и уже в качестве шеф-монтера работал в Париже по сооружению первой в Европе центральной станции переменного тока сравнительно высокого, по тому времени, напряжения и соответствующей кабельной линии тоже высокого напряжения. Результатом работы в Париже явился ряд статей по различным вопросам электротехники вообще и электрического освещения, в частности, опубликованных в журнале «Электричество». Заслуживают упоминания статья «О расчете освещенности площадей и улиц», явившаяся одной из первых попыток расчета освещенности, а также статья «Об электрических счетчиках», представлявшая первый опыт научной классификации этих новых тогда электроизмерительных приборов.

Вопросам электрометрии М. А. Шателен уделял большое внимание на протяжении всей своей деятельности. Как профессор он, помимо курса «Общей электротехники», впервые в России начал читать особый курс «Электрических измерений» и воспитал многочисленных кадры специалистов в этой области. С 1929 г. по 1933 г. он состоял президентом Главной палаты мер и весов и при этом много способствовал углубленной разработке основных проблем, касающихся эталонов электрических и световых единиц, а также организовал сравнение советских эталонов с эталонами, находящимися в главнейших метрологических лабораториях всего мира. Эти сравнения послужили к усовершенствованию эталонов и к определению соотношений между единицами разных стран. В 1900 г. в качестве вице-президента Международного электротехнического конгресса (в Париже) М. А. Шателен принимал деятельное участие в работах этого конгресса и в особенности в работах секции по единицам мер, установившей систему магнитных единиц. С тех пор М. А. Шателен непрерывно принимает участие в работах международных организаций, ведающих вопросами метрологии и стандартизации, в частности во всех работах Международной электротехнической комиссии (Лондон), членом совета которой он был избран в 1926 г. Кроме того, с 1930 г. он

состоит членом Международного комитета мер и весов. В том же году он был избран членом совета Мировых энергетических конференций.

Французское общество электротехников и Английский институт инженеров-электриков избрали М. А. Шателена почетным членом, а Американский институт инженеров-электриков — почетным секретарем.

В дополнение к изложенному выше краткому обзору научно-технической деятельности М. А. Шателена на протяжении 50 лет, необходимо еще указать, что, будучи избран членом-корреспондентом Академии Наук СССР, М. А. Шателен до самого последнего времени принимал активное участие в работах, относящихся к областям электроэнергетики, электрификации железных дорог, светотехники и единиц мер, состоя председателем соответствующих комиссий при отделении технических наук Академии Наук.

До самого последнего времени Михаил Андреевич не прекращает и своей плодотворной педагогической работы. Еще с 1891 г. начал Михаил Андреевич преподавательскую работу по физике в Горном институте и на Высших женских курсах в качестве лаборанта, а в 1893 г. был по конкурсу избран преподавателем электротехники в С.-Петербургском электротехническом институте, только что преобразованном из Телеграфно-телефонного училища. В том же году он был избран также преподавателем электротехники в Горном институте. С этого (1893 г.) собственно и начинается многолетняя педагогическая деятельность М. А. Шателена в области электротехники. В Электротехническом институте, где вскоре он был утвержден в должности профессора, первого профессора электротехники в России, им было организовано систематическое преподавание этой дисциплины и созданы соответствующие лаборатории. Таким образом М. А. Шателен является пионером в деле постановки специального электротехнического образования в России. Первые инженеры-электрики в нашей стране были его непосредственными учениками.

Профессорская деятельность М. А. Шателена была прервана весной 1901 г. вследствие увольнения его из числа профессоров Электротехнического института по приказу министра внутренних дел Сипягина в связи со студенческими беспорядками. Однако уже в конце того же года М. А. Шателен был приглашен для организации создававшегося тогда Политехнического института, в котором он был назначен профессором электротехники и состоял первым деканом электромеханического отделения.

В Политехническом институте перед М. А. Шателеном открылось широкое поле деятельности. Кроме активнейшего участия в организации учебной жизни вновь создаваемого института в целом и его электромеханического отделения, в частно-

сти, М. А. Шателену пришлось много потрудиться над организацией ряда электротехнических лабораторий и других учебно-вспомогательных учреждений, которые были весьма необходимы для надлежащей постановки научной и учебной работы на электромеханическом отделении, имевшем целью готовить новый тип инженеров-электриков для энергетического строительства. В 1918—1919 гг. М. А. Шателен нес обязанности ректора Политехнического института.

В 1905 г. М. А. Шателен принял большое участие в организации Высших женских политехнических курсов и был на них первым профессором электротехники. Состоя с 1901 г. профессором Политехнического института, он продолжает читать лекции по электротехнике, руководит научно-исследовательской работой, принимает участие в составлении учебных руководств и вообще всемер-

но содействует воспитанию наших молодых кадров. Большое количество его учеников и учеников его учеников занимают ответственные посты в ряде отраслей народного хозяйства и в качестве профессоров работают в ряде высших учебных заведений нашего Союза.

Наряду с интенсивной научно-технической деятельностью М. А. Шателен ведет и большую общественную работу, будучи членом Ленинградского Совета депутатов трудящихся, председателем оргбюро ВНИТОЭ и активным участником ряда других учреждений и организаций.

Известны большие заслуги М. А. Шателена в организации и руководстве журнала «Электричество».

Пожелаем же М. А. Шателену еще многих лет дальнейшей успешной работы на благо нашей социалистической родины.

Михаилу Андреевичу Шателену

Всесоюзное научное инженерно-техническое общество энергетики и электросвязи (ВНИТОЭ), объединяющее электротехническую и энергетическую общественность СССР, горячо приветствует Вас — своего руководителя и председателя оргбюро, отмечая семидесятипятилетие со дня Вашего рождения и пятидесятилетие Вашей научной, педагогической, инженерной и общественной деятельности.

Вы являлись одним из первых организаторов и руководителей русской электротехнической общественности в годы зарождения электротехники, как могучего фактора развития промышленности и культуры. Все десять лет, в течение которых Вы возглавляли VI отдел Русского технического общества, Вы делали все возможное в условиях дореволюционной России для того, чтобы открыть дорогу для самостоятельного развития отечественной электротехники и установить приоритет славных русских деятелей науки и изобретателей.

Для советской энергетической общественности особенно ценны Ваши труды и плодотворная деятельность в качестве члена Государственной комиссии по электрификации России (ГОЭЛРО), члена Госплана СССР, члена и одного из руководителей Центрального электротехнического совета, так как эта деятельность связывается с историческим периодом в организации и развитии нашего социалистического народного хозяйства. Общество отмечает также, что Вы с первых же лет хозяйствен-

ного восстановления страны и ее индустриализации были в рядах активных работников инженерно-технических и научных общественных организаций, работу которых продолжает под Вашим руководством ВНИТОЭ.

Во всей Вашей деятельности исключительным является сочетание науки и инженерного творчества, которое Вы проявили во многих областях энергетики, с общественной, политической и государственной работой.

Ваш опыт передового общественного деятеля и неиссякаемая энергия, которые Вы отдаете в работе ВНИТОЭ, ведут к расширению и подъему деятельности его, охватывающей тысячи инженеров, техников и стахановцев, объединяемых обществом.

По поручению Московского, Харьковского, Киевского, Уральского, Ярославского, Одесского, Горьковского, Днепропетровского, Куйбышевского, Азербайджанского, Северо-Кавказского, Донецкого, Грузинского, Ивановского и Белорусского отделений ВНИТОЭ —

Оргбюро ВНИТОЭ: инж. А. С. Румянцев, проф. В. Н. Шретер, проф. В. П. Иванов, проф. Р. А. Сапожников, проф. Б. Е. Воробьев, доц. М. С. Вонский, инж. Л. К. Грейнер, инж. А. С. Горшков

Советское трансформаторостроение—на уровень мировой техники

Инж. Э. А. МАНЬКИН

Московский трансформаторный завод им. Куйбышева

Трансформатор является одним из ответственных элементов современной энергетической системы. Безаварийная работа системы и качество отпущаемой потребителю электроэнергии в значительной степени зависят от качества трансформаторов.

Обсудить современное положение советского трансформаторостроения; наметить очередные и перспективные задачи дальнейшего технического развития советского трансформаторостроения и конкретные пути их решения; выработать рекомендации по основным вопросам текущей практики эксплуатации,—таковы были основные задачи, которые ставило себе состоявшееся в конце ноября 1940 г. расширенное совещание по трансформаторостроению, созданное МОНИТО-Э совместно с наркоматами электростанций и электропромышленности. В работе совещания приняли участие работники Московского трансформаторного завода имени Куйбышева, ВЭИ и других научно-исследовательских институтов, наркомата электростанций, энергообъединений, работники проектных организаций и др.

Кроме общих докладов (С. И. Рабинович — МТЗ — «Современное состояние и очередные задачи советского трансформаторостроения», заместитель народного комиссара электростанций Д. Г. Жимерин — «Требования к трансформаторостроению на основе эксплуатационного опыта») совещанию было представлено свыше десяти докладов и ряд содокладов и сообщений по отдельным вопросам построения и эксплуатации трансформаторов.

Одно из центральных мест в работе совещания было отведено вопросу о трансформаторах с регулируемым под нагрузкой напряжением, которому были посвящены доклады И. М. Марковича (Мосэнерго), Ю. С. Кронгауза (МТЗ), И. А. Антонова и Б. М. Лебедева (МТЗ).

В условиях современных разветвленных систем от одной узловой точки обычно питается одновременно целый ряд потребителей с различными суточными графиками нагрузки, различными значениями коэффициента мощности и различной длиной питающих фидеров. Обеспечить надлежащий уровень напряжения и выдержать экономически и технически приемлемые пределы его колебания у всех потребителей в этих условиях практически возможно только путем применения соответствующих регуляторов, к которым, в первую очередь, относятся трансформаторы с регулируемым под нагрузкой коэффициентом трансформации.

Экономический эффект от применения регулируемых трансформаторов особенно резко сказывается в условиях осветительной нагрузки. Так, если при помощи регулирующего устройства изменить понижение напряжения от оптимального с 10 на 5%, то одна только экономия на люмен-час по ориентировочным подсчетам [1] окупает стоимость установки специального фидерного регулятора в 3 месяца.

Не менее важной областью является применение регулируемых трансформаторов для поддержания

надлежащего уровня напряжения в узловых точках системы, различно удаленных от центральной станции, или для поддержания постоянства напряжения при реверсировании потока энергии (переход от повысительного режима к понизительному и обратно).

Применение в кольцевых системах бустеров с регулированием напряжения по величине и по фазовому углу (так называемое продольное и поперечное регулирование) позволяет перераспределять потоки активной и реактивной мощности в кольцевой системе, повысить степень использования одних участков кольца, предотвратив перегрузку других участков, и тем самым снизить суммарные потери.

Столь существенные технико-экономические преимущества регулируемых трансформаторов обусловили их широкое распространение в Европе и США.

У нас в СССР крупные трансформаторы с регулируемым под нагрузкой напряжением строятся уже в течение 4—5 лет. Несколько десятков трансформаторов и ряд бустеров успешно работают в различных энергосистемах без каких-либо аварий и повреждений. Отзыв о надежной работе советских регулируемых трансформаторов дали и выступавшие в прениях представители некоторых энергообъединений. В то же время — с импортными трансформаторами некоторых европейских фирм имел место ряд аварий. Объясняется этот факт в основном тем [2], что в европейских конструкциях, как правило, для ограничения тока, циркулирующего между соседними ответвлениями обмотки в процессе перехода с одной ступени напряжения на другую, служит омическое сопротивление. Неотъемлемой частью этой конструкции является пружинный привод к контакторам с весьма короткой длительностью цикла переключения, которая необходима для ограничения потерь в токоограничивающем сопротивлении и обусловленного ими нагрева. В этих условиях всякий дефект в кинематике привода, ведущий к задержке процесса переключения, неизбежно влечет за собой перегорание сопротивления, рассчитанного лишь на чрезвычайно кратковременное прохождение тока.

В схеме, принятой МТЗ им. Куйбышева, функцию ограничения циркулирующего тока в процессе переключения выполняет индуктивное сопротивление в виде реактора с железным сердечником. Эта схема позволяет работать с значительно меньшими скоростями переключения, благодаря малым потерям в реакторе. Последний рассчитывается так, что, в случае «застывания» переключающего механизма в промежуточном положении, трансформатор может без вреда для себя продолжать работать.

Разумеется, что вторая схема дороже первой, однако, повышенная стоимость ее вполне оправдывается повышенной надежностью.

Разработанные заводом конструкции аппаратуры позволяют строить с регулируемым под нагрузкой напряжением трехфазные силовые трансформаторы мощностью до 40 000 kVA при напряжении до

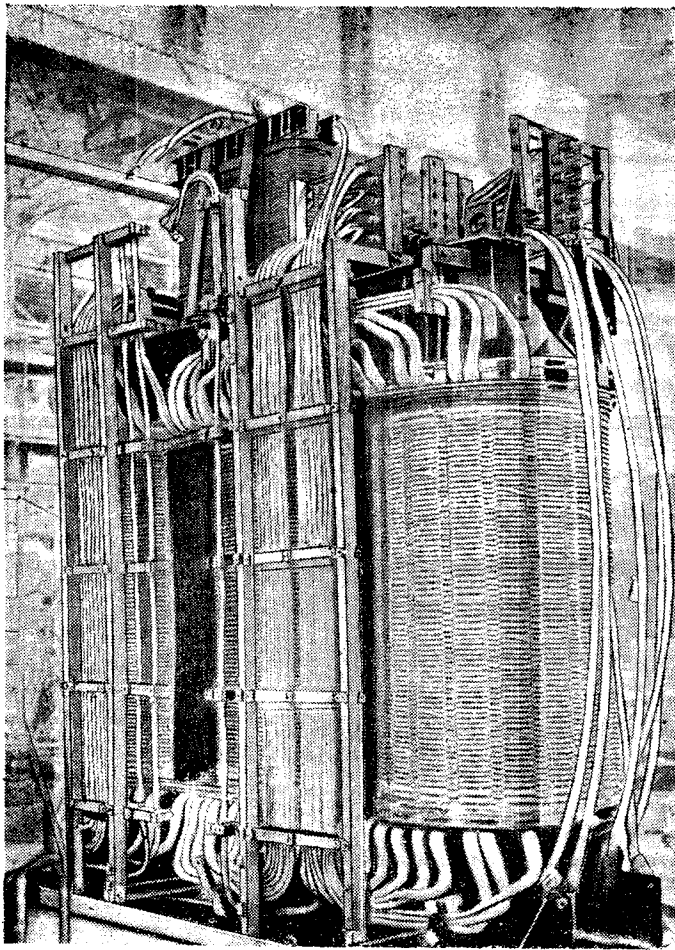


Рис. 1. Регулируемый трехфазный 20-MVA трансформатор, $110000 \text{ V} \pm 2 \times 2,5\% / 11000 \pm 4 \times 3\% \text{ V}$. Вторичное напряжение регулируется восемью ступенями по 3% под нагрузкой

35 kV включительно и однофазные — мощностью до 20 MVA в группе при напряжении до 110 kV включительно. Та же аппаратура позволяет строить трехфазные бустеры с проходящей (транзитной) мощностью до 120 MVA для регулирования напряжения до 220 kV включительно.

Дальнейшей задачей является создание аппаратуры для трехфазных трансформаторов 110 kV и для однофазных трансформаторов мощностью выше 20 MVA. Вместе с тем завод имеет возможность на основе удачного освоения опыта передовой американской фирмы и уже накопленного собственного технического опыта перейти к дальнейшему усовершенствованию существующих конструкций.

Недостаточно удовлетворительно разрешена до сих пор задача защиты регулируемых трансформаторов и бустеров от перегрузок и к. з. Требуется дальнейшая работа над усовершенствованием схем и по анализу предложенных новых схем защиты [2].

Предстоящее внедрение регулируемых трансформаторов в серийное производство выдвигает, как актуальную задачу, разработку стандарта на трансформаторы с регулируемым под нагрузкой напряжением. В докладах и в прениях (инж. Караев — «Теплоэлектропроект») было уделено значительное внимание параметрам подлежащих стандартизации трансформаторов — номинальные мощности, диапазон и число ступеней регулировки, схема соединений.

Таблицы предложенных отдельными авторами

параметров должны будут лечь в основу будущего стандарта.

Если в области технического освоения регулируемых трансформаторов имеются некоторые, однако еще недостаточные, успехи, то тем более нетерпимым является существующее положение в части количественного выпуска, который совершенно не соответствует потребностям энергосистем, что подчеркнул выступивший на совещании зам. наркома электростанций т. Жимерин. Выпуск регулируемых трансформаторов находится в резкой диспропорции даже с общим выпуском трансформаторов, в свою очередь далеко не удовлетворяющим потребности растущего социалистического электрохозяйства. Основной причиной отставания является отсутствие на МТЗ им. Куйбышева соответствующей производственной базы в виде специального цеха механизмов переключения под нагрузкой, который позволил бы перейти от изготовления единичных экземпляров в экспериментальной мастерской к серийному выпуску.

Оживленные прения развернулись вокруг вопроса о высокой стоимости регулируемых трансформаторов. Однако необходимо отметить, что она в большей степени обусловлена единичным, кустарным характером производства.

Самостоятельной является проблема распределительного трансформатора мощностью $20 \div 3200 \text{ kVA}$ с регулируемым под нагрузкой напряжением. Основными условиями внедрения их являются: полная автоматизация переключения, особенно для трансформаторов малых мощностей, как правило, не имеющих постоянного обслуживания, простота конструкции и низкая стоимость аппаратуры. Для малых трансформаторов, где стоимость аппаратуры того же порядка, что и стоимость самого трансформатора, — это условие является, пожалуй, решающим.

В области распределительных трансформаторов отставание от уровня передовой иностранной техники еще больше, чем в области крупных трансформаторов. Освоение этого вида трансформаторов пока не пошло дальше изготовления опытных образцов. Серьезным тормозом в работе здесь является совершенно неудовлетворительная постановка кооперирования даже внутри одного и того же главка, в результате чего до сих пор не удается получить от ХЭМЗ необходимую аппаратуру даже для опытного автоматизированного распределительного трансформатора.

Совещание подвергло обсуждению вопрос о трансформаторах с плавным регулированием напряжения, в результате которого выявилось следующее мнение совещания.

На ближайший период подлежит широкому развитию и внедрению в серийное производство ступенчатое регулирование помощью ответвлений в обмотке, которое технически вполне освоено за границей и, в значительной степени, в СССР.

Основное достоинство систем плавного регулирования — в отсутствии контактов в силовой цепи, и если будут найдены экономически приемлемые решения, ступенчатое регулирование может в будущем быть вытеснено плавным. Поэтому следует продолжать исследовательскую и проектную работу по развитию систем плавного регулирования.

В своей резолюции по вопросу о регулировании напряжения под нагрузкой совещание отметило недопустимое отставание в области серийного вы-

пуска регулируемых трансформаторов и предложило следующие мероприятия:

1. Разработать нормы допустимых отклонений напряжения от номинального в нормальных и аварийных условиях — постоянные (для вновь проектируемых объектов) и временные (для существующих установок). Эти нормы зафиксируют минимум требований, которые следует предъявить к качеству электроэнергии, и будут стимулом для энергообъединений к борьбе за это качество.

2. Провести работу по установлению оптимальных уровней напряжения для различных токоприемников с целью последующего нормирования этой величины в эксплуатации.

3. Разработать стандарт на трансформаторы с регулируемым под нагрузкой напряжением на основе работ совещания.

4. Построить на МТЗ в 1941 г. достаточно мощный цех аппаратуры переключения под нагрузкой.

Уже ряд лет американские фирмы строят распределительные трансформаторы, заполненные вместо минерального масла негорючей синтетической жидкостью, которая фигурирует в литературе под различными фирменными названиями (пиранол, инертин, клофен). Самое последнее время фирма GEC начала строить и более мощные трансформаторы с негорючим заполнением до 4000 kVA.

В Европе подобные трансформаторы пока не получили широкого распространения.

У нас в Советском Союзе ВЭИ разработал синтетическую жидкость, близкую по своим свойствам к пиранолу и названную совтол. Для заполнения трансформаторов эта жидкость применяется (для понижения вязкости) в виде смеси с трихлорбензолом и получила название совтол. Последний в отношении изоляционных свойств и охлаждающей способности близок к минеральному трансформаторному маслу, но, в отличие от него, пожаро- и взрывобезопасен, не окисляется и химически стабилен. Эти свойства особенно ценны для трансформаторов, устанавливаемых в общественных местах (например, театры), в местах с повышенной опасностью пожара или взрыва (химические производства, шахты). Однако и для прочих целей применение трансформаторов с негорючим заполнением при определенных условиях оказывается целесообразным. Согласно американским нормам [4] трансформаторы с негорючим заполнением не требуется устанавливать в отдельных бетонированных ячейках, а допускается расположить непосредственно вблизи нагрузки. Например, трансформаторы цеховых подстанций — в центре цехов, печные трансформаторы — непосредственно на рабочей площадке и т. д., что дает значительную экономию не только на строительных расходах, но и на стоимости фидеров, а главное — снижает вес меди и годовые потери в установке. По американским фирменным данным, при цене негорючей жидкости, в 5 раз превышающей стоимость минерального масла, общая экономия на стоимости установки в целом достигает 20%.

Изложению результатов исследований основных физико-химических свойств и электрических характеристик совтола и описанию основных особенностей конструкции совтоловых трансформаторов был посвящен доклад инж. В. А. Козлинского (МТЗ), Л. А. Мравян и К. А. Андрианова (ВЭИ) [5].

Совтол (и аналогичные ему иностранные синтетические жидкости) обладают той существенной особенностью, что при воздействии на него электриче-

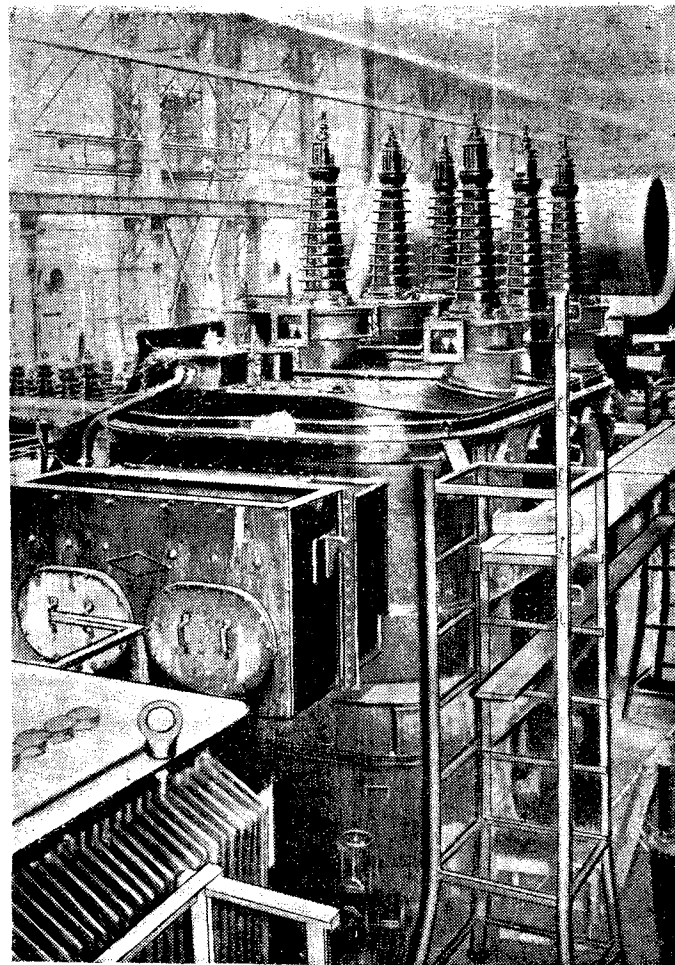


Рис. 2. Трехфазный бустер-трансформатор мощностью 60 MVA для регулирования напряжения 110 kV под нагрузкой десятью ступенями в пределах $+3 \times 2,5\%$ и $-7 \times 2,5\%$

ской дуги (например, в случае пробоя внутри трансформатора) выделяется хлористый водород. Должны быть приняты меры, не допускающие проникновения опасного для здоровья человека газа в окружающую среду. Для этой цели применяется так называемый газопоглотитель, назначение которого состоит в улавливании и абсорбции газов, выходящих из бака трансформатора в случае повреждения внутри него.

Особые требования предъявляются совтолом к применяемым в трансформаторе материалам (лаки, изоляция, уплотнения) и технологии. В частности, высокая чувствительность совтола ко всякого рода загрязнениям требует специфической технологической обстановки и не позволяет наладить серийный выпуск совтоловых трансформаторов без оборудования специального цеха.

Успехи изоляционной техники в области изыскания новых теплостойких изоляционных материалов, в первую очередь, промышленное освоение изоляции из стеклянного волокна, — при условии успешного разрешения задачи подбора теплостойкого пропитывающего состава, — могут позволить поднимать рабочие температуры обмоток до относительно чрезвычайно высоких пределов. В этих условиях так называемый «сухой» трансформатор может завоевать себе широкое применение и, в известной степени, конкурировать с совтоловым трансформатором.

Наряду с «тепловой» проблемой нелегкой задачей является экономическое решение «изоляцион-

ной» проблемы сухого трансформатора на рабочие напряжения 6—10 kV. Но некоторые конструктивные предложения, позволяющие полностью разгрузить воздух от работы как диэлектрик [7], создают, как нам кажется, хорошую перспективу и в этом направлении. Известный английский конструктор Norris [6] также считает, что сухой трансформатор может оказаться способным конкурировать с совтоловым трансформатором. Многие зависит, разумеется, от соотношения цен на различные виды материалов и степени их дефицитности (медь, совтол, стеклянная изоляция и т. д.).

Совещание отметило актуальность скорейшего оборудования цеха совтоловых трансформаторов, техническая разработка которых уже ведется и построен опытный образец. Вместе с тем совещание отметило, как перспективную задачу ближайших лет, решение проблемы сухого теплостойкого трансформатора (для рабочих напряжений до 10 kV).

Трансформаторы большой мощности на 110 и 220 kV, как правило, перевозятся на место установки, по условиям железнодорожного габарита, в полуразобранном виде, иногда со специальным заполнением (например, азотом) вместо масла — для уменьшения необходимой грузоподъемности кранов и платформ. Монтаж на месте установки, в особенности, если он связан с необходимостью сушки, обходится дорого, и, главное, удлиняет срок пуска в эксплуатацию. Изменение конструкции, обеспечивающее сокращение срока монтажа, создание предпосылок для отмены сушки и т. д. является весьма актуальной задачей трансформаторостроения. Предельно развития в этом направлении является так называемый «передвижной трансформатор». Требование обеспечения резервов, которые можно было бы перебрасывать из одной точки системы в дру-

гую и быстро включить взамен вышедшей по тем или иным причинам из работы единицы, вызвало к жизни этот новый тип трансформаторов. В Германии построено большое количество трансформаторов напряжением до 220 kV и мощностью до 120 MVA в единицы, которые могут быть перевезены с места на место без всякой разборки и в течение нескольких часов включены в работу.

Основными требованиями, предъявляемыми к передвижному трансформатору (помимо само-собой разумеющегося требования соответствия габариту железнодорожного подвижного состава) являются:

1. Полная надежность контактных соединений, механических креплений и уплотнений, исключающая необходимость ревизии после перевозки трансформатора.

2. Широкие возможности приспособления трансформаторов в отношении коэффициента трансформации к требованиям отдельных точек системы: широкий диапазон регулировки, позволяющий трансформатору работать как повышающим, так и понижающим, пересоединение одной и той же обмотки на различные напряжения, например 6 и 11 kV.

3. Минимум монтажных операций при присоединении трансформатора на месте установки.

4. Минимальный транспортный вес.

Рассмотрению методов конструктивного решения поставленных задач, состояния заграничной техники и ближайших перспектив отечественной техники был посвящен доклад инж. А. В. Корицкого (МТЗ) — «Передвижные трансформаторы».

Весьма актуальную для эксплуатации тему осветил доклад инж. М. И. Раппопорт (Мосэнерго) — «Эксплуатационный надзор и профилактические испытания трансформаторов».

Одной из основных предпосылок безаварийной работы энергосистем является своевременное обнаружение и ремонт или замена поврежденных или изношенных элементов оборудования. Этой цели служат так называемые профилактические испытания, из коих важнейшими являются испытания изоляции. За последние 7—8 лет в США начали широко практиковать эти испытания — сначала для проходных втулок и масляных выключателей, а затем и для трансформаторов. У нас в СССР в более или менее широком масштабе профилактические испытания проводятся в Мосэнерго и в Ленэнерго. Предложен ряд методов для испытания изоляции: измерение $\operatorname{tg} \delta$, тока утечки при постоянном токе высокого напряжения, сопротивления изоляции (мегагером). Однако, по общему мнению, выраженному в резолюции совещания (см. также статью Gross и дискуссию по ней [8], эти методы выявляют с достаточной степенью надежности лишь увлажнение изоляции. Поскольку весьма значительная часть случаев пониженной изоляции обусловлена именно увлажнением, которое можно своевременно устранить путем сушки — следует признать все же проведение испытаний существующими методами весьма целесообразным. Однако установление каких-либо общеобязательных нормативов совещание признало преждевременным, так как на величину $\operatorname{tg} \delta$ — основного показателя состояния изоляции — большое влияние оказывает целый ряд факторов, который может быть учтен лишь статистическим путем, после накопления обширного экспериментального материала. Еще более подвержены влиянию ряда, не поддающихся количественному учету, факторов и еще менее изу-

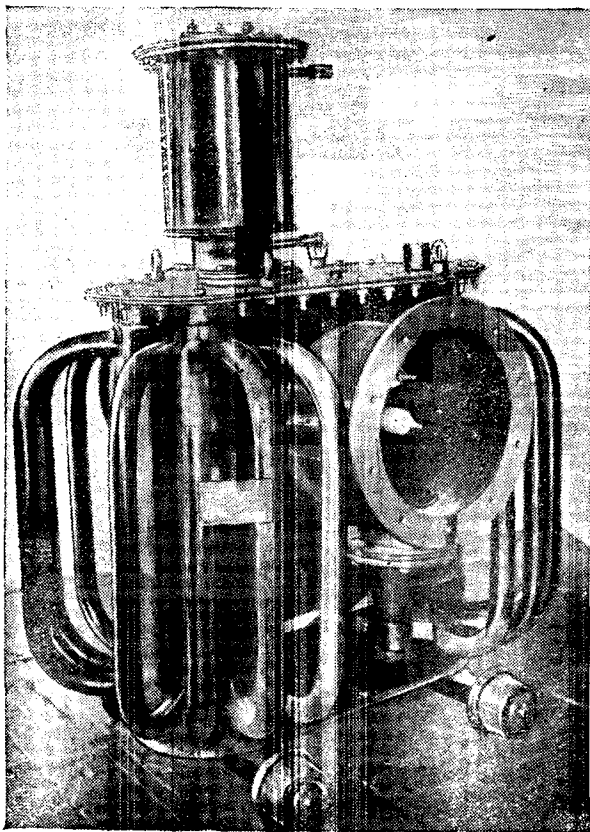


Рис. 3. Опытный 75-kVA трансформатор с совтоловым заполнением

сны методы измерения тока утечки и сопротивления изоляции.

Оживленная дискуссия развернулась вокруг вопроса о целесообразности производства в порядке профилактики испытаний повышенным приложенным напряжением. Работники трансформаторостроения МТЗ, трансформаторная лаборатория ВЭИ и некоторых энергообъединений признали подобное испытание, как правило, нецелесообразным, поскольку оно может привести к повреждению трансформатора, который был бы годен к работе после принятия тех или иных мер (сушка, внутренний осмотр с целью выявления дефекта и т. д.). Работники ряда энергообъединений, с другой стороны, считают это испытание целесообразным, поскольку оно позволяет выявить трансформатор с ослабленной изоляцией.

В своей резолюции совещание считает обязательным испытание приложенным повышенным напряжением каждого трансформатора, подвергнувшегося вскрытию или ремонту, при условии, что другие методы измерения дали результаты, свидетельствующие об исправном состоянии изоляции. При ревизиях же без вскрытия — испытание приложенным повышенным напряжением, как правило, не рекомендуется.

Из многочисленных выступлений работников эксплуатации выявилась актуальность разработки научно-исследовательскими институтами метода профилактического испытания междувитковой изоляции, повреждения которой часто являются причиной аварий.

Совещание отметило необходимость создания, хотя бы в крупнейших энергообъединениях, передвижных лабораторий. Интересно отметить опыт Ленэнерго, спроектировавшего передвижную установку на автомобиле с генератором, приводимым в движение от двигателя автомобиля.

Много внимания было уделено совещанием проблеме прозоупорного трансформатора и грозозащиты. Освещению работ совещания по вопросам электрической прочности изоляции трансформаторов посвящается специальная статья В. А. Карасева, А. В. Сапожникова.

Ряд докладов и содокладов был посвящен вопросам монтажа и эксплуатации трансформаторов. По докладу Л. М. Шнигера (МТЗ) — «Перегрузочная способность трансформаторов» принята резолюция, устанавливающая следующие принципиальные положения.

Диктуемая правилами и нормами температура обмоток масляного трансформатора 105°C не является постоянно-допустимой, так как при непрерывном воздействии на обмотки температуры 105°C фактический срок службы трансформатора значительно сокращается. Как показали исследования, постоянно-допустимая температура, при которой трансформатор амортизируется в нормальный срок — 15—20 лет, лежит в пределах $75\text{—}80^{\circ}\text{C}$.

Однако ввиду сезонных и суточных колебаний температуры окружающего воздуха трансформаторы, рассчитанные на превышение температуры обмоток над температурой окружающего воздуха 70°C , могут непрерывно длительно нести номинальную нагрузку. За счет предшествующих недогрузок и перерывов в работе допустимы и кратковременные перегрузки (согласно таблицам существующей инструкции о перегрузках). Эти перегрузки допустимы неограниченное число раз, так как лишь приводят износ к величине, соответствующей

нормальному сроку службы трансформатора. Поскольку возможность этого рода перегрузок обычно полностью не используется, допустимы и перегрузки порядка дней и даже недель (особенно в периоды низкой температуры окружающего воздуха, когда повышенное превышение температуры влечет за собой лишь небольшое увеличение износа изоляции). При этом, однако, необходимо вести учет длительных перегрузок. Инструкция о допустимых кратковременных, длительных и аварийных перегрузках и методах учета износа изоляции должна быть выпущена НКЭС совместно с МТЗ.

В своей резолюции по докладам т. Рабиновича и зам. наркома электростанций т. Жимерина совещание отметило, что наряду с имеющимися успехами советское трансформаторостроение продолжает отставать от требований советского электрохозяйства и уровня иностранной техники.

Важнейшими моментами, кроме отмеченных выше, являются:

1. Недостаточно тщательная внешняя отделка трансформатора.

2. Отсутствие научно-исследовательской работы по темам, связанным с рационализацией эксплуатации, усовершенствованием материалов и технологии трансформаторостроения.

3. Резкое несоответствие между количественным выпуском трансформаторов и потребностями электрохозяйства.

4. Резкое отставание качества трансформаторной стали (Верхне-Исетский завод) и изолирующих материалов (завод «Изолит», Суражская фабрика) от качества аналогичной продукции иностранных заводов, что тормозит дальнейший прогресс советского трансформаторостроения.

Основными задачами дальнейшего технического прогресса являются:

В области дальнейшего совершенствования конструкций: уменьшение весов и экономия цветных металлов за счет рационализации конструкций; обеспечение удобства обслуживания и контроля за работой трансформатора в эксплуатации; резкое улучшение отделки и повышение класса точности изготовления.

В области исследований: организация систематических исследований трансформаторов в эксплуатации; систематизация и обобщение эксплуатационного опыта; анализ аварий, с широким использованием лабораторий энергообъединений и координацией их работы с работой МТЗ и трансформаторной лаборатории ВЭИ; проведение систематических испытаний импульсной прочности трансформаторов, выпускаемых МТЗ; расширение существующей лабораторной базы.

В области организации и производства: оборудование на МТЗ специального цеха механизмов переключения под нагрузкой и цеха трансформаторов с негорючим заполнением; усиление оборудования завода, обеспечивающее введение более совершенных технологических процессов, особенно в части сушки и пропитки; ликвидация совершенно ненормального положения в области кооперации внутри наркомата электропромышленности.

Совещание прошло в деловом стиле и можно надеяться, что принятые им конкретные технические рекомендации будут способствовать техническому прогрессу советского трансформаторостроения.

Литература

1. И. М. Маркович. Техничко-экономические предпосылки применения регуляторов трансформаторного типа для регулирования напряжения под нагрузкой (Материалы совещания по трансформаторостроению).
2. Ю. С. Кронгауз. Мощные трансформаторы с регулируемым под нагрузкой напряжением (Материалы совещания по трансформаторостроению).
3. И. А. Антонов и Б. М. Лебедев. Регулирование напряжения под нагрузкой распределительных трансформаторов (Материалы совещания, по трансформаторостроению).

4. GER № 42, 1939.
5. В. А. Козлинский, Л. А. Мравян и К. А. Андрианов. Трансформаторы с негорючим заполнением (Материалы совещания по трансформаторостроению).
6. E. T. Norris. Transformer Fire Risks. El. Rev. стр. 270—271, N 3250, 1940.
7. Fischer. Die Grenzen der Verwendung von öllosen Transformatoren neuzeitlicher Konstruktion im Netzbetriebe. VDE Fachberichte, стр. 55, 1938.
8. Gross. Field Testing of Bushings and Transformer Insulation by the Power—Factor Method. El. Eng., N 10, 1938.

За создание единого стандарта импульсной прочности трансформаторов и аппаратуры¹

Д-р техн. наук, проф. В. А. КАРАСЕВ
и инж. А. В. САПОЖНИКОВ

Одним из важнейших разделов работы расширенного совещания по трансформаторостроению в 1940 г. являлся вопрос об уровне изоляции трансформаторов и о координации его с уровнями защиты подстанции от перенапряжений. Вопрос

¹ Статья составлена на основе материалов работы секции электрической прочности расширенного совещания по трансформаторостроению, происходившего в ноябре 1940 г.

этот выходит из рамок задач собственно трансформаторостроения, так как не может быть решен в отрыве от вопроса изоляции остальной аппаратуры, способов защиты и т. д.

На совещании вопрос был поставлен как комплексный и прошел под знаком необходимости установления единых уровней изоляции, единых уровней так называемой «гарантированной прочно-

Оценка импульсной прочности внутренней изоляции

Номинальное напряжение, kV _{eff}		6	10		35	
Мощность kVA		Все	Все	До 100	135—560	1000
Конструкция обмотки высшего напряжения		Все	Все	Катушечная слоевая, круглая медь, оборотная схема		Катушечная слоевая, круглая медь, прямая схема
Полная волна 1,5/40 μsec	Гарантированная импульсная прочность, kV _{max}	Больше 60	Больше 80	140	150	140
	Среднепробивная при малоударном методе, без учета возбуждения, kV _{max}	—	—	228	240	228
Волна 1,5/40 μsec, срезанная при 2 μsec	Гарантированная импульсная прочность, kV _{max}	Больше 65	Больше 90	160	170	185
	Среднепробивная при малоударном методе, kV _{max}	—	—	215	226	248
Данные, на основании которых произведена оценка импульсной прочности (исследование перенапряжений обозначено „обмер“)		Обмеры импульсные испытания одного типа	Предварительные данные обмера и импульсного испытания одного типа	Экстраполяция данных исследований других типов	Обмер двух трансформаторов ТМ-320/35, импульсное испытание семи фаз трансформатора ТМ-320/35	Обмер одного трансформатора ТМ-1000/35

* Кроме ТМ-3200/110.

сти», определяемой нормируемыми условиями защиты. Важнейшей работой секции электрической прочности совещания было обсуждение и согласование положений единого стандарта на разрядные и испытательные напряжения аппаратуры и трансформаторов для высоковольтных установок, связанных с воздушными сетями, а также основных положений «стандарта на методику импульсных испытаний трансформаторов».

Само собой разумеется, при установлении требуемых уровней изоляции необходимо было изучить эксплуатационный опыт. Достаточно обоснованный анализ опыта эксплуатации трансформаторов в отношении их импульсной прочности оказался возможным после составления МТЗ и ВЭИ ориентировочной оценки гарантированной импульсной прочности трансформаторов существующих конструкций (1939 г.). Данные приведены в табл. 1 и 2.

Эта оценка в отношении внутренней изоляции произведена, главным образом, на основании результатов «обмеров», как мы для краткости ниже именуем исследования распределения перенапряжений в обмотках при воздействии волн пониженной амплитуды (20—40 кВ_{мах}).

Данные обмеров экстраполируются по принципу пропорциональности до величины импульсных испытательных напряжений и сравниваются с прочностью элементов изоляции трансформатора, полученной при исследовании соответствующих моделей².

² На совещании освещался вопрос о степени точности этой оценки (см. материалы совещания).

Уровни гарантированной импульсной прочности, как видно из табл. 1 и 2, сравнительно низки. Между тем в эксплуатации неизвестны случаи аварий с трансформаторами 220—35 кВ последних выпусков.

Совещание³ пришло к заключению, что отсутствие аварий следует объяснить тем обстоятельством, что защита трансформаторов трубчатыми разрядниками и низкий уровень изоляции большинства существующих подстанций препятствовали появлению на установленных (резонирующих) трансформаторах МТЗ напряжением 35—110 кВ полных волн с амплитудой, превышающей их гарантированную импульсную прочность³.

Максимальные амплитуды срезаемых волн могли превышать ориентировочную гарантированную импульсную прочность этих трансформаторов лишь при стечении неблагоприятных обстоятельств (тупиковый режим работы подстанции, набегание на подстанцию волн с максимальной крутизной, возможной в данной схеме). Однако в большинстве таких случаев импульсная прочность внутренней изоляции трансформаторов должна рассматриваться более высокой, чем «гарантированная прочность», которая устанавливается для многократного воздействия, — так как эти случаи очень редки и связаны, большей частью, со «срезом» при очень малых предразрядных временах [8].

Совещание подвергло также подробному рассмот-

³ По ориентировочной оценке, согласно таблицам 1 и 2.

Таблица 1

трансформаторов МТЗ существующих конструкций (1939 г.)

	110	220	6	10	35	110	220
1800 и выше	Все *	Все	Измерительные трансформаторы напряжения				
Непрерывная, прямая схема	Непрерывная, прямая схема	Дисковая, соединение стержней по схеме Z	Цилиндрическая слое- вая или катушечная слоевая	Катушечная слоевая и катушечная без слоев	Каскадные слоевые пилин- дрические обмотки в фар- форовых рубашках		
Больше 200	465	630	45	80	115	505	785
—	705	1030	66	—	193	755	1225
Больше 230	485	935	50	90	160	650	1060
—	650	1255	67	—	215	870	1420
Обмер трансформатора ТМ-5600/35, обмер и импульсное испытание трансформатора ТМ-1800/35 (1934 г.)	Ряд обмеров, одно неполноценное импульсное испытание трансформатора ОДТ-10500/110	Один неполный обмер трансформатора ОД-20000/220 (1934 г.)	Обмер и импульсное испытание (шесть фаз)	Обмер трансформатора устаревшей конструкции	Обмер и импульсное испытание (шесть фаз)	Обмер и импульсное испытание отдельных обмоток	Обмер и импульсное испытание отдельных обмоток

Таблица 2

Гарантированная импульсная прочность воздушных промежутков в силовых трансформаторах существующих конструкций

Номинальное напряжение, kV_{eff}	6	10	35	110	154	220
Гарантированная импульсная прочность $\pm 1,5/40$ μ сес при нормальных атмосферных условиях, kV_{max}	Больше 69	Больше 92	185	450	См. ниже табл. 4	
То же, пересчитанное на наилучшие расчетные атмосферные условия для высоты 1000 м, kV_{max}	Больше 60	Больше 80	160	390	См. ниже табл. 4	

рению опыт эксплуатации трансформаторов МТЗ на 220 kV.

В резолюции совещание отметило, «что на подстанциях были зарегистрированы полные волны с амплитудой, превышающей приближенно-оцененную гарантированную импульсную прочность трансформаторов, тем не менее аварий не было за семь лет.

Это может быть объяснено или тем, что оцененная гарантированная прочность несколько занижена, или тем, что набегавшие волны имели фронт, значительно более пологий, чем фронт стандартной волны».

Таким образом совещание высказалось в том смысле, что если и можно говорить о некоем «благополучии» по части аварий трансформаторов от перенапряжений, то оно связано с заниженными уровнями защиты, обусловленными использованием трубчатых разрядников, как основного метода защиты.

Неприемлемость этого метода совещанием констатирована со всей определенностью:

«Защита трансформаторов лишь трубчатыми раз-

рядниками вызывает частые электродинамические усилия в трансформаторах, имеет ряд ограничений и эксплуатационных неудобств».

Занижение разрядных напряжений разрядников служит причиной излишне частой их работы при грозовых и внутренних перенапряжениях, что снижает надежность самих разрядников и ведет к частым толчкам в системе. Недостаточная надежность трубчатых разрядников препятствует установке их на шинах подстанции, необходимой для защиты трансформаторов от волн большой крутизны. Применение трубчатых разрядников ограничено пределами их разрывной мощности [3].

Перечисленные недостатки устранены в лучших типах вентильных разрядников и совещанием принято четкое решение, что «В дальнейшем изоляцию трансформаторов необходимо координировать с характеристиками вентильных разрядников».

В результате большой работы завода «Электроаппарат» и ВЭИ стала реальной возможность выпуска тиристовых разрядников с характеристиками, приведенными в табл. 3, предложенной совещанию представителями завода «Электроаппарат» и ВЭИ.

МТЗ и ВЭИ предложили табл. 4 гарантированной импульсной прочности трансформаторов, которая в основном⁴ согласуется с характеристиками тиристовых разрядников табл. 3.

В резолюции совещания подчеркнуто, что уровень гарантированной импульсной прочности внутренней и воздушной изоляции трансформаторов и аппаратов должен быть единым. При падении волн с амплитудой, равной гарантированной им-

⁴ Согласно резолюции совещания, табл. 4 принята «в качестве базы для согласования...» проекта стандарта на разрядные и испытательные напряжения аппаратуры и трансформаторов установок, связанных с воздушными сетями. В резолюции отмечено также, что для трансформаторов на 35 kV больших мощностей целесообразно установить большую гарантированную импульсную прочность, нежели указанная в табл. 4, что лежит в пределах реальных возможностей трансформаторостроения.

Таблица 3

Гарантированные электрические характеристики станционных разрядников с зависимым сопротивлением

Графа	Характеристика	Номинальное напряжение, kV								
		3	6	10	15	20	35	110	154	220
1	Остающееся напряжение (kV_{max}) на разряднике при импульсном токе, указанном в графе 2, не более чем	25	36	50	70	90	140	375	520	720
2	Импульсный ток в А	1 500	1 500	1 500	1 500	2 000	2 000	3 000	3 000	3 000
3	Минимальное импульсное пробивное напряжение (kV_{max}) искрового промежутка при волне 1,5/40 μ сес не более чем	25	36	50	70	85	(105) 130	(350) 375	520	720
4	Импульсное пробивное напряжение (kV_{max}) искрового промежутка при времени разряда 1 μ сес не более чем	30	42	60	80	100	(115) 145	(370) 420	580	800
5	Пробивное напряжение (kV_{eff}) рабочей частоты искрового промежутка не менее чем . .	7	14	23	35	45	(65) 75	210	290	420
6	Динамическое допустимое напряжение (kV_{eff}) на разряднике в момент его работы	Для систем с изолированной нейтралью . . .								
		3,8	7,6	12,6	19	25	42	—	—	—
		Для систем с заземленной нейтралью . . .								
		—	—	—	—	—	—	(90) 100	145	195

Примечание. Цифры в скобках относятся к специальным разрядникам. Разрядники 154 и 220 kV — опытные образцы.

Таблица 4

Предложенная МТЗ и ВЭИ гарантированная импульсная прочность (kV_{max}) для проекта стандарта на разрядные и испытательные напряжения

Номинальное напряжение, kV_{eff}	3	6	10	15	20	35	110	154	220
Полная волна 1,5/40 μ sec	45	60	80	95	110	170	415	560	790
Срезанная при 2 μ sec	50	65	90	115	125	195	570	755	1000
1,5/40 μ sec для втулок при нормальных атмосферных условиях . . .	55	73	97	115	132	205	500	675	915
1,5/40 μ sec для воздушных промежутков при нормальных атмосферных условиях . . .	52	69	92	109	126	195	475	645	870

пульсной прочности не должна нарушаться (пробиваться, перекрываться) ни внутренняя, ни воздушная изоляция [1].

Совещание приняло особое решение по вопросу о вероятности одновременного падения волн на три фазы трансформатора.

В случае изолированной нейтрали и падения волн на три фазы имеет место большое повышение потенциала нейтрали (см. рисунок).

На совещании выяснилось, что имеется весьма мало материала для оценки вероятности одновременного падения на три фазы трансформатора волн с амплитудой, равной гарантированной импульсной прочности. Вопрос этот связан с системой защиты, конструкцией линии передачи, номинальным напряжением и т. д. Впредь до получения обоснованных эксплуатационных данных совещание предлагает принимать:

«Для трансформаторов до 35 kV включительно — возможность падения волн с одинаковой амплитудой порядка 100% от гарантированной импульсной прочности при полной волне. Для трансформаторов 110 kV — возможность падения волн, эквивалентных трем одинаковым волнам с амплитудой 0,75—0,8 от гарантированной импульсной прочности при полной волне».

В случае выведенной нейтрали подъем напряжения может быть ограничен установкой в нейтрали защитного промежутка или разрядника. В трансформаторах на 35 kV с невыведенной нейтралью усиление изоляции нейтрали, которое требуется, если учитывать случай падения на 3 фазы волн с амплитудами, составляющими 100% от гарантированной импульсной прочности по табл. 4 (строка 1-я), представило бы весьма большие трудности. В соответствии с этим, в резолюции совещания намечается установить гарантированную импульсную прочность при падении волн на три фазы этих трансформаторов в 0,8 от «гарантированной импульсной прочности при полной волне», причем предполагается защита этих трансформаторов вентильными разрядниками с пониженными характеристиками [1].

Сравним ориентировочную оценку гарантированной импульсной прочности трансформаторов МТЗ существующих типов (конструкция 1939 г.) по табл. 1 и 2 с требованиями табл. 4. Увеличение импульсной прочности (по отдельным типам весьма значительное) требуется для внутренней изоляции силовых трансформаторов на 35 kV мощностью ниже 1800 kVA, для трансформаторов на 110—220 kV и для некоторых типов измерительных

трансформаторов напряжения. Необходимо некоторое усиление воздушной изоляции трансформаторов на номинальные напряжения 35 и 110 kV.

Какие перспективы мы имеем в отношении ликвидации этого разрыва между импульсной прочностью трансформаторов и требованиями рационализированной защиты подстанций?

«...В последние 2—3 года на МТЗ, в тесном контакте с ВЭИ, была развернута большая работа по исследованию и усовершенствованию выпускаемых трансформаторов в отношении их импульсной прочности» (Из резолюции совещания). Эта работа позволила наметить пути повышения гарантированной импульсной прочности трансформаторов до требуемого уровня. По целому ряду типов к настоящему времени уже разработаны и внедрены грозоупорные конструкции, удовлетворяющие табл. 4 [4].

Большое значение имеет внедрение силовых трансформаторов на 110—220 kV с емкостной компенсацией. Этому вопросу был посвящен специальный доклад [5], привлечший большое внимание. Было уделено также внимание вопросу о необходимости скорейшего внедрения разработанных типов грозоупорных трансформаторов 6 kV [1].

На совещании было установлено [4], что и по всем остальным типам трансформаторов могут быть достигнуты уровни гарантированной импульсной прочности, требуемые табл. 4. Исключение представляют измерительные трансформаторы напряжения на 35 kV, пути повышения импульсной прочности которых еще не намечены. Это обстоятельство подчеркнуто в резолюции совещания.

Приведенные выше таблицы гарантированной прочности для трансформаторов конструкции 1939 г., а также для реконструированных типов составлены, как уже сказано, на основании расчетных данных, подкрепленных, главным образом, лишь «обмерами» распределения импульсных напряжений при низких приложенных напряжениях. Импульсных испытаний полным напряжением до сих пор проведено очень мало и преимущественно лишь с трансформаторами на 6—35 kV.

Совещание отметило, как большое достижение — факт возможности подобных оценок расчетным пу-

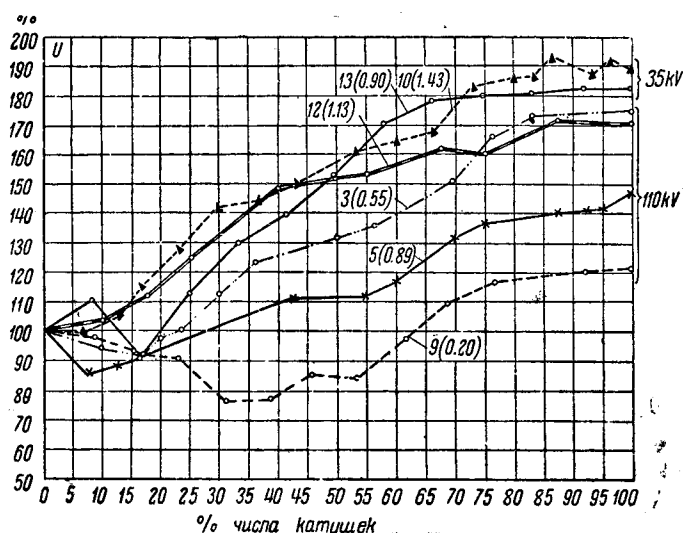


Рис. 1. Потенциалы относительно земли трехфазных трансформаторов с изолированной нейтралью. Полная волна. Падение по трем проводам

Кривые 3, 5, 10, 12 и 13 построены соответственно для трансформаторов ТДТГ-15000/110; ТМТ-7500/110; ТМ-560/110; ТМ-5600/35; ТМ-1800/35 и ТМ-1000/35 (верхняя цифра — мощность трансформатора в kVA, нижняя — напряжение в kV). Цифры в скобках на кривых дают отношение длины волны к периоду собственного колебания обмотки

тем на базе большого количества проведенных «обмеров» и развития теории вопроса в практическом разрезе [1, 4]. Возможность таких оценок сыграла и будет играть крупную роль в деле борьбы за безаварийность. Однако точное знание значений гарантированной прочности немислимо без типовых импульсных испытаний, при которых трансформатор подвергается воздействию импульсов с амплитудами реальных волн. Этого требует само понятие «гарантии», лишь этим создается необходимая база для стандартизации импульсной прочности, и совещание отметило, как крупный пробел трансформаторостроения, «задержку проведения импульсных испытаний, что откладывает утверждение стандарта на разрядные и испытательные напряжения». Создалось такое положение, что новые грозоупорные конструкции трансформаторов до сих пор не прошли на заводе заключительной стадии для всякой новой конструкции — испытания.

Необходимость испытаний в реальных условиях выявилась и в отношении новых типов тиритовых разрядников. В связи с этим совещание обратилось в Наркомат электропромышленности с просьбой дать необходимые распоряжения, материально обеспечивающие проведение исследований и типовых испытаний по аппаратуре и трансформаторам.

Установление уровня гарантированной прочности, вытекающего из условий защиты трансформаторов на подстанциях, дает базу для определения импульсных испытательных напряжений. Но при этом является решающим также ряд моментов самой методики импульсных испытаний. По данному вопросу совещание вынесло ряд конкретных постановлений, которые позволят ускорить согласование стандарта по методике импульсных испытаний трансформаторов.

1) При «малоударном методе испытания» импульсное испытательное напряжение увеличивается против «гарантированной прочности» на «коэффициент кумулятивности» многократного воздействия⁵ [1, 7].

2) В соответствии со сказанным выше о вероятности возникновения волн на всех трех фазах, для трехфазных трансформаторов с изолированной нейтралью рекомендована следующая методика:

а) Все трансформаторы выше 35 kV и трансформаторы на 35 kV с невыведенной нейтралью испытываются тремя одновременно падающими волнами равной амплитуды, составляющей $(0,75 \div 0,8) \cdot U_{исп}$, где $U_{исп}$ — гарантированная прочность полной волны (табл. 4, строка 1), помноженная на «коэффициент кумулятивности».

б) Трансформаторы напряжением ниже 35 kV и трансформаторы 35 kV с выведенной нейтралью испытываются воздействием трех волн с амплитудой порядка полного указанного уровня $U_{исп}$.

В случае выведенной нейтрали к последней приключается искровой промежуток, ограничивающий напряжение уровнем $U_{исп}$.

3) Совещание рекомендовало условия испытаний трансформаторов срезанными волнами [подробней см. 8].

4) В резолюции совещания сказано: «Импульсные типовые испытания должны производиться при возбуждении трансформатора 50-периодным напряжением той полярности, которая создает наиболее суровые воздействия на внутреннюю изоляцию трансформатора».

В отношении полных волн здесь подразумевается противоположная полярность [4].

Сделано весьма важное добавление, по которому испытание с 50-периодным возбуждением может быть заменено другим испытанием — без возбуждения, но с соответственным повышением амплитуды волны, что допустимо, «если эквивалентность такой замены... будет установлена специальными исследованиями». Данные к тому, что будет удовлетворено требование последней оговорки, имеются. Отмена 50-периодного возбуждения весьма упростит и ускорит внедрение импульсных испытаний.

5) Совещание высказалось по давно уже поднятому вопросу [9] об уровне коммутационных перенапряжений на нейтрали. Впредь до проведения специальных исследований, рекомендован уровень

$$U_n = 3U_\phi \frac{L_n}{L_n + L_p},$$

где L_n и L_p — индуктивность реактора в нейтрали и «индуктивность к.з.» фазы, U_ϕ — амплитудное фазовое напряжение. Этот уровень исходит из уровня $4U_\phi$ на линейном конце.

Обсуждался весьма серьезный вопрос о понятии «типа» в отношении «типового импульсного испытания». Признано, что «в целях скорейшего внедрения стандарта на разрядные и испытательные напряжения... необходимо свести количество типовых импульсных испытаний до целесообразного минимума». В самом деле, формулировка понятия «типа», по которой при всяком несущественном изменении конструкции требовалось бы новое импульсное испытание, практически сорвала бы внедрение стандарта или привела бы к гипертрофии испытательных площадок и лабораторного оборудования.

Необходимо остановиться на большом и серьезном вопросе, — на факте «недостаточной работы энергообъединений по изучению амплитуд и форм перенапряжений, воздействующих на трансформаторы в эксплуатации, и недостаточной систематизации эксплуатационного опыта». Докладчики вынуждены были пользоваться лишь весьма скудными материалами по статистике и анализу аварий трансформаторов. Необходимые и неотложные постановления о «коэффициенте одновременности», характеризующем вероятность возникновения волн на всех трех фазах, о «петле среза», об уровне коммутационных перенапряжений на нейтрали и др. пришлось принять при отсутствии достаточных экспериментальных данных. Эти данные в отношении перенапряжений на линиях и подстанциях мы черпаем почти исключительно из иностранных литературных источников, не располагая к тому же тем первичным материалом, на основании которого были сделаны опубликованные обобщения. Между тем, «хотя определение амплитуд воздействующих в эксплуатации перенапряжений не может быть сделано с такой точностью, при импульсных испытаниях, однако условия импульсных испытаний, несомненно, не смогут полностью воспроизвести эксплуатационные условия. Поэтому сопоставление уровня воздействующих перенапряжений с гарантированной импульсной прочностью может внести в последнюю некоторые коррективы» (из резолюции совещания).

Необходимо всерьез заняться вопросом о развитии сети клидографных и осциллографных станций, об упорядочении регистрации и анализа аварий. Необходимо максимально использовать в этом на протяжении ближайший грозовой сезон, в первую

⁵ Порядок этого коэффициента — 1, 1 ÷ 1, 15 [7].

очередь поставив в нескольких точках 35 и 110-kV подстанций клидонографы вблизи трансформаторов на всех трех фазах для получения материала о «коэффициенте одновременности».

Совещание предложило конкретный план очередных мероприятий как по линии испытаний и исследований в производстве, так и в эксплуатации. Основным устремлением при этом является «предварительное согласование проекта стандарта в течение I квартала 1941 г. и... утверждение стандарта в 1941 г.»

В данном случае факт утверждения стандарта явится одновременно показателем того, что в области высоковольтной техники мы поднимаемся на новую высшую ступень.

Литература

1. Резолюция расширенного совещания по трансформаторостроению (Москва, 19—22 ноября 1940 г.) по докладам секции электрической прочности.

2. Информация проф. Л. И. Сиротинского о „Проекте

стандарта на разрядные и испытательные напряжения аппаратуры и трансформаторов установок, связанных с воздушными сетями“ (стенограмма расширенного совещания по трансформаторостроению).

3. Долгинов А. И. Защита трансформаторов от перенапряжений и требования к импульсной прочности трансформаторов.

Доклад на расширенном совещании по трансформаторостроению. Госэнергоиздат. М.—Л., 1940.

4. В. А. Карасев, А. В. Панов, А. Г. Перлин, А. В. Сапожников, Е. С. Фрид. Импульсная прочность трансформаторов. Доклад на расширенном совещании по трансформаторостроению. Госэнергоиздат. М.—Л., 1940.

5. А. М. Чертин. Высоковольтные и мощные трансформаторы с емкостной компенсацией. Доклад на совещании по трансформаторостроению. Госэнергоиздат, М.—Л., 1940.

6. Г. С. Солодовников. Выступление на расширенном совещании по трансформаторостроению (стенограмма).

7. А. В. Панов. Координация изоляции высоковольтных трансформаторов „Бюллетень ВЭИ“ № 10, 1935.

8. В. А. Карасев, А. Г. Перлин. Методика импульсных испытаний трансформаторов срезанной волной. „Электричество“ № 3, 1941.

9. В. А. Карасев. Расчет импидора. „Бюллетень ВЭИ“ № 8, 1935.

Методика импульсных испытаний трансформаторов срезанной волной

Д-р техн. наук, проф. В. А. КАРАСЕВ и инж. А. Г. ПЕРЛИН

В статье освещаются результаты исследований Московского трансформаторного завода им. Куйбышева и Всесоюзного электротехнического института явлений в обмотке трансформатора при «срезе» (при разряде) импульсного напряжения на его клеммах и вопросы методики испытаний срезанной волной. Опасность подобных срезов для обмотки трансформатора была распознана уже давно. Как элемент при испытании трансформаторов повышенным напряжением воспроизведение среза фигурировало уже в общеизвестных немецких и швейцарских нормах еще до возникновения вопроса об импульсных испытаниях в США, где также было введено испытание срезом (срезом импульсного напряжения).

В связи с разработкой у нас методики импульсных испытаний было проведено сопоставление расчетных перенапряжений, возникающих между отдельными элементами изоляции, с фактическими перенапряжениями, которые имеют место при испытании. Выяснилось, что напряжения, лежащие на изоляции между катушками, при воспроизведении среза весьма значительно превышают те напряжения, которые подсчитывались на основе существовавших в то время теорий. Поиски причины этого разногласия и ряд наблюдений при исследовании перенапряжений в обмотках привели к созданию новой теории, которая удовлетворительно объяснила целый комплекс явлений, наблюдаемых при срезе. Сущность этой теории и ее практические выводы излагаются ниже.

Рассмотрим распределение напряжений в обмотке в том случае, если на вводе возникает импульс напряжения, изменяющийся во времени согласно кривой, показанной на рис. 1 (наверху).

Такой импульс имеет место при „апериодическом срезе“¹ на фронте волны или вблизи ее амплитуды. Длительность импульса τ принимается столь малой, что напряжение в обмотке распределяется по емкостям. Это значит, что обмотку можно идентифицировать с цепочкой емкостей (рис. 1) и что в каждой точке импульс напряжения относительно земли по своей форме подобен приложенному. Амплитуда же этого импульса резко спадает по мере удаления от линейного конца (на рис. 1 показана примерная схематическая кривая). Спад особенно силен на первых катушках и на изоляции между этими катушками создаются большие напряжения. Напряжения на первой катушке обозначено σE , где σ — градиент емкостного распределения. Он зависит от соотношения между емкостью обмотки на землю и продольной емкостью катушек через канал. Его порядок, обычно, 0,2—0,35. Следовательно, на первой катушке оказывается 20—35% напряжения от амплитуды срезанной волны. Описанным образом до сих пор и трактовалось явление высоких градиентных перенапряжений и пробоев начальных катушек при срезе.

Емкостное распределение и коэффициент σ поддаются приближенному расчету. Проведенные у нас опыты показали, что напряжение на первых катушках значительно (вплоть до двухкратного значения) превышает вычисленное по емкостному распределению. Оказалось, что это связано с колебательным характером среза.

Если срез импульсного напряжения происходит на некотором расстоянии от трансформатора (хотя бы порядка метров), то магнитное поле

¹ Смысл акцентации признака апериодичности будет ясен ниже.

разрядного тока, протекающего через разрядный промежуток, уже настолько эффективно, что «входная емкость» трансформатора перезаряжается, возникают затухающие колебания и форма напряжения на этой входной емкости (т. е. на трансформаторе) имеет вид схематической кривой, показанной на рис. 2 наверху. Мы можем принять схему замещения, показанную на рис. 3, слева, в которой L_n , так называемая индуктивность «петли среза». При импульсном испытании для большей определенности этой петле придают вид прямоугольника, имеющего длину l и вы-

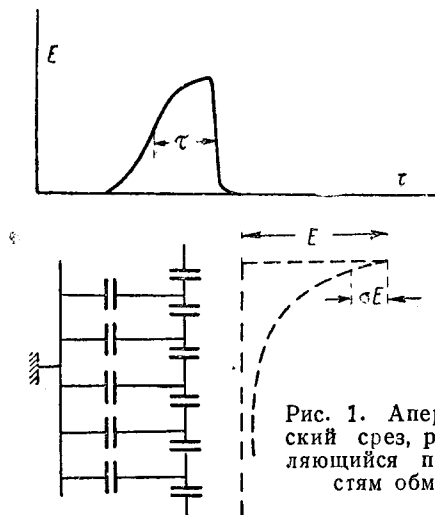


Рис. 1. Аperiодический срез, распределенный по емкостям обмотки

соту h (рис. 3, справа). Высота h зависит от мощности и напряжения трансформатора. В среднем значения индуктивности L_n соответствуют значениям, приведенным в табл. 1. Взятые в ней длины l будут комментированы ниже, пока же придаем этой таблице иллюстрационный характер.

Таблица 1

Номинальное напряжение трансформатора, kV _{eff}	h m	l m	L_n mH	$C_{вх}$ μF	$T_{ср}$ μsec
35	3,5—4,5	10—12	~40	80	~0,35
110				250	~0,65
220*	8	20	85	500	~1,3

* Данные для 220 kV—предварительные.

Период колебательного среза $T_{ср} = 2\pi\sqrt{L_n C_{вх}}$ связан с напряжением и мощностью трансформатора через входную емкость $C_{вх}$, меняющуюся для разных типов трансформаторов. Можно ориентировочно принять значения, данные в таблице.

Возвращаемся к рис. 2. Отмечаем два момента:
1) Скачок напряжения на кривой импульса при колебательном срезе [верхняя схематическая кривая] вдвое, или почти вдвое, превышает скачок при аperiодическом срезе (рис. 1).

2) Кривую на рис. 2 можно разбить на две последовательные во времени части: на «передний фронт» с относительно медленными скоростями изменения и затухающее колебание, характеризующееся значительно более высокими скоростями изменения.

В обоснование последнего утверждения укажем, что длина фронта—порядка 1,5—2 μsec, и по

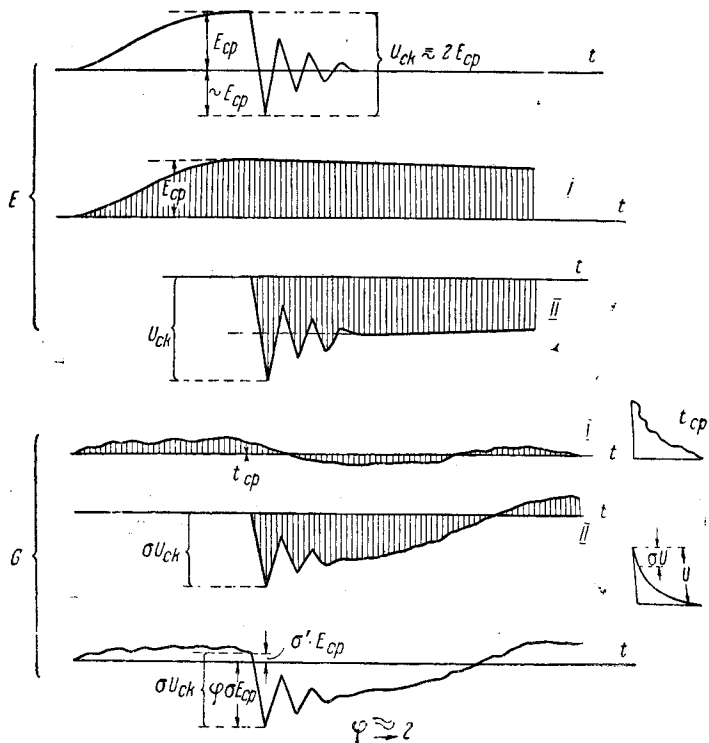


Рис. 2. Периодический срез. Образование формы градиента в начале обмотки по методу наложения

скорости изменения это эквивалентно периоду колебания порядка 6—8 μsec. Периоды же колебания при срезе, согласно таблице, лежат в пределах 0,35—1,3 μsec.

Как показали опыты, при тех и других скоростях изменения напряжения на вводе явления в обмотке качественно различны. При быстрой изменении, соответствующей указанным частотам среза, можно приближенно считать, что напряжение распределяется еще по емкостям (т. е. согласно схематической кривой распределения рис. 1, определяющей и коэффициент σ). При скорости изменения, соответствующей фронту, за время длительности фронта в обмотку успевают проникнуть заряды, распределяющиеся по элементам обмотки таким образом, что распределение потенциала вдоль обмотки оказывается сглаженным. Для нас здесь важен тот экспериментально обнаруженный факт, что к моменту среза градиенты на первых катушках оказываются много ниже, чем соответствующие емкостному распределению (много ниже, чем $\sigma E_{ср}$). Если мысленно представить себе кривую распределения напряжения перед самым моментом среза, то она не покажет на первых катушках резкого спада, характеризующего емкостное распределение, так, что

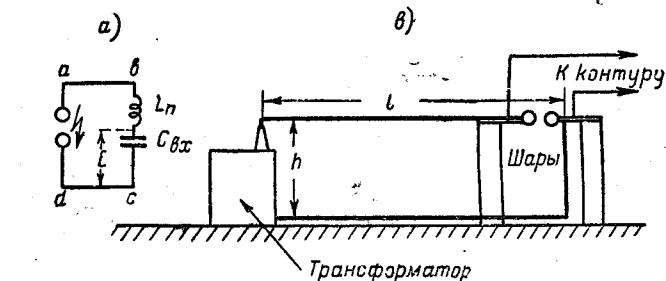


Рис. 3

а — схема замещения для контура среза, б — схема воспроизведения среза при импульсном испытании

на первой катушке спад напряжения $\sigma' E_{cp}$ будет значительно менее σE_{cp} . В ряде случаев σ' доходит до нуля, т. е. срез на вводе происходит в тот момент, когда напряжение на катушке — нуль.

Пусть кривая напряжения на вводе характеризуется тем, что первый обратный максимум после среза равен φE_{cp} (рис. 1). Применим метод наложения. Разложим падающий на обмотку импульс $E=f(t)$ на два — несрезанную волну (I на рис. 2) и „остаток“, представляющий затухающие около некоторой оси колебания [II, рис. 2]. Каждая порознь эти составляющие вызовут на первой катушке напряжения G („градиенты“), показанные кривыми I и II на том же рисунке ниже. Для момента среза градиент по кривой I равен $+\sigma' E_{cp}$, а по кривой II — $\sigma U_{ск}$, где $U_{ск}$ — весь скачок напряжения на вводе:

$$U_{ск} = E_{cp} + \varphi E_{cp}.$$

Суммируя кривые I и II , получаем максимальный градиент:

$$G_m = -\sigma(E_{cp} + \varphi E_{cp}) + \sigma' E_{cp} = -E_{cp} \sigma \left[(1 + \varphi) - \frac{\sigma'}{\sigma} \right]. \quad (1)$$

Коэффициент φ назван „коэффициентом перехода через нуль“.

Этот коэффициент зависит от затухания, но также и еще от одного фактора, на котором сейчас остановимся. При срезе непосредственно на втулке разрядный ток замыкается в контуре, состоящем из участков — длина искры разряда на крышку бака, длина ввода и область разветвленных путей тока смещения, которые по конфигурации совпадают с силовыми линиями заряженной входной емкости. Эти последние около начала обмотки довольно сильно сконцентрированы и ток смещения здесь сцеплен с потоком магнитного поля значительной напряженности.

Э. д. с., наводимую этим потоком, нужно учитывать. Поэтому более точной является схема замещения A рис. 4, в свою очередь переходящая в схему B (того же рисунка справа). Перед разрядом емкость C_{ax} заряжена до напряжения E_{cp} . После пробоя промежутка это напряжение ложится на обе последовательные индуктивности и распределяется по их значениям: L'_n и L_{ax} . Следовательно, напряжение на начале обмотки (точка c) после разряда мгновенно устанавливается равным:

$$E_{cp} \frac{L'_n}{L'_n + L_{ax}} = E_{cp} \frac{L'_n}{L_n}. \quad (2)$$

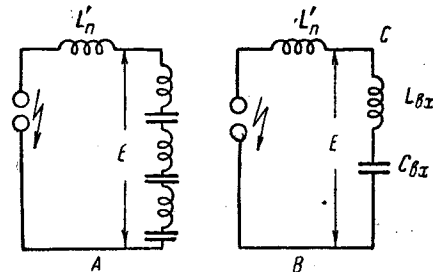
Амплитуда колебаний непосредственно на входной емкости остается равной E_{cp} , но в точке c

амплитуда колебаний меньше и равна $\frac{L'_n}{L_n} E_{cp}$. По-

лучаем картину изменения напряжения на начале обмотки (в точке c) согласно схематической кривой рис. 5. Мы видим, что коэффициент перехода через нуль φ становится меньше под влиянием индуктивности L_{ax} .

Опыт показал, что при срезе на втулке и вообще непосредственно вблизи трансформатора колебания почти отсутствуют и коэффициент перехода через нуль весьма мал. На рис. 6, a дана осциллограмма² напряжения на вводе при срезе на втулке. При удалении точки среза коэффициент

Рис. 4. Схема замещения контура среза с учетом индуктивных влияний внутри трансформатора



перехода через нуль увеличивается. На осциллограмме b рис. 6 показана картина изменения напряжения на вводе при срезе на расстоянии 30 м от трансформатора.

Нетрудно видеть, что с удалением точки среза растет L'_n (индуктивность внешних проводов)

и дробь $\frac{L'_n}{L'_n + L_{ax}}$ приближается к единице. Кроме того, с увеличением индуктивности петли среза $L_n = L'_n + L_{ax}$ уменьшается показатель затухания³ $\frac{r}{L_n}$. Следовательно, и теория, и опыт указывают

на то, что при срезе на втулке коэффициент перехода через нуль относительно весьма мал, а по мере удаления точки среза от трансформатора он быстро возрастает, приближаясь к единице.

Формы кривых градиента, вытекающие из изложенной теории (типа нижней кривой рис. 2), неоднократно были зарегистрированы при осциллографировании. Для иллюстрации приводим осциллограмму рис. 7 (градиент на первом канале).

В эксплуатации явление колебательного среза может иметь место на тупиковых подстанциях. Если имеется второй фидер, то он шунтирует своим волновым сопротивлением входную емкость и срез может носить апериодический характер. Но именно на тупиковой подстанции всего вероятней явление среза. Имеющиеся (хотя и скудные) данные аварий трансформаторов от атмосферных перенапряжений в наших сетях указывают на большой процент аварий, характеризующихся пробоем первых катушек при срезе, и притом, главным образом, в условиях тупикового режима [2].

Срезы на подстанциях, как правило, происходят

³ Опыты показали, что на затухание влияет и фактор Z , который можно характеризовать, как „волновое сопротивление трансформатора“, как бы включенное параллельно входной емкости.

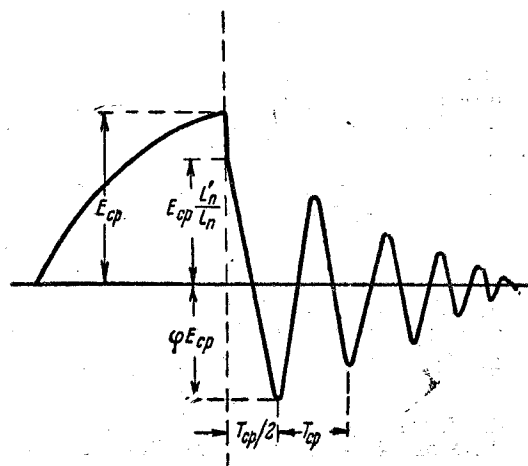


Рис. 5. Схематическая кривая изменения напряжения на вводе при срезе, учитывающая индуктивные влияния внутри трансформатора (срез на втулке)

² Осциллограммы, помещаемые в статью, получены инж. Е. С. Фрид.

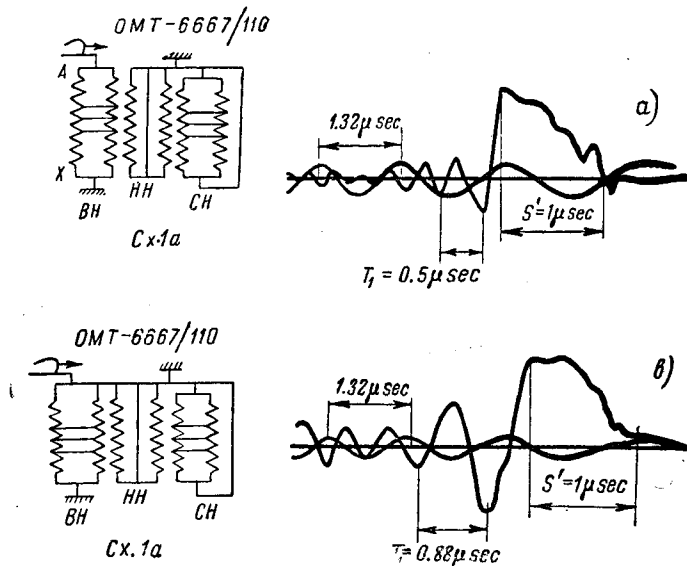


Рис. 6

а — срез на втулке, потенциал на вводе, волна $1,3/43 \mu\text{sec}$, трансформатор ОМТ 6667 кВА, 110 кВ; б — срез на расстоянии 30 м, потенциал на вводе, волна $1,3/43 \mu\text{sec}$, трансформатор ОМТ 6667 кВА, 110 кВ

на некотором расстоянии от трансформатора, а не на втулке.

Если срез происходит не непосредственно на подводке к трансформатору от шин, а на шинах или за шинами, то в колебаниях участвует и емкость шин. В определенных случаях колебания могут носить сложный многочастотный характер. С удалением точки среза от трансформатора на расстояния, превосходящие указанные в таблице, основной период колебаний при срезе растет по сравнению с наибольшим табличным и, наконец, частота колебаний падает настолько, что нельзя уже говорить о распределении по емкостям слагающей высокочастотных колебаний. Вообще говоря, распределение по обмотке должно становиться при этом более полным, что можно отобразить, заменив в формуле (1) коэффициент σ на меньший коэффициент σ' (в результате такой замены вычисляемые по формуле градиенты уменьшаются). Правда, возможны резонансные явления, когда частота среза оказывается совпавшей с какой-нибудь высшей гармоникой собственного колебания обмотки, что должно повышать градиент.

Имеющийся экспериментальный материал о значениях градиентов в обмотке при уменьшенной частоте среза (при удалении точки среза) еще недостаточен. Проведенные исследования показывают, что с уменьшением частоты максимум огибающей градиентов несколько перемещается в глубь обмотки. Увеличения же максимального градиента на первых катушках при уменьшении частоты до сих пор не наблюдалось.

Можно считать, что практически условия среза, характеризуемые таблицей, отвечают наиболее жестким условиям эксплуатации. На расширенном совещании по трансформаторостроению⁴ эти условия и были рекомендованы для воспроизведения при импульсных испытаниях⁵. Одновременно была отмечена необходимость постановки работ по исследованию

⁴ Москва, ноябрь 1940.

⁵ К тому же они достаточно удобны при проведении этих испытаний.

дованию градиентов при срезе на различных расстояниях и по изучению форм срезаемых волн в реальных условиях подстанций.

Нужно заметить, что импульсные испытания нельзя усложнять требованием воспроизведения нескольких срезов на разных расстояниях. Невозможно отыскивать расстояние, соответствующее резонансному явлению в данном трансформаторе или «проходить» огибающую максимальных воздействий на изоляцию всех катушек начала обмотки. Повидимому, расстояния, даваемые табл. 1, или близкие к ним, в дальнейшем останутся нормативными, как некоторые условные расстояния, в среднем наиболее соответствующие наихудшим случаям в эксплуатации.

При срезах на весьма крутых фронтах (время до среза менее $0,5 \mu\text{sec}$), даже если переход через нуль имеет место, возрастания градиента от этого не происходит, так как и до момента среза напряжение в обмотке распределяется по емкостям. Поэтому при повышении крутизны срезаемого фронта

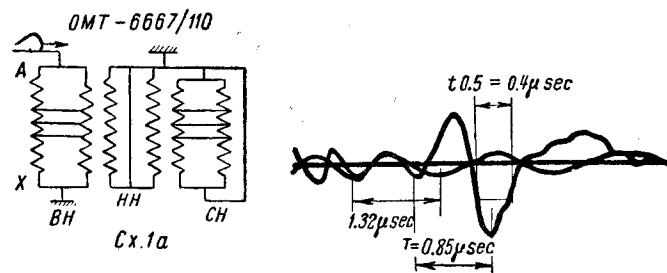


Рис. 7. Градиент на 1 канале, срез на расстоянии 30 м от точки А, волны $1,3/43 \mu\text{sec}$, трансформатор ОМТ 6667 кВА, 110 кВ

максимальные градиенты растут медленней, чем амплитуда среза $E_{ср}$. Импульсная прочность трансформатора в целом, в значительной мере определяемая величиной градиентов при срезе, не следует здесь вольтсекундной характеристике изоляции [1].

При срезе через вентильный разрядник колебания не возникают и, кроме того, получающийся обратный фронт апериодического среза полог. Градиенты в начале обмотки (да и в глубине ее) в этом случае сильно понижены. Однако в существующих условиях выпускаемый трансформатор не может быть гарантирован лишь для работы с вентильным разрядником. Кроме того, даже при наличии вентильного разрядника не исключена возможность срезов помимо него (запыление, наброс, попадание птиц и пр.), и такой случай не должен вызвать аварии трансформатора.

Хотя в дальнейшем трансформаторы, безусловно, должны быть координированы с вентильными разрядниками, однако, импульсное испытание, без сомнения, должно включать испытание на срез по обоснованной выше методике. Такая установка принята и упомянутым выше совещанием по трансформаторостроению.

Литература

1. В. А. Карасев, А. В. Панов, А. Г. Перлин, А. В. Сапожников, Е. С. Фрид, «Импульсная прочность трансформаторов». Доклад на совещании по трансформаторостроению. Москва, М.—Л., Госэнергоиздат, ноябрь 1940.
2. А. И. Долгинов, «Защита трансформаторов от перенапряжений и требования к импульсной прочности трансформаторов». Доклад на совещании по трансформаторостроению. М.—Л., Госэнергоиздат 1940.

Система нерезонирующих трансформаторов

Канд. техн. наук, доц. М. В. ЛИПКОВСКИЙ

Московский трансформаторный завод им. Куйбышева

Нерезонирующие (грозоупорные) трансформаторы прочно входят в технику трансформаторостроения. Последние годы характеризуются не только количественным ростом выпуска нерезонирующих трансформаторов, но и существенным прогрессом техники этой области трансформаторостроения. Создан ряд новых, оригинальных конструкций, весьма отличных одна от другой. Уже одно это вызывает интерес к сопоставлению разных конструкций. В то же время более пристальное теоретическое рассмотрение позволяет установить известное единство в этом разнообразии конструкций, когда каждая из них теряет черты исключительности, занимая определенное место в системе нерезонирующих трансформаторов.

Напомним известные положения¹:

В обычном трансформаторе первоначальное (емкостное) распределение напряжения приблизительно подчиняется закону:

$$U_x = U_A \frac{\operatorname{sh} \alpha x}{\operatorname{sh} \alpha} \quad (1)$$

в случае заземленной нейтрали обмотки (рис. 1, а) и

$$U_x = U_A \frac{\operatorname{ch} \alpha x}{\operatorname{ch} \alpha} \quad (2)$$

при изолированной нейтрали (рис. 1, б).

Здесь U_A — амплитудное значение напряжения, $\alpha = \sqrt{\frac{C_0}{C_k}}$, где C_0 и C_k — соответственно, емкость обмотки на землю и междукатушечная емкость. В идеально нерезонирующем трансформаторе первоначальное распределение напряжения совпадает с конечным

$$U_x = U_A x, \quad (3)$$

в случае заземленной нейтрали обмотки и

$$U_x = \operatorname{const} = U_A \quad (4)$$

в случае изолированной нейтрали.

Вследствие этого отсутствуют причины для возникновения внутренних колебаний в обмотке.

В любой грозоупорной конструкции заложена идея приближения первоначального распределения к конечному. Формально задача сводится к тому, чтобы по возможности приблизить коэффициент α к нулю (рис. 1).

Рассмотрим сначала трансформатор с заземленной нейтралью. С точки зрения физических процессов в трансформаторе задача заключается в том, чтобы компенсировать избыточное емкостное падение напряжения ΔU (рис. 1, а) между каждой данной точкой обмотки и заземленными частями трансформатора. Для этого обмотка должна обладать добавочным запасом электростатической энергии, т. е. каждому ее элементу должен быть сообщен некоторый электрический заряд дополнительно к заряду, определяемому емкостью C_k .

На рис. 2 показана обобщенная емкостная схема нерезонирующего трансформатора. На схеме

C_z — добавочная (защитная) емкость, питающая обмотку. Напряжения $U_{ш}$, которые заведомо выше соответствующих им напряжений U_x , обеспечиваются подбором емкостей $C_{ш}$ делителя напряжения. Вся система питается от линейного провода.



Рассматривая прямую AB рис. 3 как разграничительную линию между напряжениями в обмотке и на защитных емкостях, мы можем для напряжений $U_{ш}$ по аналогии с (1) написать:

$$U_{ш} = U_A \left(1 - \frac{\operatorname{sh} \beta (1-x)}{\operatorname{sh} \beta} \right), \quad (5)$$

где β — коэффициент, определяющий параметры защиты — емкости C_z и $C_{ш}$.

В нерезонирующем трансформаторе, т. е. при соблюдении условия (3), емкости $C_{ш}$ определяются из условия² (рис. 2):

$$i_{ш} = \frac{C_{ш}}{dx} dU_{ш} = C_0 U_A \int_0^x x dx, \quad (6)$$

откуда

$$C_{ш} = \frac{C_0 x^2 \operatorname{sh} \beta}{2 \beta \operatorname{ch} \beta (1-x)}. \quad (6')$$

Емкость C_z , в соответствии с рис. 2, определяется из условия

$$(U_{ш} - U_x) C_z = U_x C_0, \quad (7)$$

откуда

$$C_z = C_0 \frac{U_x}{U_{ш} - U_x} = C_0 \frac{x}{1 - \frac{\operatorname{sh} \beta (1-x)}{\operatorname{sh} \beta} - x}. \quad (7')$$

¹ См., например, Г. Н. Петров. Трансформаторы, 1934, гл. XII.

² Здесь и ниже мы для простоты полагаем угловую скорость $\omega = 1$.

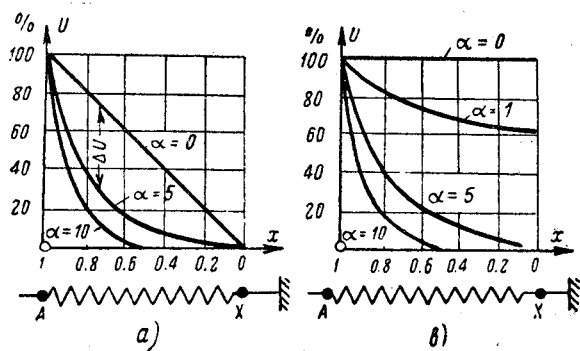


Рис. 1

Рассмотрим два частных случая:

1) $\beta = \infty$.

Тогда

$$U_x = U_A, C_{ш} = \infty, C_3 = C_0 \frac{x}{1-x}. \quad (8)$$

Схема, соответствующая равенствам (8), показана на рис. 4, а. Это — хорошо известная схема нерезонирующего трансформатора с экранирующим шитом, разработанная Палуевым. Такие трансформаторы строит американская фирма GEC.

2) $\beta = 0$.

В этом случае

$$U_x = U_A x, C_{ш} = C_0 \frac{x^2}{2}, C_3 = \infty. \quad (9)$$

Схема, соответствующая равенствам (9), приведена на рис. 4, б. Это — также хорошо известная схема нерезонирующего трансформатора с шунтирующими конденсаторами, в измененном виде нашедшая применение в советском трансформаторостроении.

В виде таких двух различных схем нерезонирующие трансформаторы были впервые (в 1915 г.) введены в теорию трансформатора американским инж. G. M. Weed.

Однако мы видим, что схемы рис. 4 не только не противостоят одна другой, но, наоборот, сами являются предельными частными случаями обобщенной схемы рис. 2. В общем же случае конструкция будет сочетать элементы обеих схем. Варианты таких сочетаний могут быть самыми разнообразными.

Представляет интерес конструкция, предложенная Акционерным обществом электрических конструк-

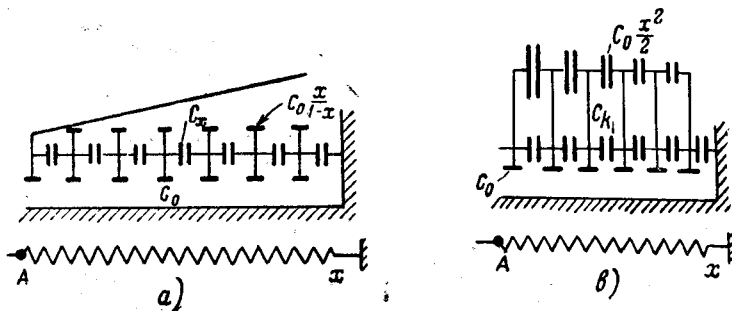


Рис. 4

ций Шарлеруа (Бельгия), показанная на рис. 5. В этой конструкции емкость C_3 создается специальными металлическими пластинами, присоединенными к делителю напряжения и помещенными в каналах между катушками. Обобщенная схема рис. 2 преобразуется в схему, показанную на том же рис. 5, так как непосредственная емкостная связь между катушками трансформатора отсутствует ($C_k = 0$). В качестве делителя напряжения используется конденсаторный ввод, что в данном случае представляет побочный интерес (и что, кстати сказать, не является сильной стороной конструкции).

Еще раньше, в 1928 г., F. W. Gay (США) предложил аналогичную конструкцию защиты, в которой в каналах между катушками помещается не только металлическая пластина, связанная с делителем, но и самый делитель. Для усиления затухания процессов при перенапряжениях последовательно с каждым элементом делителя включается активное сопротивление.

Аналогичным последнему является предложение инж. А. В. Панова, схематически показанное на рис. 6. В этой схеме делитель также встроен в обмотку, но активные сопротивления в схеме защиты отсутствуют, что весьма упрощает конструкцию. И в этом случае схема замещения рис. 5 полностью сохраняет свое значение. Из этой схемы следует, что при линейном распределении напряжения на емкостном делителе напряжение в обмотке

$$U_x = \frac{C_3}{C_0 + C_3} U_A x, \quad (10)$$

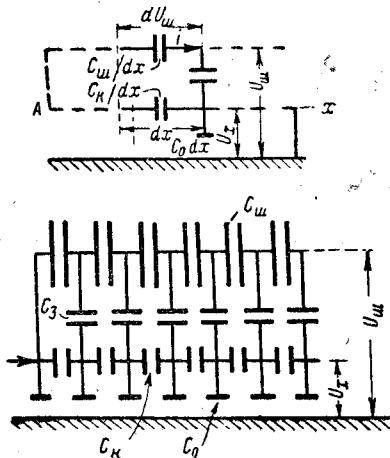


Рис. 2

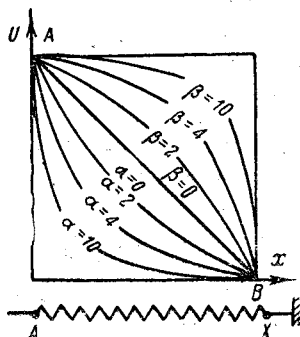


Рис. 3

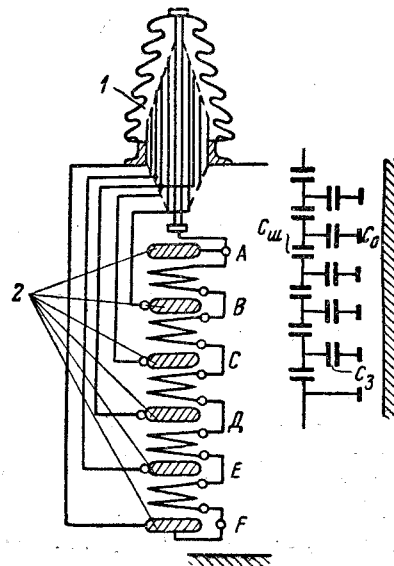


Рис. 5

1 — делитель напряжения, 2 — металлические пластины

$$C_{ш} = \frac{C_0 C_3}{C_0 + C_3} \frac{x^2}{2}. \quad (11)$$

Нерезонирующие трансформаторы со встроенными в обмотку конденсаторами емкостного делителя, впервые разработанные в СССР, выпускаются Московским трансформаторным заводом им. Куйбышева на напряжения 110—220 kV.

Другой вариант сочетания элементов схем *a* и *в* рис. 4 показан на рис. 7, *a*, где изображена схема нерезонирующего трансформатора с конденсаторным экраном. В таком трансформаторе защитное устройство осуществлено в виде системы последовательно соединенных конденсаторов, выполненных таким образом, что они экранируют обмотку от заземленных частей. Здесь обобщенной схеме замещения рис. 2 соответствует обобщающая конструкция, содержащая и конструктивные элементы экранирующего щита и элементы шунтирующих конденсаторов. Если щит схемы *a* рис. 4 охватывает все катушки одним общим потенциалом, а конденсаторы схемы *в* того же рисунка защищают индивидуально каждую отдельную катушку, то конденсаторный экран позволяет применить экранирование катушек груп-

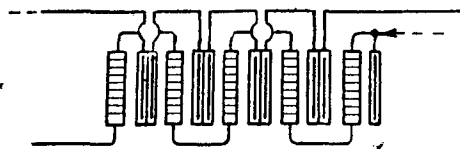


Рис. 6

пам, как это показано на рис. 7. Соответствующая этой конструкции схема замещения дана на том же рис. 7. В этом случае составной частью общего расчета является емкостной расчет отдельно для каждой группы катушек. Задачей расчета является определение емкостей $C_{ш}$ и C_3 при заданном начальном распределении напряжения.

Конденсаторный экран может быть установлен как с внутренней стороны обмотки, так и с внешней. Он может быть установлен также с обеих сторон, и в этом случае обмотка будет полностью экранирована от земли.

Предположим, что конденсаторный экран установлен с внутренней стороны обмотки. Примем обозначения:

C_0, C_c, C_3 — соответственно удельные емкости обмотки на бак, сердечник, и экранирующую обкладку конденсаторного экрана,

φ — угол охвата катушки экранирующей обкладкой,

U_3 — напряжение экранирующей обкладки,

U_x — напряжение катушки, $k = \frac{C_2}{C_c}$.

Тогда при заданном линейном распределении напряжения в обмотке должно соблюдаться равенство:

$$\left(C_0 + C_c \frac{2\pi - \varphi}{2\pi} \right) U_x = k C_c \frac{\varphi}{2\pi} (U_3 - U_x), \quad (12)$$

откуда

$$\varphi = 2\pi \frac{(C_0 + C_c) U_x}{C_c [k U_3 + (1 - k) U_x]}. \quad (13)$$

При данном диэлектрическом коэффициенте ϵ и принятом расстоянии между экранирующей об-

кладкой и катушкой угол охвата φ определяет величину емкости C_3 .

Емкость $C_{ш}$ в соответствии со схемой *в* рис. 7, определяется из выражения:

$$C_{ш} = \frac{i_{ш}}{\Delta U_3}, \quad (14)$$

где

$$\begin{aligned} i_{ш} &= \sum_1^x U_x C_0 + \sum_1^n U_3 C_{03} = \\ &= \sum_1^x (U_3 - U_x) C_3 + \sum_1^n U_3 C_{03}. \end{aligned} \quad (15)$$

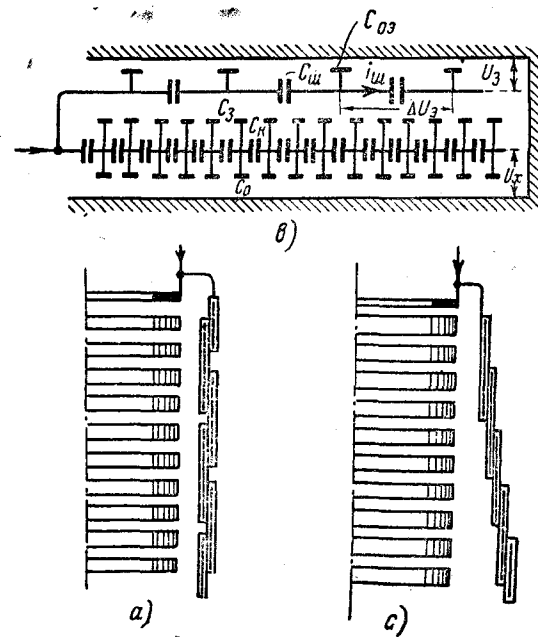


Рис. 7

В выражении (15) первый член суммирует токи на землю с обмотки, а второй — токи на землю непосредственно с экранов.

Аналогичное решение получается и при установке экрана с наружной стороны обмотки.

Особую конструкцию грозоупорного трансформатора применяет американская фирма Westinghouse. Основной идеей в защите Westinghouse является выравнивание электрического поля в главной изоляции. С этой целью применяется специальная конусообразная конструкция обмотки с вводом в середину и расположение изоляционных цилиндров вдоль эквипотенциальных поверхностей поля (рис. 8). Так как эквипотенциальные поверхности почти параллельны продольной оси трансформатора, то условия для возникновения поверхностных разрядов вдоль изоляционных цилиндров отсутствуют, и прочность обмотки повышается.

Как бы последний способ защиты трансформатора от перенапряжений ни казался отличным от предыдущих, он теснейшим образом с ними связан. Не имеет смысла различать конструкции по способу воздействия защиты: либо непосредственно на обмотку, либо на главную изоляцию. Междукатушечные градиенты соответствуют полю в главной изоляции и наоборот. Поэтому естественно при равномерном поле в главной изоляции междукатушечные градиенты получаются минимальными. Но действительно и обратное положение

ние: в нерезонирующем трансформаторе, т. е. при прямолинейном первоначальном распределении напряжения в обмотке поле в главной изоляции ближе всего к равномерному. Конусообразная обмотка в конструкции Westinghouse есть не что иное, как обмотка с градуированной изоляцией. Известно, что в нерезонирующем трансформаторе возможна линейная градиция главной изоляции. Следует только подчеркнуть, что такая градиция не только возможна, но и желательна.

Возвращаясь к конструкции Westinghouse, следует отметить, что сама по себе градиция главной изоляции еще не обеспечивает необходимых напряжений в отдельных точках обмотки, и эти напряжения должны быть обеспечены тем или иным способом (например, соответствующим подбором емкостных параметров трансформатора).

Если в трансформаторе с конденсаторным экраном (рис. 7) обкладки конденсаторов расположить не по конструктивной схеме *a*, а так, как показано на схеме *c*, то получится конструкция, представляющая плавный переход от нерезонирующего трансформатора к грозоупорному трансформатору Westinghouse.

Полагая в схеме рис. 2 $C_3 = \infty$, $C_{ш} = \text{const}$, получаем емкостную схему обычного — резонирующего трансформатора (рис. 9, *a*). Уж одно это обстоятельство показывает, что противопоставление резонирующего трансформатора нерезонирующему имеет свои границы. Формально нерезонирующий трансформатор отличается от резонирующего малым значением коэффициента $\alpha = \sqrt{\frac{C_0}{C_k}}$, который в идеальном случае равен нулю. Но

коэффициент α есть функция соотношений геометрических размеров в трансформаторе. Если трансформатор состоит из небольшого количества широких катушек (C_k велико), а расстояние от обмотки до заземленных частей достаточно велико (C_0 мало), то такой трансформатор по своим характеристикам значительно приближается к нерезонирующему трансформатору. Интересно отметить, что Weed одновременно со схемами рис. 4 предложил и схему в рис. 9, представляющую обычный трансформатор, но с большими емкостями C_k (широкие катушки). Такой способ защиты трансформатора от перенапряжений находит применение в ряде случаев.

Из предыдущего анализа вытекает возможность плавного перехода не только от одной нерезонирующей конструкции к другой, но и от резонирующего трансформатора к нерезонирующему; изменяя в резонирующем трансформаторе коэффициент α (рис. 1), можно сколь угодно приблизить его по характеристикам к нерезонирующему. При этом вовсе нет необходимости изменять параметры самой обмотки, так как значительно проще обеспечить требуемое значение α соответствующим подбором емкостной защиты. Так, мы приходим к новому типу трансформатора, получившему последнее время широкое распространение, — к трансформатору с неполной защитой. В таком трансформаторе перенапряжения хотя и возможны, но они ограничены пределами, обеспечивающими прочность конструкции.

Задавись желательным коэффициентом кривизны α' начального распределения напряжения в обмотке [см. формулу (1)] и выбрав коэффици

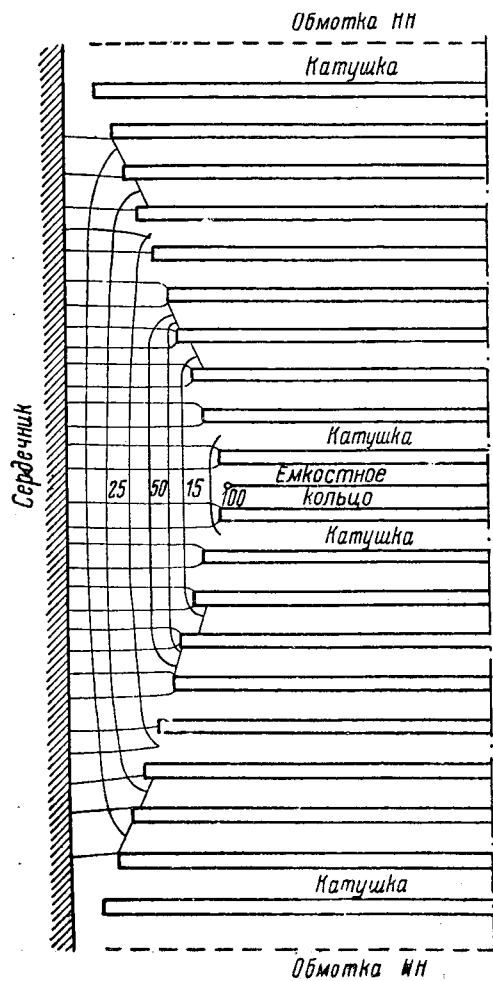


Рис. 8

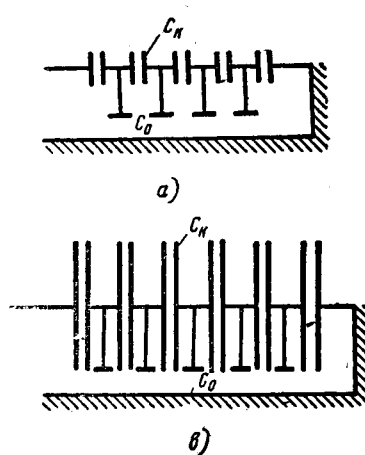


Рис. 9

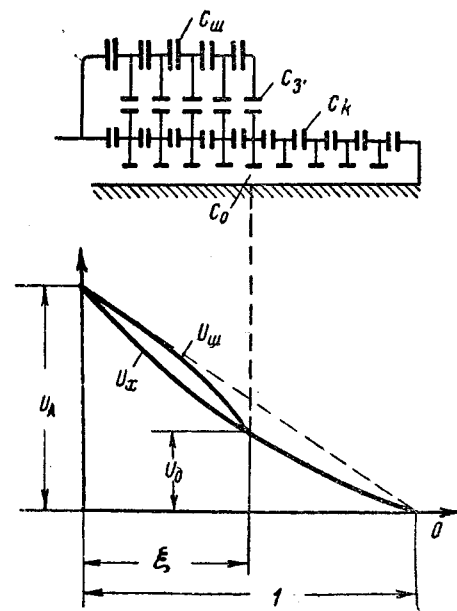


Рис. 10

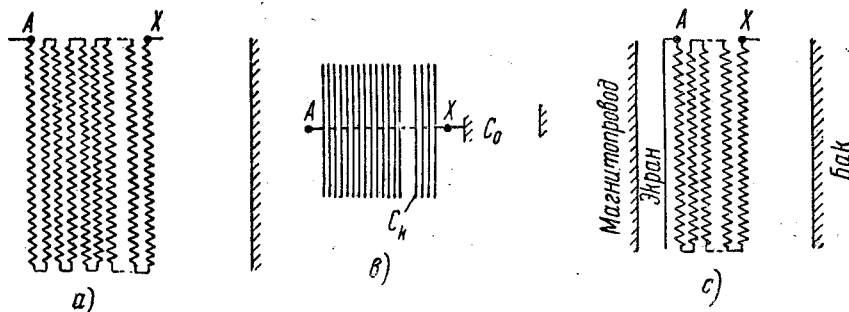


Рис. 11

ент β для распределения напряжения в цепи делителя

$$U_w = U_A \frac{\operatorname{sh} \beta x}{\operatorname{sh} \beta},$$

можно определить емкости C_3 и C_w , исходя из условия (рис. 2):

$$(U_w - U_x) C_3 dx - U_x C_0 dx + d^2 U_x \frac{C_K}{dx} = 0$$

или

$$\frac{d^2 U_x}{dx^2} + \frac{C_3}{C_K} U_w - \frac{C_3 + C_0}{C_K} U_x = 0. \quad (16)$$

Подставляя в (16) заданные значения U_x и U_w , находим:

$$C_3 = \frac{(\alpha'^2 C_K - C_0) \operatorname{sh} \alpha' x \cdot \operatorname{sh} \beta}{\operatorname{sh} \alpha' x \operatorname{sh} \beta - \operatorname{sh} \beta x \cdot \operatorname{sh} \alpha'}. \quad (17)$$

Емкость C_w определяется из равенства:

$$\begin{aligned} i_w &= \int_0^x (U_w - U_x) C_3 dx = \int_0^x C_0 U_x dx - \int_0^x C_K d \left(\frac{d U_x}{dx} \right) = \\ &= \frac{C_0}{\alpha'} U_A \frac{(\operatorname{ch} \alpha' x - 1)}{\operatorname{sh} \alpha'} - C_K \alpha' U_A \frac{\operatorname{ch} \alpha' x}{\operatorname{sh} \alpha'} = C_w \frac{d U_w}{dx} = \\ &= C_w \beta U_A \frac{\operatorname{ch} \beta x}{\operatorname{sh} \beta}, \end{aligned} \quad (18)$$

откуда

$$C_w = \frac{\left[\left(\frac{C_0}{\alpha'} - C_K \alpha' \right) \operatorname{ch} \alpha' x - \frac{C_0}{\alpha'} \right] \operatorname{sh} \beta}{\beta \operatorname{sh} \alpha' \operatorname{ch} \beta x}. \quad (19)$$

По смыслу поставленной задачи $\beta < \alpha'$. В предельном частном случае, когда $\beta = \alpha$, $C_3 = \infty$, т. е. конденсаторы делителя накоротко соединены с катушками.

Практическое применение нашли схемы, в которых защита является неполной не только по электрическим характеристикам, но и по количеству защитных элементов (рис. 10).

Допустим, как это показано на рис. 10, что защитная зона обмотки ограничена участком ξ (при общей длине обмотки, равной единице). При отсутствии защиты первоначальное распределение напряжения в обмотке будет подчиняться формуле (1).

Задавшись коэффициентом кривизны β , для защищенной части обмотки можем написать (рис. 9):

$$U_y = (U_A - U_0) \frac{\operatorname{sh} \frac{\beta y}{\xi}}{\operatorname{sh} \beta} + U_0, \quad (20)$$

где y изменяется от нуля до ξ .

У конца защищенной части обмотки градиент

$$\frac{d U_y}{d y_{y \rightarrow 0}} = (U_A - U_0) \frac{\beta}{\xi} \frac{\operatorname{ch} \frac{\beta y}{\xi}}{\operatorname{sh} \beta} = (U_A - U_0) \frac{\beta}{\xi \operatorname{sh} \beta}. \quad (21)$$

С другой стороны, у начала незащищенной части градиент

$$\frac{d U_x}{d x} \approx U_0 \alpha. \quad (22)$$

По условию непрерывности выражения (21) и (22) должны быть тождественны, поэтому

$$U_0 = U_A \frac{\beta}{\alpha \xi \operatorname{sh} \beta + \beta}. \quad (23)$$

Наибольшие градиенты при емкостном распределении будут у линейного конца. Они выражаются следующим образом: в незащищенной обмотке

$$\frac{d U_x}{d x_{\max}} = \frac{U_A \alpha \operatorname{ch} \alpha x}{\operatorname{sh} \alpha x \rightarrow 1} \approx U_A \alpha, \quad (24)$$

в защищенной

$$\frac{d U_y}{d y_{\max}} = (U_A - U_0) \frac{\beta}{\xi} \frac{\operatorname{ch} \frac{\beta y}{\xi}}{\operatorname{sh} \beta y \rightarrow \xi} \approx (U_A - U_0) \frac{\beta}{\xi}. \quad (25)$$

Отношение выражений (24) и (25) дает коэффициент снижения градиентов при переходе от незащищенного трансформатора к защищенному.

$$\eta = U_A \alpha : (U_A - U_0) \frac{\beta}{\xi} = \frac{U_A}{U_A - U_0} \frac{\alpha \xi}{\beta}. \quad (26)$$

Подставляя (26) в (23), находим:

$$\xi = \frac{\beta \eta - \frac{\beta}{\operatorname{sh} \beta}}{\alpha}. \quad (27)$$

Выражение (27) показывает, что значение любой из величин ξ , η и β может быть получено при различных сочетаниях двух остальных. Можно, например, задавшись определенным коэффициентом снижения градиентов η , определять ξ при различных значениях β . Можно, наоборот, исходить из заданной величины ξ и определять величины η и β , одну в зависимости от другой.

Емкости C_3 и C_w определяются из условий, аналогичных (17) и (19). При этом следует иметь в виду:

Напряжение в цепи защиты (рис. 10) в общем случае имеет значение

$$\begin{aligned} U_w &= (U_A - U_0) \left(1 - \frac{\operatorname{sh} \gamma \left(1 - \frac{y}{\xi} \right)}{\operatorname{sh} \gamma} \right) + U_0 = \\ &= U_A \left\{ 1 - \frac{\operatorname{sh} \gamma \left(1 - \frac{y}{\xi} \right)}{\operatorname{sh} \gamma} + \frac{\beta \operatorname{sh} \gamma \left(1 - \frac{y}{\xi} \right)}{(\alpha \xi \operatorname{sh} \beta + \beta) \operatorname{sh} \gamma} \right\}, \end{aligned} \quad (28)$$

ток в цепи защиты

$$i_w = \int_0^y C_0 U_y dy - C_K \frac{d U_y}{d y} + i_{bx}, \quad (29)$$

где первые два члена означают составляющую тока цепи защиты на землю в защитной зоне, а третий представляет ток, протекающий через входную емкость незащищенной части обмотки

$$i_{bx} = U_0 C_{bx} \approx U_0 \sqrt{C_0 C_K}.$$

Нам остается остановиться на особенностях защиты от перенапряжений трансформатора с изолированной нейтралью.

Идея защиты и в данном случае сводится к возможному сближению первоначального распределения напряжения и конечного. В отличие от трансформатора с заземленной нейтралью, при изолированной нейтрали строгое совпадение первоначального и конечного распределения напряжения принципиально невозможно: при всех обстоятельствах обмотка имеет некоторую емкость на землю и, следовательно, в процессе первоначального распределения в ней имеет место емкостное падение напряжения. Конечное же распределение

³ Метод расчета предложен д-ром техн. наук, проф. В. А. Карасевым.

напряжения, в соответствии с (4), характеризуется общим для всех точек обмотки напряжением. Тем не менее это расхождение может быть сделано достаточно малым. Для этого нужно по возможности уменьшить емкость на землю C_0 и увеличить продольную емкость C_k , т. е. уменьшить α . Это и предусматривается в конструкциях грозоупорных трансформаторов с изолированной нейтралью.

Наиболее удачно эта задача решается применением многослойной цилиндрической обмотки (рис. 11, а). Упрощенная емкостная схема замещения такой обмотки показана на схеме в (рис. 11). Вследствие тесной емкостной связи между слоями внутреннее емкостное падение напряжения в обмотке получается малым.

Такая конструкция применяется и в трансформаторах МТЗ, причем для уменьшения падения напряжения в обмотке применяется металлический экран, присоединяемый к линейному концу (с, рис. 11). Для усиления действия экрана ввод делается с внутренней стороны; таким образом экран закрывает обмотку от сердечника (емкость на сердечник является определяющей в величине емкости обмотки на землю).

Как известно, многослойная цилиндрическая обмотка имеет тот недостаток, что она сравнительно мало устойчива к механическим воздействиям, возникающим при к. з. По этим соображениям в трансформаторах МТЗ такая конструкция применяется лишь при сравнительно небольших мощностях.

Устойчивость и переходные процессы шунтового двигателя постоянного тока¹

Акад. В. П. НИКИТИН и канд. техн. наук Н. П. КУНИЦКИЙ

Интегрируя основные уравнения для скорости и тока шунтового двигателя, учитывающие индуктивность якоря, и определяя постоянные C_1 и C_2 из начальных условий:

$t=0$, $n=n_{y_1}$ и $i=i_{y_1}$ ($M=M_{y_1}$), а постоянные C_3 и C_4 из условий $t=0$, $i=i_{y_1}$ и $\left(\frac{di}{dt}\right)_{t=0} = \frac{U-i_{y_1}R-c\Phi n_{y_1}}{L}$, получим в случае апериодического процесса для скорости двигателя:

$$\Delta n = n - n_{y_1} = e^{\beta t} \left[\left(\frac{375}{\gamma G D^2} (\Delta M_y - \Delta n_y D) - \frac{\Delta n_y \beta}{\gamma} \right) \operatorname{sh} \gamma t + \Delta n_y \operatorname{ch} \gamma t \right]; \quad (1)$$

т. е.

$$\Delta n = n - n_{y_1} = \Delta n_y e^{\beta t} (k \operatorname{sh} \gamma t + \operatorname{ch} \gamma t), \quad (2)$$

где

$$\beta = -\frac{1}{2} \left(\frac{1}{T} + \frac{D 375}{G D^2} \right)^2, \quad (3)$$

$$\gamma = \sqrt{\frac{1}{4} \left(\frac{1}{T} + \frac{D 375}{G D^2} \right)^2 - \frac{375 S}{T G D^2}}, \quad (4)$$

$$k = \frac{375}{\gamma G D^2} \left(\frac{\Delta M_y}{\Delta n_y} - D \right) - \frac{\beta}{\gamma}, \quad (5)$$

или

$$\Delta n = e^{\beta t} \Delta n_m \operatorname{sh} (\gamma t + \varphi_n), \quad (6)$$

где

$$\Delta n_m = \sqrt{\left[\frac{375 (\Delta M_y - \Delta n_y D)}{\gamma G D^2} - \frac{\Delta n_y \beta}{\gamma} \right]^2 - \Delta n_y^2} = \Delta n_y \sqrt{k^2 - 1}, \quad (7)$$

$$\operatorname{th} \varphi_n = \frac{\Delta n_y}{\frac{375 (\Delta M_y - \Delta n_y D)}{\gamma G D^2} - \frac{\Delta n_y \beta}{\gamma}} = \frac{1}{k}. \quad (8)$$

Для тока получаем:

$$\Delta i = i - i_{y_1} = e^{\beta t} \left[\left(\frac{U - i_{y_1} R - c \Phi n_{y_1}}{L \gamma} - \frac{\beta \Delta i_y}{\gamma} \right) \operatorname{sh} \gamma t + \Delta i_y \operatorname{ch} \gamma t \right], \quad (9)$$

$$\Delta i = i - i_{y_1} = \Delta i_y e^{\beta t} (N \operatorname{sh} \gamma t + \operatorname{ch} \gamma t), \quad (10)$$

где

$$N = \frac{U - i_{y_1} R - c \Phi n_{y_1}}{L \gamma \Delta i_y} - \frac{\beta}{\gamma}; \quad (11)$$

или

$$\Delta i = e^{\beta t} \Delta i_m \operatorname{sh} (\gamma t + \varphi_i), \quad (12)$$

где

$$\Delta i_m = \sqrt{\left(\frac{U - i_{y_1} R - c \Phi n_{y_1}}{L \gamma} - \frac{L \beta \Delta i_y}{L \gamma} \right)^2 - \Delta i_y^2} = \Delta i_y \sqrt{N^2 - 1} \quad (13)$$

и

$$\operatorname{th} \varphi_i = \frac{\Delta i_y L \gamma}{U - i_{y_1} R - c \Phi n_{y_1} - L \beta \Delta i_y} = \frac{1}{N}. \quad (14)$$

Время t_{mi} , при котором ток имеет максимальное значение:

$$\Delta i_{\max} = i_{\max} - i_{y_1} = \frac{\Delta i_m e^{\frac{\beta}{\gamma} \left[\operatorname{arth} \left(-\frac{\gamma}{\beta} \right) - \varphi_i \right]}}{\sqrt{\frac{\beta^2}{\gamma^2} - 1}},$$

согласно уравнениям (10) и (12) будет:

$$t_{mi} = \frac{\operatorname{arth} \left(-\frac{\gamma}{\beta} \right) - \varphi_i}{\gamma} = \frac{\operatorname{arth} \left(-\frac{\beta + \gamma N}{\beta N + \gamma} \right)}{\gamma} = \frac{1}{2\gamma} \ln \frac{(\beta - \gamma)(N - 1)}{(\beta + \gamma)(N + 1)}. \quad (15)$$

Формула (15) позволяет выяснить — проходит ли ток через максимум или же монотонно асимп-

¹ Окончание. Начало см. „Электричество“ № 2, 1941..

тотически приближается к своему установившемуся значению, не имея максимума. Так как $\text{th } \gamma t_{mi}$ не может быть больше единицы, а отрицательные числа не имеют логарифмов, то ток проходит через максимум, если $\text{th } \gamma t_{mi} \leq 1$ или если $\frac{(\beta - \gamma)(N - 1)}{(\beta + \gamma)(N + 1)} > 0$. В противном случае ток максимума не имеет.

Для колебательного процесса имеем:

$$\Delta n = n - n_{y_2} = e^{\beta t} \left[\left[\frac{375(\Delta M_y - D\Delta n_y)}{GD^2\omega} - \frac{\beta}{\omega} \Delta n_y \right] \sin \omega t + \Delta n_y \cos \omega t \right], \quad (16)$$

т. е.

$$\Delta n = n - n_{y_2} = \Delta n_y e^{\beta t} (k \sin \omega t + \cos \omega t), \quad (17)$$

где

$$\omega = j\gamma = \sqrt{\frac{375S}{TGD^2} - \frac{1}{4} \left(\frac{1}{T} + \frac{D375}{GD^2} \right)^2}, \quad (18)$$

$$k = \frac{375}{\omega GD^2} \left(\frac{\Delta M_y}{\Delta n_y} - D \right) - \frac{\beta}{\omega}; \quad (19)$$

или

$$\Delta n = e^{\beta t} \Delta n_m \sin(\omega t + \varphi_n), \quad (20)$$

где

$$\Delta n_m = \sqrt{\left[\frac{375(\Delta M_y - \Delta n_y D)}{\omega GD^2} - \frac{\Delta n_y \beta}{\omega} \right]^2 + \Delta n_y^2} = \Delta n_y \sqrt{k^2 + 1} \quad (21)$$

и

$$\text{tg } \varphi_n = \frac{\Delta n_y}{\frac{375(\Delta M_y - \Delta n_y D)}{\omega GD^2} - \frac{\Delta n_y \beta}{\omega}} = \frac{1}{k}. \quad (22)$$

Для тока получаем:

$$\Delta i = i - i_{y_2} = e^{\beta t} \left[\left(\frac{U - i_{y_1} R - c\Phi n_{y_1}}{L\omega} - \frac{\beta \Delta i_y}{\omega} \right) \sin \omega t + \Delta i_y \cos \omega t \right], \quad (23)$$

т. е.

$$\Delta i = \Delta i_y e^{\beta t} (N \sin \omega t + \cos \omega t), \quad (24)$$

где

$$N = \frac{U - i_{y_1} R - c\Phi n_{y_1}}{L\omega \Delta i_y} - \frac{\beta}{\omega}; \quad (25)$$

или

$$\Delta i = e^{\beta t} \Delta i_m \sin(\omega t + \varphi_i), \quad (26)$$

где

$$\Delta i_m = \sqrt{\left(\frac{U - i_{y_1} R - c\Phi n_{y_1} - L\beta \Delta i_y}{L\omega} \right)^2 + \Delta i_y^2} = \Delta i_y \sqrt{N^2 + 1}; \quad (27)$$

$$\text{tg } \varphi_i = \frac{\Delta i_y L\omega}{U - i_{y_1} R - c\Phi n_{y_1} - L\beta \Delta i_y} = \frac{1}{N}. \quad (28)$$

Выражение для тока может быть также найдено по формуле $i = \frac{M_c}{k\Phi} + \frac{GD^3}{375k\Phi} \cdot \frac{dn}{dt}$ путем определения $\frac{dn}{dt}$, согласно формуле (19). При этом $\text{tg } \varphi_0 = \text{tg } (\varphi_i - \varphi_n) = \frac{\omega GD^2}{375D + \beta GD^2}$. Таким образом угол φ_0 сдвига фаз между i и n равняется 90° только при $D=0$ и $\beta=0$, т.е. при $M_c = \text{const}$

и отсутствии затухания колебаний. При $\beta \neq 0$, но $D=0$ $\text{tg } \varphi_0 = \frac{\omega}{\beta}$.

Время t_{mi} при котором ток имеет максимальное значение:

$$\Delta i_{\max} = \frac{\Delta i_m}{\sqrt{\frac{\beta^2}{\omega^2} + 1}} e^{\frac{\beta}{\omega} \left[\arctg \left(-\frac{\omega}{\beta} \right) - \varphi_i + \varepsilon\pi \right]},$$

будет согласно уравнениям (23) и (25)

$$t_{mi} = \frac{\arctg \left(-\frac{\omega}{\beta} \right) - \varphi_i + \varepsilon\pi}{\omega} = \frac{\arctg \frac{\beta + \omega N}{\omega - \beta N} + \varepsilon\pi}{\omega}, \quad (29)$$

где $\varepsilon=0$ или 1. Одно из этих значений t_{mi} соответствует максимуму Δi , другое — минимуму.

Интересно отметить, что уравнения для апериодического и колебательного процессов совершенно одинаковы по внешнему виду. Для получения из уравнений колебательного процесса уравнений апериодического надо заменить круговые функции гиперболическими и вместо ω подставить γ , имея при этом в виду, что $\omega^2 = -\gamma^2$.

Чем больше β (по абсолютной величине), т. е. чем меньше T и GD^2 и чем больше положительное D , чем круче повышающаяся характеристика механизма, тем быстрее проходят переходные процессы и тем скорее достигается новое состояние равновесия. Наоборот, чем круче падающая ($D < 0$) характеристика механизма, т. е. чем больше по абсолютной величине D , тем меньше при устойчивом состоянии ($\beta < 0$) абсолютное значение β и тем, следовательно, медленнее происходят переходные процессы.

Переход с одной характеристики механизма на другую. Всякие изменения нагрузки механизма связаны с переходом его с одной характеристики на другую. Например, при внезапном приложении нагрузки механизм переходит от характеристики холостого хода $M_c \approx \text{const}$ на характеристику $M_c = f(n)$, обусловленную характером нагрузки.

Для начального состояния $U = i_{y_1} R + c\Phi n_{y_1}$, и формулы (9), (13) и (14) для апериодического процесса принимают вид:

$$\Delta i = e^{\beta t} \Delta i_y \left(\text{ch } \gamma t - \frac{\beta}{\gamma} \text{sh } \gamma t \right), \quad (30)$$

$$\Delta i_m = \Delta i_y \sqrt{\frac{\beta^2}{\gamma^2} - 1}, \quad (31)$$

$$\text{th } \varphi_1 = -\frac{\gamma}{\beta}. \quad (32)$$

Подставляя в (15) $N = -\frac{\beta}{\gamma}$, получим $t_{mi} = 0$.

Таким образом максимальное значение Δi_{\max} имеет место в начале переходного процесса и будет равно $\Delta i = \Delta i_y$. Аналогично для колебательного процесса имеем:

$$\Delta i = e^{\beta t} \Delta i_y \left(\cos \omega t - \frac{\beta}{\omega} \sin \omega t \right), \quad (33)$$

$$\Delta i_m = \Delta i_y \sqrt{\frac{\beta^2}{\omega^2} + 1}, \quad (34)$$

$$\text{tg } \varphi_i = -\frac{\omega}{\beta}. \quad (35)$$

При этом согласно (28) и (34) $t_{mi} = \frac{\varepsilon\pi}{\omega}$, причем значению $\varepsilon=0$, т. е. $t_{mi}=0$, соответствует максимальное отрицательное значение Δi , т. е. минимальный ток, а $\varepsilon=1$; иначе говоря, $t_{mi} = \frac{\pi}{\omega}$ соответствует максимальное положительное значение Δi_{\max} , т. е. максимальный ток i_{\max} . Согласно (32) имеем $\frac{\Delta i_{\max}}{\Delta i_y} = e^{\frac{\beta\pi}{\omega}}$.

Поэтому максимальный пик тока, выраженный в процентах от номинального тока,

$$i_{\max}\% = \frac{i_{\max}}{i_n} \cdot 100\% = \left(-\frac{\Delta i_y e^{\frac{\beta\pi}{\omega}}}{i_n} + \frac{i_{y2}}{i_n} \right) 100\%. \quad (35)$$

При

$$i_{y1} = i_n, \quad i_{\max}\% = \left[\left(1 - \frac{i_{y1}}{i_n} \right) e^{\frac{\beta\pi}{\omega}} + 1 \right] 100\%. \quad (36)$$

Принимая во внимание, что $S = D - \frac{\Delta M_y}{\Delta n_y}$,

для скорости имеем:

$$\Delta n = \Delta n_y e^{\beta t} \left[\operatorname{ch} \gamma t - \frac{1}{\gamma} \left(\frac{375S}{GD^2} + \beta \right) \operatorname{sh} \gamma t \right] \quad (37)$$

и соответственно

$$\Delta n = \Delta n_y e^{\beta t} \left[\cos \omega t - \frac{1}{\omega} \left(\frac{375S}{GD^2} + \beta \right) \sin \omega t \right], \quad (38)$$

$$\Delta n_m = \Delta n_y \sqrt{\frac{1}{\gamma^2} \left(\frac{375S}{GD^2} + \beta \right)^2 - 1}, \quad (39)$$

$$\Delta n_m = \Delta n_y \sqrt{\frac{1}{\omega^2} \left(\frac{375S}{GD^2} + \beta \right)^2 + 1}, \quad (40)$$

$$\operatorname{th} \varphi_n = -\frac{\gamma}{\frac{375S}{GD^2} + \beta} \quad \text{и} \quad \operatorname{tg} \varphi_n = -\frac{\omega}{\frac{375S}{GD^2} + \beta}. \quad (41)$$

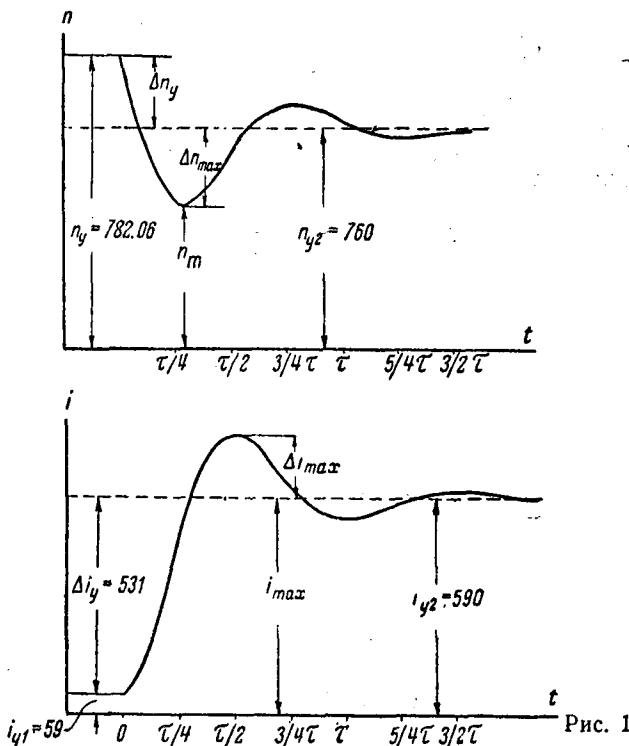


Рис. 1

Время, при котором имеет место максимальное динамическое падение скорости (рис. 1):

$$\Delta n_{\max} = n_m - n_{y2} = \frac{\beta}{\omega} \left[\operatorname{arctg} \left(-\frac{\omega}{\beta} \right) - \varphi_n + \pi \right] \sin \operatorname{arctg} \left(-\frac{\omega}{\beta} \right),$$

двигателя при внезапной нагрузке его, будет, согласно (39),

$$t_{mn} = \frac{\operatorname{arctg} \left(-\frac{\omega}{\beta} \right) - \varphi_n + \pi}{\omega}. \quad (42)$$

Относительное максимальное динамическое падение скорости двигателя

$$\frac{n_{y1} - n_m}{\Delta n_y} = \frac{\Delta n_{m\partial}}{\Delta n_y} = \frac{\Delta n_{\max} + \Delta n_y}{\Delta n_y} = 1 + \sqrt{\frac{\left(\frac{375S}{GD^2} + \beta \right)^2 + \omega^2}{\omega^2 + \beta^2}} e^{\frac{\beta}{\omega} \left[\operatorname{arctg} \left(-\frac{\omega}{\beta} \right) - \varphi_n + \pi \right]}.$$

При $D=0$,

$$\frac{\Delta n_{m\partial}}{\Delta n_y} = 1 +$$

$$+ \sqrt{\frac{\omega^2 + \left(\frac{1}{B} - \frac{1}{2T} \right)^2}{\omega^2 + \frac{1}{2\pi}}} e^{\frac{1}{2T} [\operatorname{arctg} (2\omega T) - \varphi_n + \pi]}.$$

Переход с одной характеристики двигателя на другую. Если двигатель переходит с характеристики, соответствующей сопротивлению R_1 , на характеристику, соответствующую сопротивлению R_2 , а характеристика механизма остается при этом неизменной, то $\Delta M_y = \Delta M_{cy} = \Delta n_y D$. Так как $U = i_{y1} \cdot R_1 + c\Phi n_{y1}$, то $U - i_{y1} R_2 - c\Phi n_{y1} = i_{y1} \Delta R$, где

$$\Delta R = R_1 - R_2.$$

Следовательно, для этого случая уравнения (1), (7), (8), (11) (13) и (14) будут иметь вид для периодического процесса:

$$\Delta n = e^{\beta t} \Delta n_y \left(\operatorname{ch} \gamma t - \frac{\beta}{\gamma} \operatorname{sh} \gamma t \right), \quad (43)$$

$$\Delta n_m = \Delta n_y \sqrt{\frac{\beta^2}{\gamma^2} + 1}, \quad (44)$$

$$\operatorname{th} \varphi_n = -\frac{\gamma}{\beta},$$

$$\Delta i_m = \sqrt{\left(\frac{i_{y1} \Delta R - L\beta \Delta i_y}{L\gamma} \right)^2 - \Delta i_y^2}, \quad (45)$$

$$\operatorname{tg} \varphi_i = \frac{\Delta i_y L \gamma}{i_{y1} \Delta R - L\beta \Delta i_y}$$

и

$$N = \frac{i_{y1} \Delta R}{L\gamma \Delta i_y} - \frac{\beta}{\gamma}.$$

Для колебательного процесса:

$$\Delta n = e^{\beta t} \Delta n_y \left(\cos \omega t - \frac{\beta}{\omega} \sin \omega t \right), \quad (46)$$

$$\Delta n_m = \Delta n_y \sqrt{\frac{\beta^2}{\omega^2} + 1}, \quad (47)$$

$$\operatorname{tg} \varphi_n = -\frac{\omega}{\beta}, \quad (48)$$

$$\Delta i_m = \sqrt{\left(\frac{i_{y1} \Delta R - L\beta \Delta i_y}{L\omega} \right)^2 + \Delta i_y^2},$$

$$\operatorname{tg} \varphi_i = \frac{\Delta i_y L \omega}{i_{y1} \Delta R - L\beta \Delta i_y}$$

$$N = \frac{i_y \Delta R}{L \omega \Delta i_y} - \frac{\beta}{\omega}$$

При $D = 0$, $M_{y_1} = M_{y_2}$, $\Delta i_y = 0$ и

$$\Delta i = e^{\beta t} \frac{i_y \Delta R}{L \gamma} \operatorname{sh} \gamma t,$$

$$\Delta i = e^{\beta t} \frac{i_y \Delta R}{L \omega} \sin \omega t.$$

В этом случае максимальное значение тока

$$\Delta i_{\max} = \frac{i_y \Delta R e^{\frac{\beta}{\gamma} \operatorname{arth} \left(-\frac{\gamma}{\beta} \right)} }{L \gamma \sqrt{\frac{\beta^2}{\gamma^2} - 1}}$$

или соответственно

$$\Delta i_{\max} = \frac{i_y \Delta R e^{\frac{\beta}{\omega} \operatorname{arctg} \left(-\frac{\omega}{\beta} \right)} }{L \omega \sqrt{1 + \frac{\beta^2}{\omega^2}}}$$

будет иметь место при времени

$$t_{mi} = \frac{\operatorname{arth} \left(-\frac{\gamma}{\beta} \right)}{\gamma}$$

или

$$t_{mi} = \frac{\operatorname{arctg} \left(-\frac{\omega}{\beta} \right)}{\omega}.$$

Интересно заметить, что выражения для Δn , Δn_m , $\operatorname{th} \varphi_n$ и $\operatorname{tg} \varphi_n$ при переходе с одной характеристики двигателя на другую аналогичны выражениям для Δi , Δi_m , $\operatorname{th} \varphi_i$ и $\operatorname{tg} \varphi_i$ при переходе с одной характеристики механизма на другую.

Пуск двигателя в ход². При включении в сеть двигатель начинает разворачиваться через время $t_1 = T \ln \frac{k\Phi U}{k\Phi U - AR}$, когда момент двигателя возрастает до величины, равной A . Будем отсчет времени вести с момента разворачивания двигателя. Принимая для уравнений (1), (6), (16) и (19) $n_{y_1} = 0$, $M_{y_1} = A$, $\Delta n_y = -n_{y_2}$ и $\Delta M_y = A - M_{y_2} = -D n_{y_2}$, получим расчетные уравнения:

$$n = n_{y_2} \left[1 + e^{\beta t} \left(\frac{\beta}{\gamma} \operatorname{sh} \gamma t - \operatorname{ch} \gamma t \right) \right]$$

и соответственно

$$n = n_{y_2} \left[1 + e^{\beta t} \left(\frac{\beta}{\omega} \sin \omega t - \cos \omega t \right) \right],$$

или

$$n = n_{y_2} \left[1 + \sqrt{\frac{\beta^2}{\gamma^2} - 1} \cdot e^{\beta t} \operatorname{sh} (\gamma t + \varphi_n) \right],$$

$$n = n_{y_2} \left[1 + \sqrt{\frac{\beta^2}{\omega^2} + 1} \cdot e^{\beta t} \sin (\omega t + \varphi_n) \right],$$

где φ_n определяется формулами (45) и (48).

Полагая здесь $n = n_2$, можно найти время пуска двигателя до скорости n_2 с учетом индуктивности якоря.

Полагая в уравнениях (9), (12), (13), (14), (22), (25), (26) и (27)

$n_{y_1} = 0$, $\Delta i_y = i_1 - i_{y_2}$, где $i_1 = \frac{A}{k\Phi}$, получим уравнения для тока

при пуске. Если $D = 0$, то $i_1 - i_{y_2} = 0$, $\varphi_i = 0$, $i_c = \frac{M_c}{k\Phi}$, и уравнения для тока упрощаются, принимая вид:

$$i = \frac{M_c}{k\Phi} + e^{-\frac{t}{2T}} \cdot \frac{U - i_c R}{L \omega} \sin \omega t.$$

² Предполагается, что якорь двигателя включается в сеть при уже полностью возбужденном двигателе.

Максимальный пик тока для этого случая будет

$$i_{\max} = \frac{(U - i_c R) e^{\frac{\beta}{\omega} \operatorname{arctg} \left(-\frac{\omega}{\beta} \right)}}{\sqrt{\frac{375 SLR}{GD^2}}} + i_c. \quad (49)$$

При увеличении $M_c i_{\max}$ растет время достижения максимального пика тока

$$t_{mi} = \frac{\operatorname{arctg} \left(-\frac{\omega}{\beta} \right)}{\omega}.$$

Максимальный пик тока, выраженный в долях от номинального i_n ,

$$\frac{i_{\max}}{i_n} = \frac{e^{\frac{\beta}{\omega} \operatorname{arctg} \left(-\frac{\omega}{\beta} \right)}}{\sqrt{\frac{375 SLR}{GD^2}}} \left(\frac{U}{i_n} - \frac{i_c}{i_n} R \right) + \frac{i_c}{i_n}.$$

Для апериодического процесса во всех вышеуказанных формулах ω надо заменить через γ и круговые функции гиперболическими.

Задаваясь величиной $\frac{i_{\max}}{i_n}$, можем подобрать необходимую величину сопротивления или индуктивности, которую надо включить при пуске в цепь якоря для снижения пускового тока.

Влияние параметров привода на переходной процесс. Пользуясь вышеприведенными формулами, легко проследить влияние параметров привода.

На рис. 2 представлены зависимости максимального пика тока i_{\max} и максимального динамического падения скорости от величины D при внезапном возрастании нагрузки от холостого хода ($M_{y_1} = 10\% M_n$) до номинальной ($M_{y_2} = 100 M_n$).

С увеличением алгебраического значения D пик тока и динамическое падение скорости уменьшаются, времена их достижения t_{mi} и t_{mn} также уменьшаются, колебания быстрее затухают. Крутые падающие характеристики механизма, имеющие место у станов бесслитковой прокатки, могут вызвать при внезапной нагрузке стана пик тока i_{\max} , значительно превышающий установившийся номинальный ток, соответствующий новой нагрузке, а также значительное динамическое падение скорости, причем, чем круче падающая характеристика, тем больше пик тока и динамическое падение скорости.

Учет индуктивности L цепи якоря имеет весьма большое значение для механизмов с падающими характеристиками. В случае пренебрежения индуктивностью якоря ток и скорость при любых значениях D (за исключением отрицатель-

ных значений $|D| > \frac{k\Phi^2}{R}$, при которых $S < 0$ (для приведенного выше двигателя $|D| > 6,21$) всегда стремятся асимптотически к своим установившимся значениям.

Следовательно, ток не превышает конечного установившегося значения. В данном случае при учете индуктивности якоря переходной процесс сопровождается сильными колебаниями, при этом пик тока значительно превышает установившийся номинальный ток, соответствующий приложенной нагрузке, доходя при $D = -1,8$ до 181,6%. При $D_{кр} = -1,98$, $\beta = 0$ и колебания тока и скорости делаются незатухающими; при $D < -1,98$, $\beta < 0$, и работа становится неустойчивой, в то время как при пренебрежении индуктивностью неустойчивая работа наступает только при $D < -6,21$. Таким образом пренебрежение индуктивностью якоря при падающих характеристиках механизма может привести к совершенно неверным выводам. Наоборот, при повышающихся характеристиках механизма различие в результатах расчета при учете и без учета индуктивности будет сравнительно незначительное и тем меньшее, чем круче повышающаяся характеристика.

Пик тока i_{\max} и динамическое падение скорости Δn_{md} при внезапном возрастании нагрузки с увеличением индуктивности L цепи якоря возрастают, а с увеличением GD^2 падают; в этом можно убедиться путем подсчетов по вышеприведенным формулам; с увеличением R Δn_{md} увеличивается, а i_{\max} уменьшается.

Уменьшения максимального динамического падения ско-

Расчет по этим уравнениям надо вести до значений $n = n_4$, $i = i_4$ и $M = M_4$.

Указанный метод расчета при криволинейных характеристиках механизма может быть применен для процесса пуска в ход и для перехода с одной характеристики механизма на другую. Расчетными уравнениями для пускового процесса будут те же уравнения, что и для расчета участков переходного процесса рис. 5, причем в них надо подставить: для первого участка —

$$\Delta n_y = - \frac{(S_1 - D_1) n_0 - A_1}{S_1}$$

и

$$\Delta i_y = \frac{A}{k\Phi} - \frac{(S_1 - D_1)(D_1 n_0 + A_1)}{k\Phi S_1};$$

для любого i -того участка — величины (50), (51),

$$i_{y_i} = i_i \quad \text{и} \quad n_{y_i} = n_i.$$

Пользуясь приведенными критериями, можно определить — будет ли работа шунтового двигателя устойчива, а также выявить характер переходного процесса. По приведенным уравнениям можно рассчитать и построить (с учетом индуктивности якоря) кривые изменения скорости тока и момента двигателя в зависимости от времени для пуска в ход, при приложении нагрузки, при выключении якорного сопротивления, при торможении, как при положительном, так и отрицательном статическом моменте; при этом характеристики механизма могут быть и криволинейными. По этим уравнениям можно определить величины пиков тока и динамического падения скорости и выяснить влияние на них параметров привода, произвести расчет пускового сопротивления или дросселя и рассчитать схему управления. Для механизмов с падающей характеристикой, в частности, для станков бесслитковой прокатки, вопрос устойчивости играет большую роль, причем здесь особенно важно учитывать индуктивность якоря.

Новая схема соединений метадина с тяговыми двигателями последовательного возбуждения

Акад. К. И. ШЕНФЕР

Всесоюзный электротехнический институт

Ныне действующие системы управления электропоездами сопряжены с весьма большими потерями на нагревание реостатов при пуске. Колодочное же торможение электропоездов вызывает не только значительные потери энергии, но также влечет за собой относительно большие потери металла — бандажей и тормозных колодок. Нельзя также упускать из вида вредное влияние пыли от тормозных колодок, загрязняющей туннели метро. Поэтому вопрос о системах электротяги, позволяющих осуществить безреостатный пуск и бесколодочное электрическое торможение, является в настоящее время назревшим.

По вопросам безреостатного управления тяговыми двигателями постоянного тока в журнале „Электричество“ № 1, 1940, были помещены две статьи — инж. Н. В. Горелкина и автора настоящего сообщения.

В этих статьях была дана краткая теория и разобраны вопросы основных процессов в схемах с преобразователем „метадина“. Изучению были подвергнуты схемы с тяговыми двигателями, имеющими смешанное возбуждение¹.

Эти схемы, однако, обладают следующим недостатком.

Переход на безреостатную систему регулирования требует полного переоборудования электрической части моторного вагона в смысле замены тяговых двигателей последовательного возбуждения двигателями смешанного возбуждения. Перевод существующего подвижного состава на новую систему регулирования и торможения в значительной степени облегчился бы, если бы удалось разработать такую схему соединений с метадином, при которой отпала бы необходимость в замене тяговых двигателей серийного возбуждения двигателями смешанного возбуждения.

Такая задача нами была разрешена в ВЭИ².

Прежде чем переходить к описанию новой схемы, обратимся к рис. 1. На этом рисунке (левый

верхний рисунок) представлена тяговая машина смешанного возбуждения при ее генераторной работе на сеть. При этом режиме серийная обмотка возбуждения S включена таким образом, что она действует по отношению к шунтовой обмотке размагничивающим образом. Благодаря тому, что обмотки S и N действуют друг против друга, смягчаются все „толчки“ тока, возможные при рекуперативной работе машины.

На рис. 1 (левый верхний рисунок) обмотка N приключена шунтом к якорю. Питая обмотку N не от сети, а от возбuditеля B , мы получим схему, изображенную вверху справа на рис. 1.

Эту схему, однако, можно упростить, как показано на рис. 1 внизу.

Как видно из нижней схемы, тяговая машина имеет только одну обмотку независимого возбуждения. Эта обмотка (N) питается от возбuditеля B . Возбудитель B здесь имеет смешанное возбуждение, его шунтовая обмотка n и серийная обмотка S соединены друг против друга.

Как видно из нижней схемы рис. 1, серийная обмотка S возбuditеля питается „главным“ током I .

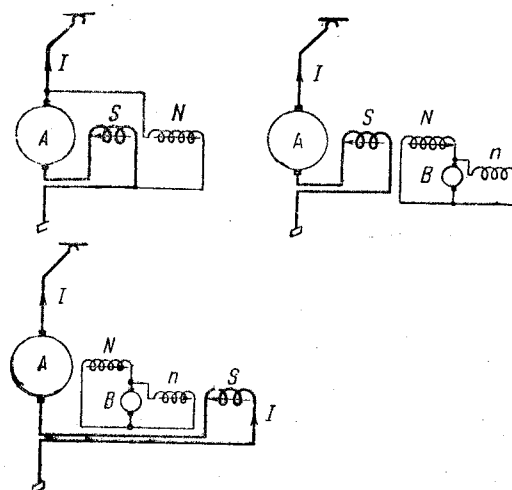


Рис. 1

¹ См. авторское свидетельство К. И. Шенфера № 32040.

² См. заявочное свидетельство К. И. Шенфера № 28364.

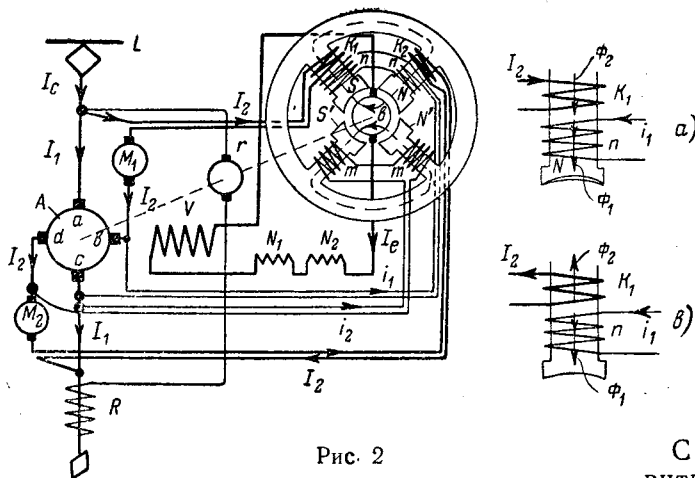


Рис. 2

При этих условиях машина А в случае рекуперативного торможения ведет себя как генератор с противокомпаундным возбуждением, несмотря на то, что этот генератор на своих полюсах имеет только одну обмотку возбуждения N .

Имея в виду все изложенное, мы можем попытаться так изменить схему соединений метадина, чтобы отпала необходимость иметь для тяговых машин на их главных полюсах двойной комплект катушек — последовательного и независимого возбуждения.

На рис. 2 показана такая видоизмененная схема соединений тяговых машин с метадином. На рисунке обозначены: А — якорь метадина с расположенными на коллекторе щетками а, б, с и д; M_1 , M_2 — тяговые двигатели; N_1 , N_2 — обмотка возбуждения тяговых двигателей (шунтовые), V — «вариаторная» обмотка метадина; r — регуляторная машина, установленная на одном валу с метадином А; б — якорь возбuditеля, сидящего на одном валу с А и r ; $N-S$ — расщепленные ненасыщенные полюса возбuditеля; $N'-S'$ — расщепленные насыщенные полюса возбuditеля; m — катушки возбуждения, сидящие на сильно насыщенных полюсах; n — катушки возбуждения, сидящие на слабо насыщенных полюсах; k_1 , k_2 — серийные катушки, сидящие на слабо насыщенных полюсах возбuditеля.

Показанная на рис. 2 схема отличается от уже известных схем тем, что тяговые машины M_1 , M_2 имеют только одну обмотку независимого возбуждения N_1 и N_2 и что возбuditель, кроме обмоток n , на своих полюсах еще имеет серийные катушки k_1 , k_2 .

В этой схеме обмотка k_1 обтекается током I_2 тяговой машины M_1 , обмотка k_2 — током I_2 машины M_2 . Обмотки n получают питание от щеток б, с метадина, а обмотки m от его щеток с, д.

Направление витков серийной обмотки k_1 и k_2 выбрано таким, чтобы при моторном режиме создаваемый ими поток Φ_2 совпадал по своему направлению с потоком Φ_1 , обусловленным обмоткой n . При таких условиях результирующий поток каждого ненасыщенного полюса (рис. 2, а):

$$\Phi = \Phi_1 + \Phi_2.$$

Одновременно с возрастанием токов нагрузки двигателей I_2 будут расти ампервитки катушек k_1 , k_2 и поток Φ . Это вызовет соответственное увеличение э. д. с. возбuditеля б, что послужит причиной возрастания тока I_e в электромагнитах возбуждения тяговых машин.

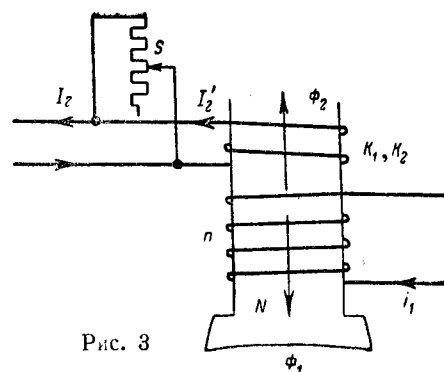
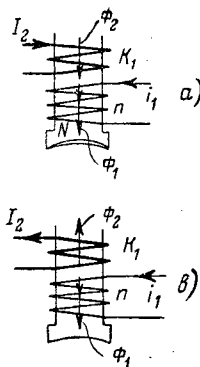


Рис. 3

С увеличением тока I_e возрастут также ампервитки вариаторной обмотки V , что вызовет соответственное увеличение потока метадина (вдоль щеток д, б); это явление послужит, как показывает теория, причиной дальнейшего увеличения тока тяговых машин.

Таким образом при этих условиях тяговые машины M_1 , M_2 будут работать как двигатели компаундного возбуждения, несмотря на то, что машины имеют только обмотки независимого возбуждения N_1 , N_2 .

Увеличение тока I_2 при работе тяговых машин в рекуперативном режиме можно достичь путем шунтировки компаундных катушек k_1 и k_2 возбuditеля метадина³ при помощи реостата p , как показано на рис. 3. Перемещая ползушку реостата p кверху (рис. 3), мы будем постепенно закорачивать катушки k_1 и k_2 , действующие при рекуперации размагничивающим образом, и, таким образом, сможем добиться увеличения тока рекуперации и увеличения эффекта торможения.

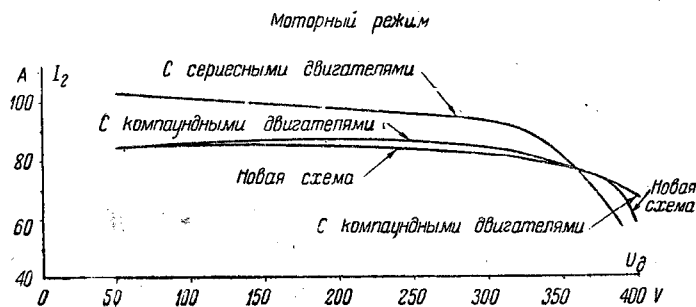


Рис. 4

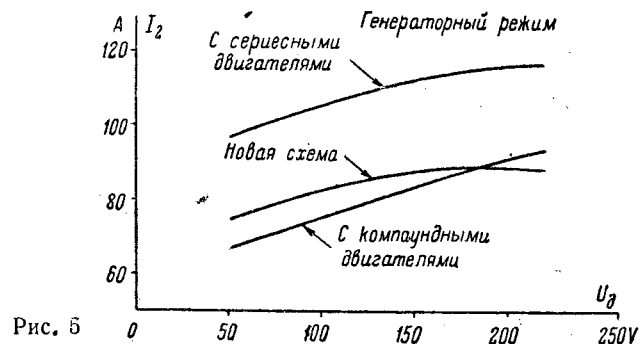


Рис. 5

Работа тяговых машин по схеме рис. 2 была экспериментально исследована в ВЭИ. Опыты производились с двумя тяговыми двигателями завода «Динамо», тип ДБ2, мощностью по 73 кВт каждый. Результаты испытаний, проведенных сотрудником ВЭИ инж. С. Ю. Немчиным, приводятся на рис. 4—7.

³ См. заявочное свидетельство К. И. Шенфера.

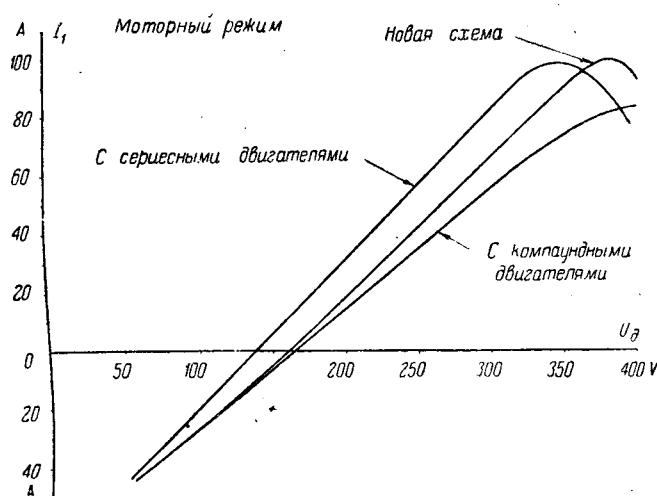


Рис. 6

На каждом из рис. 4—7 показаны три кривые—для старой схемы с тяговыми двигателями смешанного возбуждения, для схемы с двигателями, имеющими обмотки последовательного возбуждения, и неизменной схемой возбудителя и, наконец, для новой схемы с двигателями последовательного возбуждения и измененной схемой возбудителя, согласно рис. 2.

Сравнение этих трех кривых между собой приводит к следующим выводам.

1. Ток тяговых машин при моторном режиме I_2 в функции напряжения на зажимах двигателей U_d при новой схеме изменяется практически так же, как и для старой схемы с компаундными двигателями (рис. 4).

2. Кривая изменения тока I_2 в функции скорости при режиме рекуперации для новой схемы

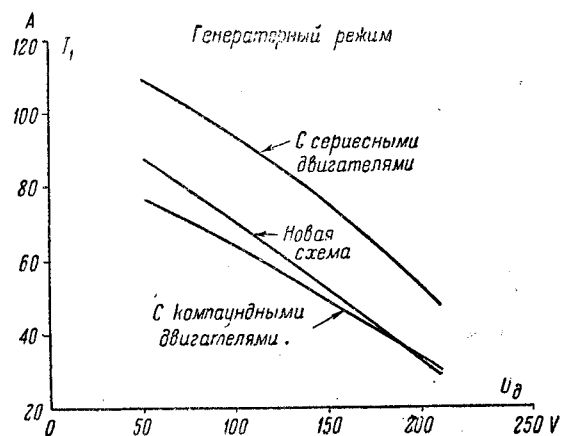


Рис. 7

почти совпадает с кривой I_2 для старой схемы (рис. 5).

3. Кривая изменения первичного тока I_1 при моторном режиме находится в промежутке между двумя кривыми I_1 для схемы с компаундными и серийными двигателями (рис. 6).

4. Кривая изменения первичного тока I_1 при рекуперативном режиме почти совпадает с кривой I_1 для старой схемы с компаундными двигателями (рис. 7).

Таким образом опыты указывают, что новая схема с серийными тяговыми двигателями согласно рис. 2 по своим свойствам практически не отличается от старой схемы с двигателями смешанного возбуждения. Однако, как было выяснено выше, новая схема рис. 2 отличается преимуществом большей простоты и надежности и, кроме того, она не требует отказа от применения тяговых двигателей последовательного возбуждения.

Нестационарные процессы в метадиных схемах с компаундными и серийными двигателями

Инж. С. Ю. НЕМЧИН

Всесоюзный электротехнический институт

При работе метадиной схемы большой интерес представляют нестационарные процессы, так как они характеризуют устойчивость и надежность работы схемы. Этот вопрос ни в нашей, ни в зарубежной литературе не получил должного освещения. В практике известны следующие наиболее частые причины нестационарных процессов в схемах: 1) отключение и включение токоприемника; 2) отключение токоприемника, 3) к. з. двигателей и 4) разрыв цепи тока тяговых двигателей. Эти явления были нами экспериментально исследованы на опытной установке для схем метадины с серийными и компаундными двигателями в моторном и генераторном режимах.

На рис. 1 приведена принципиальная схема исследования метадины¹ с компаундными двигателями.

¹ Схема исследования метадины с серийными двигателями отличается от схемы рис. 1 отсутствием в ней шунтовых обмоток.

Отключение и включение токоприемника при моторном режиме. Из осциллограмм рис. 2 видно, что напряжение на щетках a —с метадины U_{a-c} и ток метадины I_1 в первый момент отключения токоприемника резко спадают и становятся отрицательными, затем постепенно приближаются к нулевому значению. Ток двигателей I_2 в первый момент отключения, резко колеблясь, достигает значения 93 А (вместо 69,5 А до отключения), после чего амплитуда его постепенно спадает. При повторном включении токоприемника ток I_1 достигает амплитудного значения: $I_1 = 129$ А, ток $I_2 = 115$ А.

Сопоставляя осциллограммы рис. 2 и 3, мы видим, что для одинаковых примерно промежутков времени между отключением и включением токоприемника для обеих схем, токи и напряжения при работе метадины с компаундными двигателями имеют более резкие колебания, чем при серийных. Иначе говоря, схема с серийными двигателями дает благоприятную характеристику.

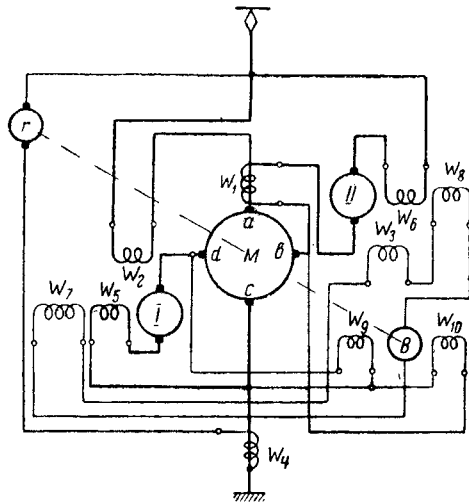


Рис. 1

M — метадина, I и II — якоря тяговых машин; B — возбудитель; r — регулятор; W_1 , W_2 и W_3 — стабилизирующие и вариаторная обмотки; W_4 — регуляторная обмотка метадины; W_5 , W_6 и W_7 , W_8 — серийные и шунтовые обмотки тяговых машин; W_9 , W_{10} — обмотки возбуждения возбудителя

Кривые тока возбудителя I_b на обеих осциллограммах приблизительно одинаковые.

Осциллограммы рис. 2 и 3 позволяют сделать вывод, что промежуток времени между отключением и включением токоприемника свыше одной секунды является нежелательным. Внезапное отключение токоприемника для схемы метадины с компаундными и серийными двигателями не является опасным, так как все кривые при этом затухают достаточно быстро.

Отключение и включение токоприемника при генераторном режиме. Из осциллограммы рис. 4 видно, что для промежутка времени между отключением и включением токоприемника, равном 1,1—1,16 сек, напряжение U_{a-c} на первичных щетках метадины, первичный ток I_1 и скорость метадины n_1 соответственно возрастают: U_{a-c} от 444 до 655 В, I_1 от 64 до 135 А и n_1 от 1050 до 1250 об/мин.

Повышение оборотов метадины n_1 объясняется тем, что при отключении токоприемника в случае генераторного режима схемы энергия тяговых машин, работающих генераторами, идет на повышение кинетической энергии вращающегося метадины. Следовательно, длительное отключение токоприемника схемы в генераторном режиме может вызвать разнос метадиного агрегата, поэтому необходимо устройство соответствующей защиты.

Сравнивая осциллограмму рис. 5 для схемы с серийными двигателями с осциллограммой рис. 4 для схемы с компаундными двигателями, замечаем, что примерно при одинаковом промежутке времени между отключением и включением токоприемника для обеих схем амплитуды токов I_1 и I_2 , а также напряжение на первичных щетках U_{a-c} метадины при работе схемы с компаундными двигателями имеют более низкие значения, чем при работе метадины с серийными двигателями. Объясняется это тем, что тяговые машины работают в первом случае как противокомпаундные генераторы.

Короткое замыкание тягового двигателя при моторном и генераторном режимах. Для выяснения явлений, происходящих в метадином агрегате при к. з. тягового двигателя в моторном и генераторном режимах схемы, нами было

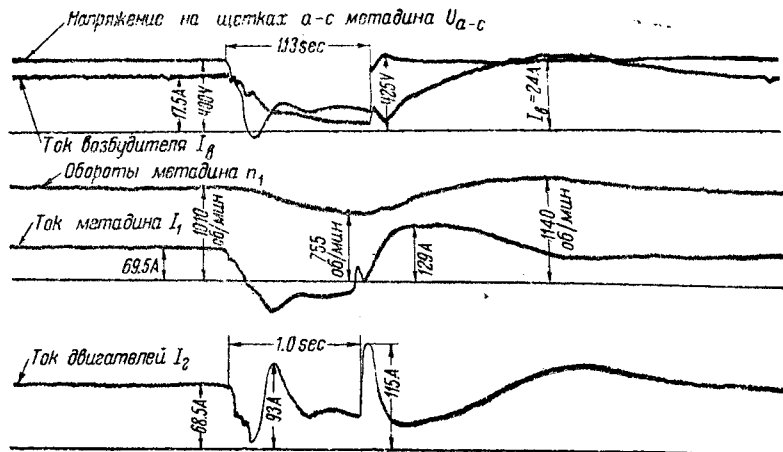


Рис. 2. Моторный режим. Схема метадины с компаундными двигателями

включено между клеммами двигателя I (рис. 1 небольшое омическое сопротивление (для моторного режима $R=1 \Omega$, для генераторного $R=2 \Omega$). Сравнивая распределение токов в метадине и тяговых машинах при работе схемы в моторном режиме, нами было установлено, что ток в щетке d метадины после к. з. достиг 125 А (вместо 59 до к. з.). Ток в щетке a метадины (рис. 1) снизился до 49 А (вместо 59). Токи в щетке с

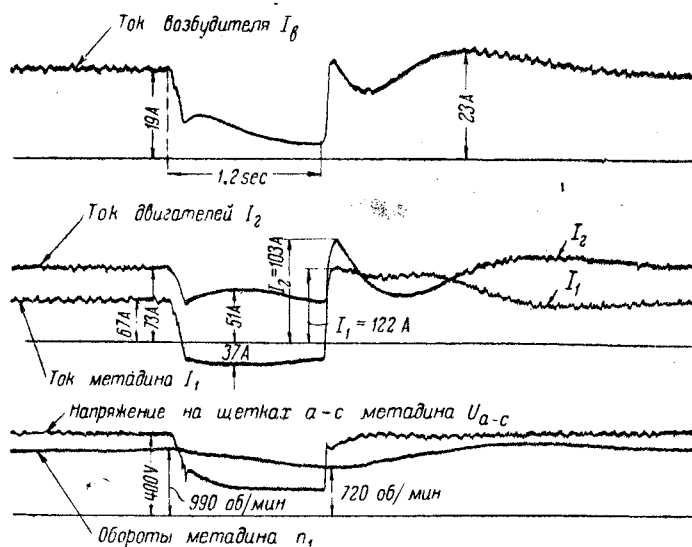


Рис. 3. Моторный режим. Схема метадины с серийными двигателями

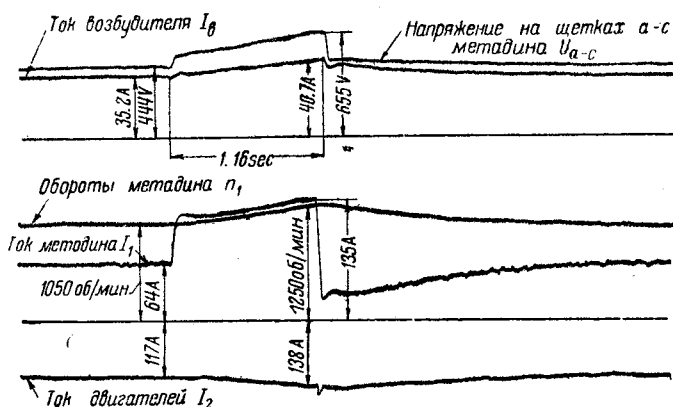


Рис. 4. Генераторный режим. Схема метадины с компаундными двигателями

метадины и закороченного двигателя I при этом изменили свое направление: ток в щетке c — $+64$ на -11 А, ток двигателя достиг -3 А. Двигатель I в данном случае работает как генератор. Характерным для данного случая является ток двигателя II , который после к. з. двигателя I почти не изменил своего первоначального значения.

Напряжение на клеммах закороченного двигателя I снизилось до 145 В, а на клеммах второго двигателя II — до 208 В (вместо 321 на клеммах

В случае разрыва цепи двигателя I при генераторном режиме схемы ток по оси вторичных щеток $b-d$ метадины уменьшается, вызывая уменьшение напряжения на первичных щетках $a-c$.

На осциллограмме 6 показаны кривые токов и напряжений двигателей, а также указаны значения токов на первичных щетках метадины при генераторном режиме компаундных двигателей. Кривые $I_{2(I)}$ и $I_{2(II)}$ изображают токи двигателей, I_{1a} и I_{1c} — токи на щетках $a-c$ метадины до и после разрыва цепи двигателя I .

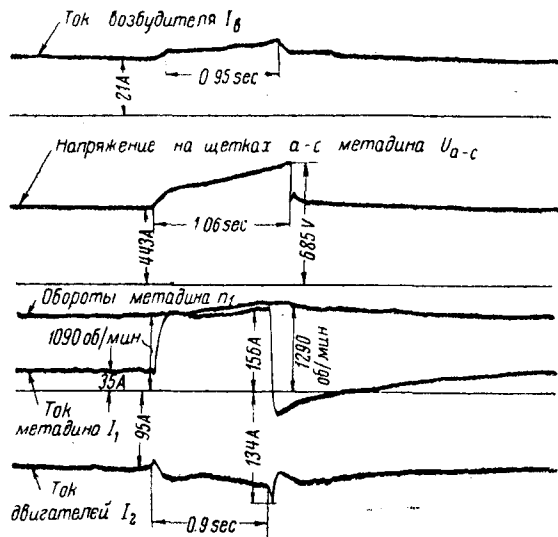


Рис. 5. Генераторный режим. Схема метадины с серийными двигателями

обоих двигателей до к. з.), в связи с этим и обороты тяговых двигателей соответственно снизились.

При к. з. двигателя I в генераторном режиме схемы, ток в закороченном двигателе возрастает, в то время как ток в щетках $b-c$ метадины, к которым приключен закороченный двигатель, снижается. Ток в щетках $a-d$ метадины, к которым приключен двигатель II , возрастает. Величина тока, отдаваемого в сеть, при этом значительно уменьшается.

Разрыв цепи якоря тягового двигателя при моторном и генераторном режимах. При отключении цепи якоря двигателя I (рис. 1) в моторном режиме схемы ток второго II возрастает от 75 до 122 А, ток в щетке a метадины уменьшается от 71 до 13 А, а ток в щетке c метадины возрастает от 76 до 135 А. Ток сети при этом уменьшается незначительно.

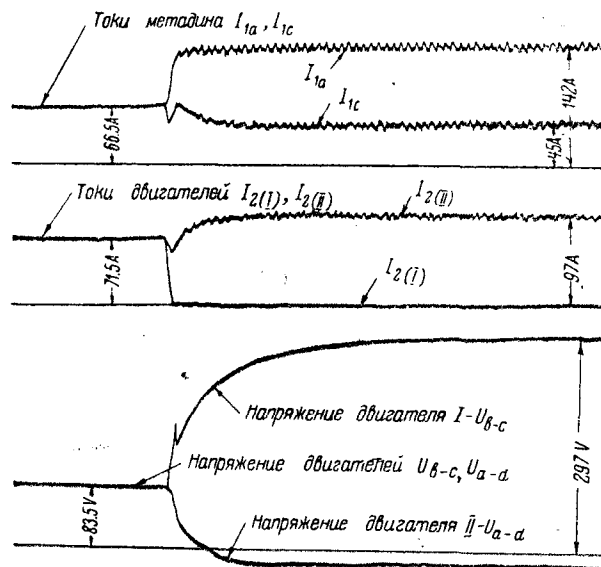


Рис. 6

Как видно из осциллограммы рис. 6, наибольшей перегрузке током подвергается щетка a , через которую протекает суммарный ток, состоящий из тока двигателя II и тока сети. Напряжение U_{b-c} на клеммах отключаемого двигателя I резко возрастает (от $83,5$ до 297 В), а напряжение U_{a-d} второго двигателя II , наоборот, резко падает и принимает отрицательный знак.

Из исследования метадиной схемы при нестационарных режимах явствует, что эта схема является надежной при моторном режиме. Для защиты метадиного агрегата от чрезмерного повышения скорости при отрыве дуги от воздушного провода в случае генераторного режима схемы должна быть предусмотрена соответствующая аппаратура. Существует ряд несложных способов для осуществления этой защиты.

Новый способ питания вспомогательных электродвигателей

Инж. П. А. ФРИДКИН

Ленинградский завод «Электросила» и.м. Кирова

Во многих машинных установках различных отраслей промышленности главные и вспомогательные электроприводы настолько взаимозависимы, что раздельная их работа не только оказывается бесцельной, но и приводит к тяжелой аварии всего агрегата, которая наступает либо немедленно, либо через некоторое время.



Так например, в шаровых мельницах, обслуживающих электростанции и применяемых в цементной, химической и многих других отраслях промышленности, пуск главного электропривода обязательно требует одновременного пуска масляных насосов, подающих масло в редуктор и в коренные подшипники мельниц; невыполнение этого требования влечет за собой расплавление подшипников и аварийное выключение всего агрегата.

Также и в главных электроприводах, имеющих отдельные мотор-вентиляторы для форсированной вентиляции, пуск главного электропривода обязательно требует пуска его мотор-вентилятора, в противном случае произойдет повреждение изоляции обмоток чрезмерными перегревами и далее аварийное отключение всего агрегата.

Для таких вспомогательных мотор-вентиляторов мыслимы два варианта их установки по отношению к главному электроприводу. По первому варианту мотор-вентилятор устанавливается отдельно, в стороне от главного электропривода и связывается с ним воздухопроводами. По второму варианту мотор-вентилятор устанавливается на статоре главного электропривода, как это сделано нами в некоторых типах электроприводов по нашему авторскому свидетельству 42629. Вторым вариантом особенно предпочтителен в тех случаях, когда агрегаты периодически перевозятся с места на место, как, например, грязевые насосы и ле-

бедки для буровых. Установка в этих случаях мотор-вентиляторов непосредственно на станине статора главного электропривода делает всю установку весьма транспортабельной и сравнительно более легко приводимой в состояние готовности к работе на новом месте, чем при первом варианте, когда требуется предварительно, до пуска, установить на отдельной площадке мотор-вентилятор, изготовить и смонтировать воздухопроводы с коленами, патрубками и фланцами.

Однако второй вариант неудобен в питании вспомогательного электродвигателя, так как это сопряжено с необходимостью трассировки кабеля по станине статора главного электропривода, но и при варианте независимого размещения мотор-вентилятора необходима другая сеть более низкого напряжения для питания вентиляторного электродвигателя малой мощности. Наконец, оба варианта нуждаются в схеме электрической блокировки, которая должна исключить возможность раздельного включения или выключения главного электропривода и его мотор-вентилятора.

Автор изобрел способ питания вспомогательных электродвигателей, при котором достигаются следующие существенные улучшения:

1. Устраняется кондуктивная связь вспомогательного электродвигателя с внешней электрической сетью, а также отдельная вторая сеть для питания вспомогательного электродвигателя.

Вместе с тем отпадает всякая необходимость в трассировке кабеля по станине статора главного электропривода.

2. Исключается возможность раздельного пуска или раздельного останова главного и вспомогательного электропривода, что повышает надежность главного электропривода.

3. Устраняется существующая схема электрической блокировки между главным и вспомогательным электроприводом, и одновременно отпадает и надобность в электропроводке и приспособлениях, которые эту блокировку осуществляют.

На рис. 1 и 2 показано выполнение предложенного способа питания вспомогательных электродвигателей применительно к электроприводу нашей системы. Однако этот способ применим к любому другому электроприводу.

На рис. 1 изображена обмотка трехфазного тока W_2 . Она отличается, во-первых, тем, что выполняется предпочтительно с одним витком в пазу, но во всяком случае с весьма малым числом витков в пазу. Во-вторых, катушка имеет весьма малую высоту (1—2 мм) в пазу по сравнению с ее шириной (4—12 мм). В-третьих, каждая фаза обмотки выполняется предпочтительно из одного непрерывного проводника, т. е. без паяк и других соединений между отдельными катушками 1, 2, 3... Четвертая и самая важная особенность обмотки W_2 заключается в том, что она размещается на дне пазов статора главного электропривода (как показано на рис. 1 справа, через W_1 на рисунке обозначена статорная обмотка главного электропривода).

Маловитковую обмотку W_2 можно разместить

либо во всех пазах статора, либо в любой части этих пазов. Каждый вариант размещения обмотки W_2 дает свой технический эффект.

При включении статора главного электродвигателя обмотка W_2 превращается во вторичную обмотку трансформатора. Надлежащим выбором чи-

не в состоянии перегреть изоляцию этих витков и сказался бы раньше всего на обмотке электродвигателя и токоподводящих проводах его.

В заключение для примера сообщаются данные обмотки W_2 , выполненной нами в насосном электроприводе мощностью 280 kW, 2000 V, 55 об/мин

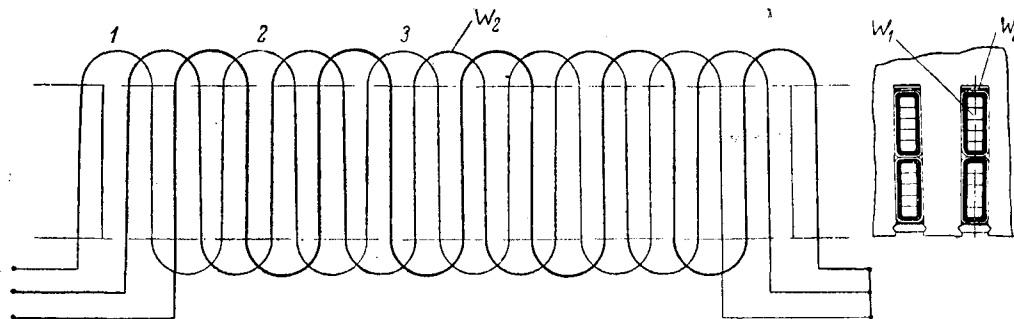


Рис. 1

сла витков можно получить в этой обмотке любую по величине Э. д. с., независимо от заданного напряжения сети для основного электропривода. Например, при сети 2000 V для питания главного электропривода мощностью 200 kW можно трансформаторно получить из статора этого электропривода низкое напряжение 127 V для питания вентиляторного двигателя мощностью, например, 1,5 kW, обслуживающего своим вентилятором главный электропривод и установленного тут же около электропривода или на его станине согласно рис. 2.

На этом рисунке обозначено: M — вентиляторный электродвигатель, K — его клеммная коробка, B — вентилятор, сопряженный с двигателем M и обслуживающий главный электропривод.

Ясно, что при включении главного электропривода одновременно включается трансформаторно и мотор-вентилятор, а отключение главного электропривода останавливает одновременно с ним и мотор-вентилятор.

Таким образом мы получаем три крупных улучшения, перечисленных нами ранее, причем для этого оказывается лишь необходимым разместить в основных пазах статора главного электропривода несколько вторичных витков.

Дно паза является для них наилучшим местом по трем главным причинам, а именно:

1. При таком размещении используется не только магнитное поле статора, проходящее в ротор, но и магнитное поле пазового рассеяния, которое у некоторых типов машин достигает 30% общего магнитного поля машины. Это соответственно снижает практически в 1,5 раза необходимое число витков обмотки W_2 при прочих равных условиях.

2. Замена какой-либо катушки основной обмотки не усложняется наличием вторичных витков.

3. Укладка и крепление вторичных витков удобнее.

Необходимо отметить, что в отношении витковых соединений и электрических пробоев надежность дополнительной обмотки во много раз выше основной, а именно: 1) витковые соединения полностью исключены, так как в пазу имеется всего один проводник; 2) общая площадь корпусной изоляции у вторичной обмотки в десятки раз меньше площади корпусной изоляции основной обмотки; 3) запас электрической прочности низковольтной обмотки в несколько раз больше запаса прочности обмотки W_1 .

Кроме того, номинальная плотность тока в обмотке W_2 так мала, что длительный ток к. з. из-за неисправности, например, электродвигателя M

при мотор-вентиляторе, припасованном согласно рис. 2, мощностью 1,7 kW, 127 V, 11,6 A, 1500 синхронных об/мин.

Каждая фаза трансформаторной обмотки W_2 выполнена без паяк и соединений из непрерывного проводника сечением $1,0 \times 3,8$ mm, длиной 15 m и уложена всего в 24 пазах статора по одному проводнику в пазу. Таким образом общее число витков каждой фазы — 12. Фазы соединены звездой и дают линейное напряжение около 125 V,

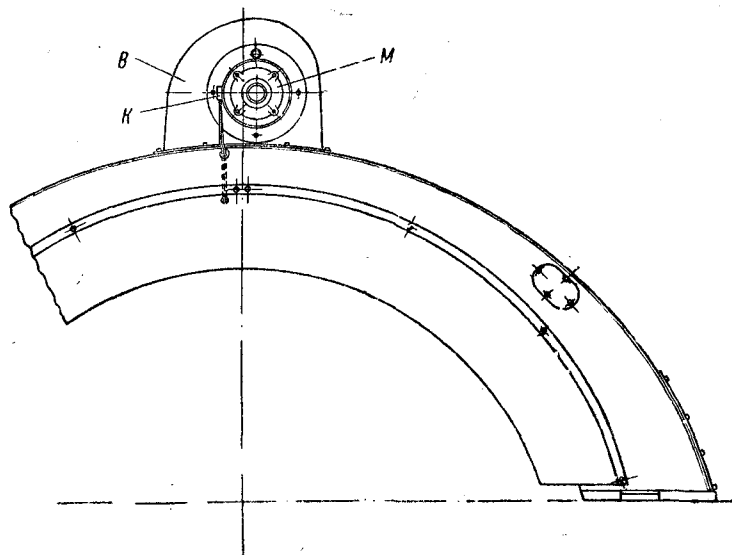


Рис. 2

которое подается к указанному электродвигателю 1,7 kW через его клеммную коробку K . Общий вес меди обмотки W_2 составляет 1,52 kg (общий вес меди электропривода равен 260 kg).

Номинальная плотность тока в обмотке W_2 равна 3,05 A/mm², в основной — 6,3 A/mm².

Использование в этом электроприводе магнитных полей пазового рассеяния снизило в 1,45 раз число необходимых витков обмотки, что послужило дальнейшему упрощению новой схемы питания вспомогательного электродвигателя.

Новая схема избавляет от затрат на вторую самостоятельную сеть и электрическую блокировку, вместе с этим она исключает возможность раздельной работы связанных электроприводов. В этом ценность нового способа питания вспомогательных электроприводов.

Академик Николай Дмитриевич Папалекси

К 60-летию со дня рождения

Недавно научная общественность Советского Союза отмечала дату шестидесятилетия крупного ученого нашей страны — академика Николая Дмитриевича Папалекси. Многие десятки приветствий, полученных со всех концов Союза, подчеркивают роль и заслуги юбиляра в деле развития советской физики и радиотехники.



Особенной чертой научной деятельности акад. Н. Д. Папалекси является то, что все свои работы и работы своих учеников Николай Дмитриевич направляет по линии исчерпывающего исследования вопроса, вплоть до выяснения практических выводов из научной работы, вплоть до специальной разработки частных задач, связанных с использованием в технике результатов основного исследования.

Акад. Н. Д. Папалекси совместно с акад. Л. И. Мандельштамом принадлежит заслуга применения к проблемам нелинейных колебаний строгих методов математического исследования. Это уже дало много ценного и открывает новые пути прежде всего в области изучения и практического применения нелинейных колебательных процессов, встречающихся в радиотехнике и электроэнергетике.

Николай Дмитриевич, автор многочисленных печатных работ, изобретений и патентов как у нас, так и за границей. Многие из них — в соавторстве с Л. И. Мандельштамом.

Сюда относятся как чисто теоретические работы, например, по теории резонанса n -го рода, по теории модуляции и т. д., так и работы по техническому применению результатов исследования — работы по регенерации в приемниках, по стабилизации генераторов пьезокварцами, по измерению глубины модуляции, по параметрическому возбуждению электрических машин и т. д. и т. д.

Николай Дмитриевич всегда окружен коллективом молодежи, работу которой он направляет и поддерживает, способствуя проявлению инициативы

и устремляя ее на пользу социалистического государства.

Начал свою научную деятельность Николай Дмитриевич в 1904 г. в Страсбурге ассистентом известного немецкого физика Ф. Брауна — изобретателя брауновской трубки и основателя научной радиотехники. Работая у проф. Брауна, Николай Дмитриевич встречается с Л. И. Мандельштамом, сотрудничество с которым у него продолжается до сего времени. Здесь в процессе работы над различными проблемами физики из области газового разряда (ртутная дуга высокого давления), из области оптики и других областей определяется основное направление дальнейшей деятельности Николая Дмитриевича — исследования колебаний, в частности электромагнитных.

Первые работы Николая Дмитриевича касаются измерений при высоких частотах и вопроса о роли индуктивности в цепях с вентилем. Тогда же совместно с проф. Брауном Николай Дмитриевич провел первые опыты направленной радиотелеграфии. В 1914 г. Николай Дмитриевич возвращается на родину, где начинается его большая работа в области радиосвязи. «Русское общество беспроволочного телеграфирования и телефонирования» приглашает Н. Д. в качестве консультанта по научным и практическим вопросам. Николай Дмитриевич первым в России применил для радиотелефонирования катодные лампы. Эти первые лампы были изготовлены также по его указанию. К этому же времени относятся пионерские работы Николая Дмитриевича: осуществление радиосвязи с подводными лодками и радиопеленгирование.

После Великой Октябрьской социалистической революции деятельность Николая Дмитриевича направляется по линии укрепления радиосвязи в Советском государстве. В 1918 г. он был в числе организаторов и деятелей Шаболовской радиолаборатории в Москве, которая сыграла большую роль в деле развития радиосвязи в нашей стране. Затем ряд лет Николай Дмитриевич живет и работает в Одессе, где ведет педагогическую работу в Политехническом институте.

С 1923 г. Николай Дмитриевич руководит научно-исследовательской работой Центральной радиолаборатории (ЦРЛ), а несколько позже заведует также отделом научной радиотехники в Ленинградском электрофизическом институте (ЛЭФИ). В 1931 г. он избирается членом-корреспондентом Академии Наук СССР. На протяжении ряда лет Николай Дмитриевич ведет педагогическую работу в Ленинградском политехническом институте им. Калинина, где с 1935 г. продолжают также в руководимой им лаборатории начатые еще в ЛЭФИ работы по исследованию параметрических явлений.

К этому же времени относится начало его работы в Физическом институте Академии Наук в Москве, где Николай Дмитриевич руководит лабораторией колебаний.

В 1936 г. Николай Дмитриевич совместно с Л. И. Мандельштамом получают первую медалевскую премию за работы по теории нелинейных колебаний.

Николай Дмитриевич всегда несет многочисленные общественные обязанности. Его можно было

видеть на посту Президента Русского физико-химического общества, во главе комиссии по исследованию радиосвязи в Арктике — в связи с дрейфом героической станции «Северный Полюс» или сейчас за руководством работой по Совету радиофизики и радиотехники при Отделении физических наук в АН СССР. Наконец, он много уделяет времени редактированию учебников для вузов.

В 1939 г. Николай Дмитриевич избран действительным членом Академии наук СССР.

В настоящее время он продолжает в Физическом и Энергетическом институтах АН СССР ряд своих работ, начатых ранее, следуя своему принципу доводить дело до конца. Среди них находится, в частности, исследование явлений параметрического резонанса в сложных электромеханических цепях. Открытое Николаем Дмитриевичем за последнее время интересное явление в этой области заключается в том, что всякая параметрическая машина, в частности, однофазная реактивная машина, содержащая в своей цепи емкость, может вращаться при различных скоростях, сохраняя заданное (легко поддающееся регулировке) соотношение с синхронной скоростью. Это явление должно найти применение прежде всего в автоматике, а может быть и в других областях.

Вопросы параметрических явлений имеют большое

значение для электромеханики и для электроэнергетики; например, явления, связанные с различного рода несимметричными режимами в системе трехфазного тока в условиях параметрического резонанса могут привести к авариям. С другой стороны, параметрический резонанс может быть и должен быть широко использован в практических целях при генерировании электроэнергии, так как этот способ позволяет получить в некоторых случаях ряд преимуществ по сравнению с применяемыми сейчас способами генерирования.

Строгие методы исследования, пропагандируемые Н. Д. Папалекси, должны способствовать дальнейшему углублению теории явнополюсной синхронной машины. Именно в этом направлении следует ожидать разрешения ряда трудностей, связанных сейчас с известной теорией двух реакций Blondеля.

Творческая инициатива, целеустремленность в работе и настойчивость Николая Дмитриевича являются образцом как для работников науки, так и для работников техники.

Пожелаем же Николаю Дмитриевичу много лет еще поработать на благо советского народа, на пользу социалистическому хозяйству, на укрепление мощи нашего государства.

Инж. Р. П. ЖЕЖЕРИН

Энергетический институт Академии Наук СССР

ЗА ВНЕДРЕНИЕ НОВОЙ ТЕХНИКИ В ЭЛЕКТРОМАШИНОСТРОЕНИЕ

Стеклоанная изоляция асинхронного двигателя и его мощность

Инж. Л. В. ЖИВОТОВСКИЙ

Харьковский электромеханический завод и.м. Сталина

Бурно разросшаяся в США промышленность стеклоанного волокна привела к широкому внедрению стеклоанной изоляции в американском электромашиностроении. Наша электропромышленность должна овладеть этим достижением передовой электроизоляционной техники. Прирост мощности и степень использования модели являются основными проблемными вопросами, волнующими расчетных инженеров. Что же нового вносит применение стеклоанной изоляции?

Как известно, степень долговечности изоляции определяется ее температурой. Чем выше температура изоляции, тем меньше срок ее службы.

Наибольшим распространением пользуется изоляция класса А, допускающая длительную работу при температуре перегрева 65°C , если температура окружающей среды не превосходит 35°C . Следовательно, изоляция является основным фактором, ограничивающим степень использования модели. Стеклоанная изоляция может длительно работать, не разрушаясь, при гораздо более высоких перегревах. Однако специфическая структура этой изоляции, характеризующаяся большим количеством воздушных промежутков между

волокнами, требует пропитки изоляции лаками. В настоящее время имеются лаки, вполне удовлетворительно переносящие температуру 150°C , следовательно, перегрев 115° . Есть основания ожидать в близком будущем появления еще более теплостойких лаков.

Современные асинхронные двигатели с изоляцией класса А имеют температуру перегрева обмотки статора $55—60^{\circ}\text{C}$, т. е. в среднем $57,5^{\circ}$. Таким образом внедрение стеклоанной изоляции вместо класса А позволило бы повысить перегрев

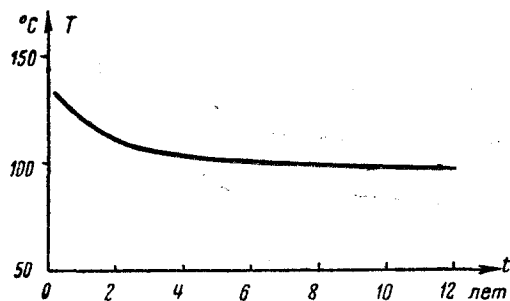
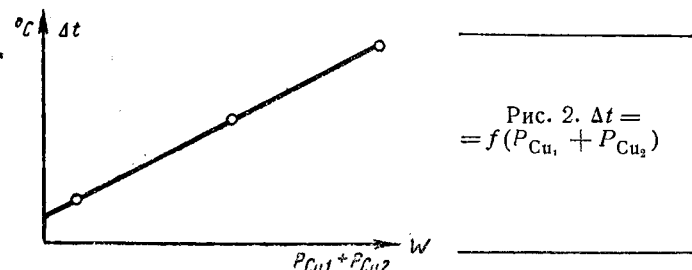


Рис. 1. $T = f(t_{\text{лет}})$

обмотки статора вдвое. Естественно, что такое повышение перегрева возможно только при соответствующем возрастании греющих потерь. Под греющими потерями подразумеваются потери в железе и в обмотках статора и ротора. Удельный вес тех или иных потерь не совсем одинаков. Его можно учесть, сделав три опыта: 1) нагрев



при номинальном токе нагрузки, 2) нагрев при токе, равном 75% номинального тока, и 3) нагрев при холостом ходе. Если построить диаграмму (рис. 2) изменения температуры в функции потерь в обмотках, все три точки окажутся на прямой или близкой к ней кривой линии, а на оси ординат определится величина перегрева, обусловленного потерями в железе. Мы не сделаем большой ошибки, если примем удельное влияние греющих потерь в различных частях машины одинаковым. В таком случае удвоение температуры перегрева произойдет при удвоении потерь. При этом пренебрегаем улучшением теплоотдачи вследствие роста температуры. Увеличение потерь сопровождается повышением мощности и может осуществляться различными путями. Рассмотрим простейший из них. Допустим, что асинхронный двигатель (в статье рассматривается двигатель с короткозамкнутым ротором) со стеклянной изоляцией выполнен по сравнению с исходной моделью класса А без всяких изменений, за исключением изоляции. Если нагружать этот двигатель выше номинальной нагрузки модели при изоляции класса А, потери в обмотках статора и ротора начнут увеличиваться отчасти за счет увеличения протекающих по ним токов, отчасти вследствие роста сопротивлений, обусловленного повышением температуры.

На круговой диаграмме рис. 3 конец вектора тока из точки А переместится в точку С. Для большинства машин $\cos \varphi$ повысится. Коэффициент полезного действия упадет, так как обычно максимум к. п. д. наступает при нагрузке, близкой к $3/4$ номинальной. Начальный и опрокидывающий моменты по абсолютной величине остаются без изменения, следовательно, кратность их по отношению к возросшему номинальному моменту падает. Поэтому, если значения к. п. д., начального и опрокидывающего моментов исходной модели не превосходят значений, предписанных стандартом, эти параметры двигателя со стеклянной изоляцией не смогут удовлетворить требованиям ОСТ. Из вышеизложенного следует, что такой способ повышения нагрузки недопустим.

Однако если требуется эпизодическое, но достаточно длительное увеличение нагрузки, могущее привести к перегревам порядка 100—115°C, применение изоляции вполне целесообразно, ибо позволяет выбрать двигатель меньшего габарита, без снижения его долговечности. Представляет

интерес выяснить предел возможного в этом случае повышения мощности.

Обычно в нормальном асинхронном двигателе защищенного типа потери в железе составляют около 20%, потери в обмотке статора—около 50% и потери в обмотке ротора—около 30% греющих потерь. Приняв потери в железе неизменными, найдем, что суммарные потери в меди должны увеличиться в $\frac{200\% - 20\%}{50\% + 30\%} = 2,25$ раза. Температура перегрева обмотки статора с изоляцией класса А равна 57,5°C, а со стеклянной изоляцией равна 115°C при температуре окружающей среды 35°, поэтому сопротивление обмотки статора (вследствие более высокой температуры нагрева) увеличится в $\frac{234,5 + (115 + 35)}{234,5 + (57,5 + 35)} \approx 1,175$ раза. Перегрев обмотки ротора примем равным 82,5° С. Тогда при переходе на стеклянную изоляцию сопротивление ротора увеличится приблизительно в $\frac{234,5 + (140 + 35)}{234,5 + (82,5 + 35)} = 1,158$ раза. Среднее увеличение сопротивлений обмоток статора и ротора составляет $\frac{1,175 \cdot 0,5 + 1,158 \cdot 0,3}{0,5 + 0,3} \approx 1,17$.

Отсюда увеличение потерь в меди за счет тока возможно в $\frac{2,25}{1,17} = 1,92$ раза. Такому росту потерь отвечает увеличение тока в $\sqrt{1,92} = 1,38$ раза. Если пренебречь изменением к. п. д. и $\cos \varphi$, то во столько же раз повысится мощность двигателя.

Предположим, что для дальнейшего подъема мощности площади пазов статора и ротора расширены так, что площади сечения проводников обмоток статора и ротора растут в k^2 раз. Для сохранения потерь на уровне, обеспечивающем перегрев 115° С, уменьшение сопротивлений в k^2 раз можно компенсировать дополнительным увеличением тока в k раз. Не учитывая изменений к. п. д. и $\cos \varphi$, можем отметить, что отношение мощности двигателя со стеклянной изоляцией к мощности двигателя с изоляцией класса А при помощи такого приема удастся довести до значения, равного $1,38 k$. Расширение пазов статора и

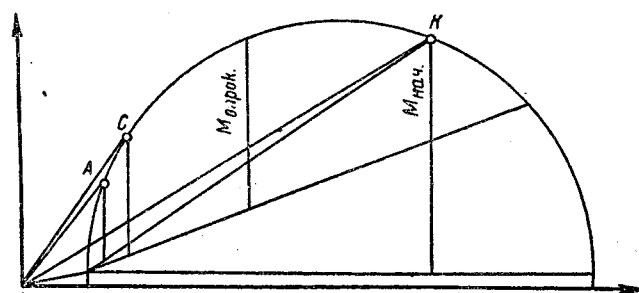


Рис. 2. Круговая диаграмма

ротора сопровождается уменьшением сечений зубцов и спинок статора и ротора, увеличением индукции в них, ростом потерь в железе, увеличением тока холостого хода. $\cos \varphi$ падает и может снизиться до величины, не укладывающейся в ОСТ. Так как суммарные потери меняются мало, а мощность увеличена дополнительно в k раз, к. п. д. несколько улучшается по сравнению с первым вариантом применения стеклянной изоляции— без изменения размеров пазов и сечений проводников обмоток. Но кратности начального и опрокидывающего моментов снижаются еще больше.

По сравнению с двигателем класса А у двигателя со стеклянной изоляцией, развитого по второму варианту, кратность начального момента ниже в $1,38 k^3$ раз, а опрокидывающего — в $1,38 k$ раз. Для обеспечения требуемого ОСТ значения $\cos \varphi$ отношение k не должно превосходить 1,15—1,2, следовательно, повышение мощности определяется коэффициентом порядка 1,65. В нормальной серии защищенных двигателей такой вариант исключен,

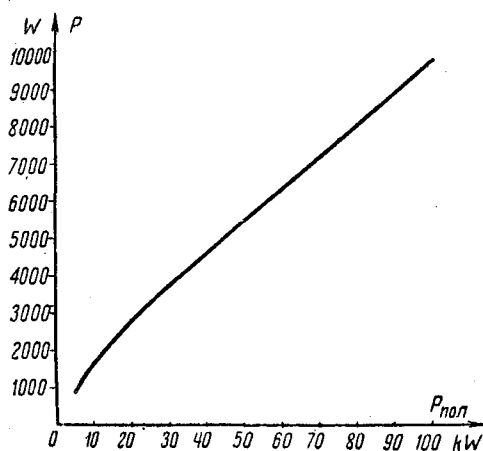


Рис. 4. $P \text{ потеря} = f(P_{\text{пол}})$

ибо ни к. п. д., ни начальный, ни опрокидывающий момент не имеют столь больших запасов, чтобы двигатель со стеклянной изоляцией смог удовлетворить требованиям ОСТ. В двигателях специальных, у которых энергетические показатели не играют решающей роли, а начальный и опрокидывающий моменты достаточны и изредка необходимо преодолевать длительную перегрузку, второй вариант может оказаться приемлемым.

Однако оба варианта для нормальных стандартных машин дают явно неудовлетворительные результаты. Задача заключается в том, чтобы найти решение, позволяющее повысить мощность и удержать параметры в пределах ОСТ.

Предварительно необходимо условиться о том, каким образом надлежит вычислять к. п. д. Для изоляции класса А джоулевы потери приводятся к 75°С . При средней годовой температуре помещения 15°С и перегреве 60° температура нагрева 75° весьма распространена и поэтому приведение джоулевых потерь к 75° бесспорно целесообразно. При той же температуре помещения 15°С и перегреве 115° температура обмотки статора достигнет 130° . Нас, конечно, интересует не условный к. п. д., а реальный, поэтому джоулевы потери будем приводить к 130°С . Вторым условием является предположение, что нормальная серия класса А имеет рабочие и пусковые характеристики, удовлетворяющие ОСТ, но не превосходящие его, т. е. к. п. д., $\cos \varphi$, начальный и пусковой моменты близки к номиналу, предписанному ОСТ. Допустим, что возможно такое повышение мощности, при котором характеристики удовлетворяют ОСТ, а перегрев обмотки статора достигает 115°С при температуре окружающей среды 35° . Пусть механические потери исходной модели составляют 1% полезной мощности двигателя при классе А. Примем, что при стеклянной изоляции они не изменятся. Вычислим по данным ОСТ потери, соответствующие номинальному значению к. п. д., и нанесем на диаграмму (рис. 4) значения этих потерь в функции полезной мощности.

Для того чтобы узнать, насколько должна повыситься мощность модели асинхронного двигателя с изоляцией класса А при переходе на стеклянную изоляцию, прибавим к механическим потерям добавочные потери модели (0,5% забираемой мощности) и удвоенную сумму греющих потерь, отложим это значение потерь на оси ординат диаграммы (рис. 4) и на этом уровне проведем горизонтальную прямую до пересечения с кривой потерь. На абсциссе, соответствующей точке пересечения, прочтем полезную мощность, которая должна быть развита двигателем, чтобы при потерях, обеспечивающих перегрев 115°С , к. п. д. удовлетворял ОСТ. Предположим, что механические и добавочные потери составляют 1,5%, а греющие — 12% забираемой мощности. Сохранив первые потери и увеличив вторые в два раза, получим общее увеличение потерь в $\frac{12 \cdot 2 + 1,5}{12 + 1,5} = 1,89$ раза.

Ввиду того, что такой большой прирост мощности обязательно сопровождается требованием (ОСТ) увеличения номинального значения к. п. д., мощность необходимо повысить по сравнению с классом А по меньшей мере в 2 раза. Примерно такой же рост мощности необходим и при иных значениях к. п. д. Удвоение мощности приводит к необходимости соблюдения соответственно более высокого $\cos \varphi$. Поскольку мы исходили из предположения равенства начального и опрокидывающего моментов исходной модели номинальным значениям, предписанным ОСТ, удвоение мощности вызывает необходимость удвоения этих параметров, если мощности двигателей обоих классов изоляции лежат в одной и той же зоне, и удвоения опрокидывающего момента и несколько меньшего изменения начального момента, — если мощности попадают в разные зоны мощности ОСТ.

В качестве наиболее безболезненного средства увеличения пусковых моментов (начального и опрокидывающего) можно рекомендовать применение повышенного числа пазов статора и ротора. В малых машинах с небольшим зубцовым делением, из-за получающихся неконструктивных размеров ширины зубца и паза, из-за ослабления механической прочности, повышения удельного объема изоляции, увеличение числа пазов часто неприемлемо; в средних же машинах эта мера в большинстве случаев может быть применена с успехом.

В общем случае единственной радикальной мерой является увеличение магнитного потока. Если мощность поднимается вдвое, поток с целью удвоения пусковых моментов надлежит увеличить в $\sqrt{2} = 1,41$ раза, пренебрегая изменением насыщения зубцов.

Увеличение потока, исходя из величины греющих потерь, определяем на основании следующих рассуждений. Считая соотношение потерь в железе и меди двигателя класса А как 0,2:0,8 и принимая отношение токов $\frac{I_{\text{стекла}}}{I_{\text{класса А}}} = 2$, находим:

$$0,2 \cdot k_{\Phi}^2 + \frac{0,8}{k_{\Phi}^2} \cdot \frac{I_{\text{стекла}}^2}{I_{\text{класса А}}^2} = 2.$$

Решая это биквадратное уравнение относительно k_{Φ} , где k_{Φ} — коэффициент увеличения магнитного потока, находим $k_{\Phi} = 1,41$. Следовательно,

как с точки зрения кратностей моментов, так и с точки зрения должного ограничения потерь в меди, при росте потерь в железе, магнитный поток требуется увеличить в 1,41 раза. При выводе уравнения мы пренебрегли изменением

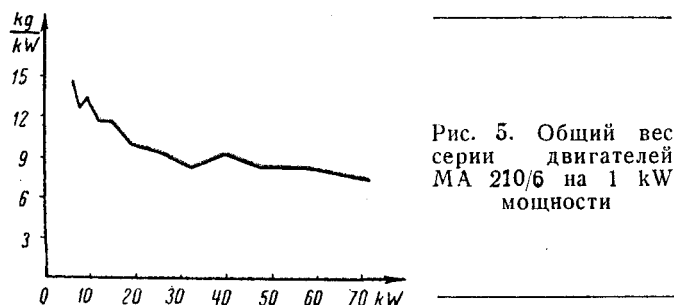


Рис. 5. Общий вес серии двигателей МА 210/6 на 1 kW мощности

сопротивления обмоток вследствие роста температуры. Более точно:

$$0,2 \cdot k_{\Phi}^2 + \frac{0,8}{k_{\Phi}^2} \cdot \frac{I_{\text{стекла}}^2}{I_{\text{класса А}}^2} \cdot 1,17 = 2, \text{ откуда } k_{\Phi} = 1,58.$$

Таким образом для ограничения потерь требуется даже несколько большее повышение потока, чем для увеличения пусковых моментов. К сожалению, насыщение современных машин не позволяет применить такую форсировку магнитного потока, так как ток холостого хода вырос бы весьма значительно и привел бы к совершенно недопустимому значению $\cos \varphi$. Поэтому в огромном большинстве случаев от повышения мощности в два раза необходимо отказаться.

Увеличение потока зависит от насыщения машины и в разных типах может быть проведено в различной степени. Коэффициент k_{Φ} колеблется в пределах 1,15—1,25. В некоторых машинах приходится удлинить пакет динамостали приблизительно на 10 mm. Во многих машинах такое мероприятие не требует даже переделки модели станины и в любых машинах не изменит габаритных размеров двигателя. Изменение магнитного потока в 1,15—1,25 раза влечет за собой увеличение начального и максимального моментов по крайней мере в 1,31—1,56 раза. Приблизительно в таком же отношении возможен прирост мощности.

Мы исходили из предположения, что начальный и опрокидывающий моменты модели близки к номиналу ОСТ. Однако часто они процентов на 10—15 выше номинала, поэтому появляется возможность поднять мощность еще процентов на 10. Для того чтобы компенсировать возрастные потери, приходится уширять паз статора и увеличивать сечение меди. Совокупность всех перечисленных мер позволяет при переходе на стеклянную изоляцию повысить мощность защищенного двигателя нормальной серии с изоляцией класса А на 50—70%, т. е. в среднем на 60%. При этом все характеристики полностью удовлетворяют требованиям ОСТ.

В настоящее время ОСТ 7341 на асинхронные

двигатели с короткозамкнутым ротором открытого и защищенного исполнения до 100 kW при 1500 об/мин пересматривается. По новому проекту ОСТ начальные моменты в зоне мощностей до 50 kW намечено понизить примерно в 1,3 раза. Поэтому кратность начального момента перестанет ограничивать рост мощности. Можно будет применить расширение также паза ротора для уменьшения потерь в обмотке ротора и, следовательно, некоторого дополнительного увеличения мощности.

Невозможность поднять поток на 55—60% не позволяет повысить мощность в 2 раза, поэтому благодаря необходимости sobлюдения к. п. д. нельзя поднять потери в 2 раза и греющие потери в 2,25 раз. Значит, нельзя получить и перегрев обмотки 115° С. Таким образом свойства применяемой нашей электропромышленностью динамостали не позволяют полностью использовать теплостойкость стеклянной изоляции и применяемых для ее пропитки лаков. Английская динамосталь при равных индукциях потребляет вдвое меньше намагничивающие ампервитки. Улучшение проницаемости нашей динамостали дало бы возможность поднять поток модели класса А на 55% и повысить мощность в 2 раза, доведя перегрев до предела, допускаемого лаками. Расчет многих типов машин защищенного исполнения показал реальную возможность довести их мощности до 160% существующих.

Многие неправильно полагают, что в том же отношении улучшается использование активных и конструктивных материалов. Рис. 5 показывает кривую удельного расхода материалов $\frac{\text{kg}}{\text{kW}}$, в функции полезной мощности серии МА200 на 1000 об/мин. Из кривой видно, что с увеличением мощности удельный расход снижается. Машину со стеклянной изоляцией надо сравнивать не с исходной моделью, а с машиной класса А равной мощности. Тогда обнаруживается, что применение стеклянной изоляции уменьшает общий вес не на 40%, а на 20—30%. Приблизительно в том же отношении мог бы измениться удельный расход меди, если бы вес меди модели сохранялся. Но, как было выше показано, для получения требуемого коэффициента полезного действия вес меди приходится увеличивать. В связи с этим экономия меди редко может составить больше 10—15%. Экономия динамостали составляет около 20—30%.

Таким образом, вопреки распространенному мнению, применение стеклянной изоляции при условии удовлетворения предписаниям ОСТ хотя и позволяет повысить мощность модели класса А процентов на 60, однако сопровождается незначительной экономией меди. Основная экономия падает на динамосталь и конструктивные материалы. Более значительного сокращения удельного расхода можно ожидать после улучшения магнитных свойств динамостали.

От редакции

В помещаемой ниже, в порядке обсуждения, статье д-ра, проф. В. А. Трапезникова рассмотрены актуальные вопросы технико-экономического проектирования при выборе оптимальных характеристик электрических машин. На страницах журн. «Электричество» за 1939 и 1940 гг. был опубликован ряд статей и дискуссионных выступлений, посвященных вопросам технико-экономического проектирования и расчета городских электросетей и других энергетических установок (инж. С. Г. Егоров, инж. И. С. Бессмертный, инж. Ф. П. Лашков, чл.-корр. Академии Наук СССР В. И. Вейц, проф. В. П.

Иванов, проф. В. Н. Степанов, д-р, проф. С. А. Кукель-Краевский, инж. В. П. Захаров и др.).

Учитывая большое научное и практическое значение этих материалов и считая необходимым подвести итоги обсуждения, редакция выдвигает перед Энергетическим институтом Академии Наук СССР, «Теплоэлектропроектом», «Коммунально-энергетическим проектом» и другими научно-исследовательскими и проектирующими энергетическими организациями предложение о созыве в 1941 г. совещания по вопросам технико-экономического проектирования в энергетике.

Оптимальный к. п. д. электрических машин

Д-р техн. наук, проф. В. А. ТРАПЕЗНИКОВ

Московский энергетический институт им. Молотова

Вопрос о наивыгоднейшем коэффициенте полезного действия (к. п. д.) оборудования возникает почти в любой области проектирования силовых установок и, в частности, электрических машин и трансформаторов¹.

Однако по существу стандарт на к. п. д. до сих пор устанавливается в основном только по минимальному расходу меди в машинах и трансформаторах.

Является ли расход меди единственным и решающим фактором для выбора к. п. д. асинхронных машин? Этот вопрос является основным, так как он предопределяет направление всей работы по выбору к. п. д. Чтобы подойти к его решению, найдем связь между расходом меди и потерями двигателей.

Как известно, ряд машин, а также отдельные параметры машин одного ряда (например, расход меди) подчиняются следующим зависимостям:

$$G_m \propto P^x; \quad \omega \propto P^{-y}.$$

Здесь G_m — вес меди двигателя в kg, P — его мощность в kW, ω — потери в %, x , y — показатели степени, характерные для данного ряда машин.

Анализ законов рядов позволяет найти приведенный вес меди²:

$$G'_m = G_m(\omega)^{\frac{x}{y}} n = \text{const}, \quad (1)$$

¹ Вопрос о наилучшем к. п. д. электрооборудования поднимался не раз. Его ставили проф. Г. Н. Петров в отношении трансформаторов, проф. Б. П. Апаров при разработке ОСТ 7341, инж. Я. М. Губер и др. Настоящая статья сдана в редакцию до выхода из печати работы инж. Я. М. Губер по аналогичному вопросу, опубликованной в журн. «Вестник электропромышленности» № 12, 1940.

² См. книгу автора «Основы проектирования серий асинхронных машин», 1937.

n — число об/мин.

Если перепроектировать машину, выполнив ее с новым весом меди, то на основании (1) ее потери

$$\omega_2 = \omega_1 \cdot \left(\frac{G_{m_1}}{G_{m_2}} \right)^{\frac{y}{x}}. \quad (2)$$

Если для упрощения принять, что к. п. д. машины при ее средней эксплуатационной нагрузке (около $(0,6-0,8) P_{ном}$) равен номинальному к. п. д., то годовой расход энергии, необходимой для покрытия потерь,

$$N_n = \frac{\omega_n}{100 - \omega_n} P h_d \text{ [kWh]}. \quad (3)$$

Здесь $\omega_n = 100 - \eta_n$ — номинальные потери (по каталогу), h_d — число часов использования максимальной мощности двигателя.

При измененных потерях двигателя ω расход энергии

$$N_1 = N_n \frac{100 - \omega_n}{\omega_n} \cdot \frac{\omega}{100 - \omega} \approx N_n \frac{\omega}{\omega_n}. \quad (4)$$

Из (2) и (4) найдем:

$$N_1 = N_n \sqrt{\frac{x}{y} \frac{G_{m_1}}{G_{m_2}}}. \quad (5)$$

Уравнение (5) показывает, каким образом годовой расход энергии зависит от расхода меди. Характер этой зависимости изображен на рис. 1.

Мы видим, что с увеличением расхода меди расход энергии сокращается, однако затрата каждого последующего килограмма меди становится все менее и менее эффективной. Очевидно, предел целесообразного вложения меди в двигатель наступит, когда значение $\frac{d N_1}{d G_{m_1}}$ достигнет некоторого минимально допустимого значения k .

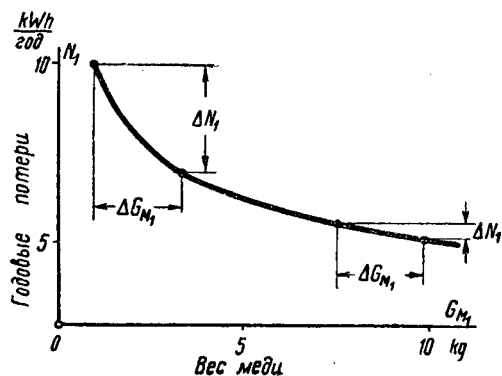


Рис. 1 Потери двигателя в зависимости от веса его меди

минальные потери w_n и показатель степени $\frac{x}{y}$ для нормальных асинхронных двигателей серий АД и МА-200. Показатель $\frac{x}{y}$ находится для любого участка кривой (рис. 2) из соотношения

$$\frac{x}{y} = \frac{\lg \frac{G_{M_2}}{G_{M_1}}}{\lg \frac{w_1}{w_2}} \quad (8)$$

По данным рис. 2 и выражению (7) определена эффективность вложения меди, оказавшаяся:

$$k_d \approx 200 \frac{\text{kWh}}{\text{kg}}$$

Это значит, что, вкладывая в двигатели дополнительную медь, мы получим годовую экономию порядка 200 кВт·ч на каждый килограмм меди.

Для того чтобы решить вопрос о меди с учетом интересов всего народного хозяйства, обратимся к сетям, являющимся крупнейшим потребителем меди.

Расход меди в сетях характеризуется табл. 3.

При выборе того или иного варианта сети проектирующие организации сопоставляют расход меди и потери энергии.

На основании экономических расчетов³, пределом целесообразного вложения меди в 6—10 кВ сети считается в среднем $k_c = 15 - 40 \frac{\text{kWh}}{\text{kg}}$, т. е. вариант, дающий экономию энергии в среднем 30 кВт·ч в год на каждый дополнительно вложенный килограмм меди.

Сравнивая эффективность вложения меди в двигатели и сети, видим, что первые дают эффективность приблизительно в 6 раз большую (это объясняется разностью плотностей тока: в сетях — 2,5—3,5 А/мм²; в машинах — до 7,5 А/мм²).

Отсюда можно сделать вывод, что распределение меди между сетями и электромашинами явно нецелесообразно: к. п. д. машин снижается до предела в целях экономии меди, в сетях же медь расходуется в 6 раз менее эффективно. Следова-

³ См., например, А. А. Глазун. Расчет электрических сетей, И. С. Бессмертный, «Электричество» № 1, 1939, его же — «Коммунальное строительство» № 1, 1940.

Из (2), (3), (4), (5) найдем потери двигателя, соответствующие выбранному значению k :

$$w = w_n \frac{1}{x^{\frac{y}{x+1}}} \left[\frac{x}{y} \cdot \frac{k}{h_d} \cdot \frac{G_M}{P} (100 - w_n) \right]^{\left(\frac{1}{x+1} \right)} \quad (6)$$

Если в (6) положить $w = w_n$, то мы найдем значение k_d , т. е. эффективность вложения меди в нормальные двигатели:

$$k_d = \frac{w_n}{100 - w_n} \cdot \frac{P}{G_M} \cdot \frac{y}{x} \cdot h_d \left[\frac{\text{kWh}}{\text{kg}} \right] \quad (7)$$

Это значит, что каждый килограмм меди, дополнительно вложенный в существующие двигатели, уменьшит годовые потери на k_d .

Для того чтобы найти численное значение k_d , необходимо определить $\frac{x}{y}$, $\frac{G_M}{P}$ и h_d для существующих двигателей.

Табл. 1 дает возможность определить годовое число часов использования максимальной мощности двигателя h_d . Данные второй и третьей граф получены на основании материалов Главэлектромашинопрома, остальных граф — на основании материалов Электропрома.

Табл. 2, полученная по данным Главэлектромашинопрома, показывает распределение мощностей двигателей для станков.

На основании табл. 1 можно принять для нормальных двигателей число часов использования максимальной мощности $h_d = 2000 \frac{\text{часов}}{\text{год}}$ и среднюю установленную мощность $P_{cp} = 4,0 \text{ kW}$.

На рис. 2 показаны кривые расхода меди, но-

Таблица 1

Эксплуатационные условия нормальных асинхронных двигателей мощностью до 100 кВт

Отрасль промышленности	Общая мощность двигателей %	Средняя мощность двигателя kW	Коэффициент загрузки η_3	Коэффициент одновременности η_0	Коэффициент использования $\eta_a = \eta_3 \cdot \eta_0$	Число раб. смен	Число часов работы предприятия в год h_1	Число часов использов. максимальной мощности двигателя $h_d = h_1 \cdot \eta_a$
						число раб. дней в году		
Металлообрабатывающая	75	3,75	0,6—0,7	0,4—0,6	0,25—0,4	2/320	4480	1440
Металлургия (кроме двиг. повторно-кратков. работы)	14	5,75	0,6—0,7	0,25—0,6	0,15—0,4	3/360	8640	2330
Химия	7	3,4	0,9	0,9	0,8	3/360	8640	6900
Текстиль (кроме спец. двиг.)	4	4,4	0,7—0,8	0,7—0,8	0,5—0,65	2/320	4480	2580
Средние данные с учетом удельного веса различных областей промышленности . .	100	4,0	0,68	0,53	0,36	—	5400	1950

Таблица 2
Мощности двигателей для станков

Мощность kW	Количество %	Общая мощность %
1	40	8
1-5	55	40
5-10	20	34
10-30	5	18
	100%	100%

вательно, имеется полная возможность увеличить отпуск меди на изготовление машин, не повышая общего расхода меди в стране, а лишь за счет перераспределения отпуска ее на машины и сети. Для этого достаточно лишь предписать проектирующим организациям выбирать для сетей несколько большее значение k_c . Такое мероприятие может выполняться в течение всего времени, пока одновременно строятся машины и сети с применением меди, т. е. практически всегда.

Посмотрим теперь, до каких пределов нужно снизить потери двигателя, чтобы сравнять эффективность вложения меди в двигатели k_d и сети k_c .

Принимая по рис. 2 в среднем $\frac{x}{y} = 3$, согласно (6) найдем $w \equiv k^{0.25}$. Для нормальных двигателей $k_d = 200$. Если приблизить использование меди в двигателях к использованию ее в сетях и довести k_d хотя бы до 50, то необходимо уменьшить потери двигателя в $\left(\frac{200}{50}\right)^{0.25} = 1,4$ раза.

Мы видим, что имеется возможность весьма значительно повысить к. п. д. двигателей, не прибегая к увеличению общего расхода меди в стране. Это говорит о том, что если рассматривать проблему с точки зрения всего народного хозяйства, то расход меди не может явиться фактором, определяющим к. п. д. электрических машин.

Таблица 3
Расход меди в сетях и двигателях

	Расход меди * в кг на 1 kW передаваемой мощности	Расход меди ** в кг на 1 kW установлен- ной мощности двигателей
Высоковольтная сеть	6-8	2,2-2,9
Кабельная сеть		
6-10 kV	5-7	1,8-2,5
Сеть 0,38 kV	5-6	1,8-2,2
} суммарно в среднем 4,1		
Асинхронные двига- тели 1-5 kW, 1500 об/мин . . .	—	1,5-0,65
Асинхронные двига- тели 5-100 kW, 1500 об/мин . . .	—	0,65-0,23
} 0,75 при $P_{cp} = 4,0$ kW		

* Без учета меди генераторов и трансформаторов.

** Получено умножением на $\eta_a = 0,36$.

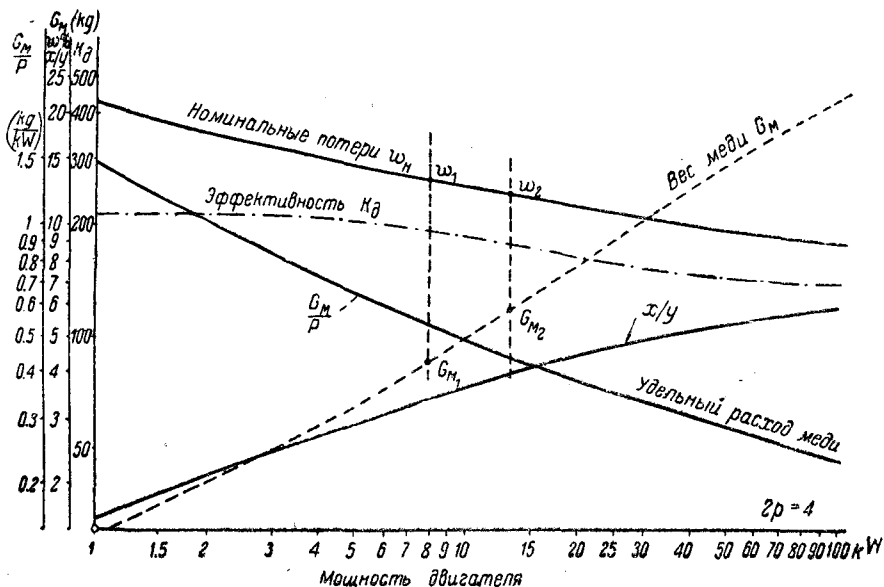


Рис. 2. Расход меди нормальных асинхронных двигателей

В заключение найдем эквивалент между потерями в двигателе и расходом меди в сетях. Примем годовой расход энергии на 1 kW установленной мощности двигателя (см. ниже):

$$N'_\varphi = 1,6 \cdot \frac{w}{100} h_d \text{ [kWh]}.$$

Если количество меди в сетях уменьшить на 1 kg, то годовые потери в сети возрастут на k_c .

Если положить $N'_\varphi = k_c$, то мы найдем, какое увеличение процента потерь Δw в двигателе вызовет такой же расход энергии, как и изъятие из сетей 1 kg меди. Сделав это предположение и считая $k_c = 30$, $h_d = 2000$ часов/год, получим

$$\Delta w = 0,95 \approx 1\%. \quad (9)$$

Формула (9) позволяет сделать такой вывод: изъятие из сетей меди в количестве 1 kg/kW установленной мощности двигателей, в отношении потерь энергии эквивалентно уменьшению к. п. д. двигателей на 1%. Следовательно, если вложение

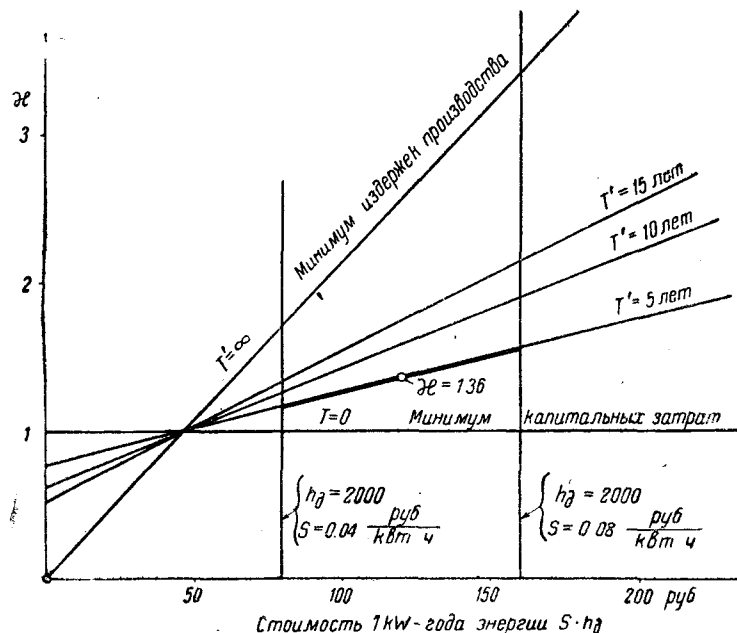


Рис. 3. Экономический коэффициент

В машину добавочной меди в количестве 1 kg/kW повышает ее к. п. д. больше чем на 1%, то при современном способе проектирования наших сетей перевод меди из сетей в машину нелесообразен.

Выбор оптимального к. п. д. Убедившись в том, что расход меди в машинах не является единственным решающим фактором, положим в основу выбора к. п. д. соотношение между первоначальными затратами и эксплуатационными расходами системы. В качестве вспомогательного метода анализа применим графоаналитическую схему, предложенную С. А. Кукель-Краевским (журн. "Электричество", № 8, 1940 г.).

Если построить двигатели с различными к. п. д., то как их стоимость, так и потери энергии будут некоторыми функциями от потерь в двигателе в процентах $[F(w) \text{ и } f(w)]$.

Мощность станции, затрачиваемая на покрытие потерь в двигателе, будет:

$$\frac{f(w) h_{\partial}}{\eta_c h_{cm}}.$$

Здесь η_c — к. п. д. сети,

h_{∂} и h_{cm} — соответственно, число часов использования максимальной мощности двигателя и станции.

Обозначим через k_N первоначальную стоимость 1 kW станции. Тогда капитальные затраты на систему будут:

$$K = F(w) + k_N f(w), \quad (10)$$

где

$$k_{N_1} = k_N \frac{h_{\partial}}{h_{cm}} \frac{1}{\eta_c}.$$

Ежегодные эксплуатационные издержки на систему

$$I = p F(w) + S h_{\partial} f(w). \quad (11)$$

Здесь p — ежегодные амортизационные отчисления,

S — стоимость энергии.

Срок окупаемости

$$T' = - \frac{dK}{dI}. \quad (12)$$

Из (10), (11) и (12) получим:

$$- \frac{F'(w)}{k_{N_1} f'(w)} = x, \quad (13)$$

где

$$x = \frac{\frac{Sh_{\partial} T'}{k_{N_1}} + 1}{T' p + 1}. \quad (14)$$

Найдем выражение для $F'(w)$ и $f'(w)$. Аналогично (1) можно написать выражение приведенной стоимости

$$C' = C(w)^{\frac{x}{y}} n = \text{const}, \quad (15)$$

где C — стоимость двигателя, $\frac{x}{y}$ — численно иной показатель степени, чем в выражении (1); его можно найти из (8), подставляя стоимость двигателя вместо веса меди.

В соответствии с (15) найдем стоимость дви-

гателя, отнесенную к 1 kW его установленной мощности:

$$F(w) = \frac{C}{P} = \frac{C_N}{P} \cdot \left(\frac{w_N}{w} \right)^{\frac{x}{y}}. \quad (16)$$

Здесь C_N — стоимость двигателя при номинальных потерях w_N .

При определении стоимости энергии необходимо учесть также и реактивную составляющую, так как наряду с изменением к. п. д. машины обычно изменяется и ее $\cos \varphi$. Это можно сделать, воспользовавшись понятием об эффективных потерях⁵:

$$w_{\text{эфф}} = w + k_{\varphi} \lg \varphi. \quad (17)$$

Здесь $k_{\varphi} \lg \varphi$ определяет потери в сетях от реактивной составляющей, потребляемой двигателем.

Годовые потери с учетом потерь в сети, вызванных реактивной составляющей и отнесенные к 1 kW установленной мощности двигателя, будут:

$$N_{\varphi} = \frac{w}{100 - w} \cdot \frac{w_{\text{эфф}}}{w} \cdot h_{\partial}. \quad (18)$$

Для нормальных двигателей при $P = 1 - 100 \text{ kW}$, $n = 1500 - 750 \text{ об/мин}$ и $k_{\varphi} = 10$:

$$\frac{w_{\text{эфф}}}{(100 - w) w} = (1,66 - 1,85) \cdot 10^{-2}.$$

Тогда согласно (18) можно принять в среднем

$$N_{\varphi} = 1,72 \cdot \frac{w}{100} h_{\partial}. \quad (19)$$

За исходную величину примем стоимость 1 kWh при $\cos \varphi = 0,8$, равную $S \frac{\text{руб}}{\text{кВт-ч}}$. В эту стоимость входит стоимость активной и реактивной составляющих.

В (19) мы выражаем полные потери через процент активных потерь w , поэтому стоимость энергии нужно отнести к активной составляющей. При $\cos \varphi = 0,8$ на основании (17) она составит:

$$\frac{100}{100 + k_{\varphi} \cdot \lg \varphi} S = \frac{100}{100 + 10 \cdot 0,75} S = 0,93 \cdot S.$$

Тогда согласно (19) стоимость годовых потерь на 1 kW двигателя

$$C_{\varphi} = 1,6 \cdot \frac{w}{100} \cdot h_{\partial} S. \quad (20)$$

Потери в двигателе с учетом потерь в сетях от реактивной составляющей

$$f(w) = 1,6 \cdot \frac{w}{100}. \quad (21)$$

Тогда из (13), (16) и (21) найдем оптимальные потери двигателя:

$$w = \sqrt[\frac{x}{y} + 1]{\frac{x}{y} \frac{100}{1,6 x} \cdot \frac{C_N}{P k_{N_1}} (w_N)^{\frac{x}{y}}}. \quad (22)$$

Примем стоимость 1 kW станций, включая стоимость сетей, $k_N = 2000 \frac{\text{руб}}{\text{кВт}}$, $h_{\partial} = 2000$, $h_{cm} = 6000$, $\eta_c = 0,85$, тогда $k_{N_1} = 785 \frac{\text{руб}}{\text{кВт}}$. Принимая, кроме того, $p = 0,06$, найдем из (14) x (рис. 3). На рис. 4 показаны кривые стоимости двигателей C_N и на

⁴ $F'(w)$ и $f'(w)$ — первые производные от $F(w)$ и $f(w)$.

⁵ См. книгу автора, цитир. в сноске 2.

основании их согласно (8) определен показатель степени $\frac{x}{y}$.

По данным рис. 4, выражению (22) и принимая $\chi = 1,36$ определены оптимальные потери w , показанные на рис. 5.

Выражение (22) справедливо лишь при $\frac{x}{y} = \text{const}$, т. е., как это видно из рис. 4, лишь для двигателей мощностью $P \geq 10$ kW. При меньших мощностях $\frac{x}{y}$ заметно изменяется, и поэтому уравнение (22) приходится решать графоаналитически. Для этого поступаем следующим образом.

По рис. 4 находим закономерность $\frac{x}{y} = \varphi(C)$. Давая различные значения стоимости C , строим кривую

$$w = \frac{w_n}{\left(\frac{C}{C_n}\right)^{\frac{x}{y}}} = \psi\left(\frac{C}{P}\right),$$

причем, наряду с изменением C соответственно изменяем и $\frac{x}{y}$, пользуясь кривой $\frac{x}{y} = \varphi(C)$.

Полагая в (22) $w_n = w$ и $C_n = C$, строим кривую

$$w = \frac{100}{1,6 \chi k_{N_i}} \cdot \frac{x}{y} \cdot \frac{C}{P} = \psi_1\left(\frac{C}{P}\right),$$

выбирая при этом $\frac{x}{y}$ в зависимости от C по кривой $\frac{x}{y} = \varphi(C)$. Точка пересечения кривых

$$w = \psi\left(\frac{C}{P}\right) \text{ и } w = \psi_1\left(\frac{C}{P}\right)$$

даст искомые оптимальные потери при $\frac{x}{y} = \text{var}$.

Подобное построение проделано для $P < 10$ kW, и результаты показаны на рис. 5.

Как видно, оптимальные потери лежат ниже потерь по стандарту. Чтобы нагляднее сопоставить соотношения отдельных составляющих, на рис. 6, 7 показаны элементы стоимости двигателей $P = 2$ и 10 kW при $n = 1500$ об/мин, причем для $P = 2$ kW кривые построены при $\frac{x}{y} = \text{var}$.

Как видно, при повышении к. п. д. двигателя уменьшаются не только эксплуатационные расходы, но и капитальные затраты, поэтому повышение к. п. д., безусловно, выгодно.

Выше было показано, что повышение к. п. д. двигателя, связанное с дополнительным вложением в него меди, должно сопровождаться изъятием меди из сетей. Формула (22) этого обстоятельства не учитывает, поэтому влияние перераспределения меди между двигателями и сетями мы учтем дополнительно графоаналитическим способом.

Для этого, пользуясь выражением (2), найдем вес меди двигателя в зависимости от потерь (рис. 6).

Тогда согласно (9) можно найти возрастание потерь двигателя Δw , вызывающее те же потери,

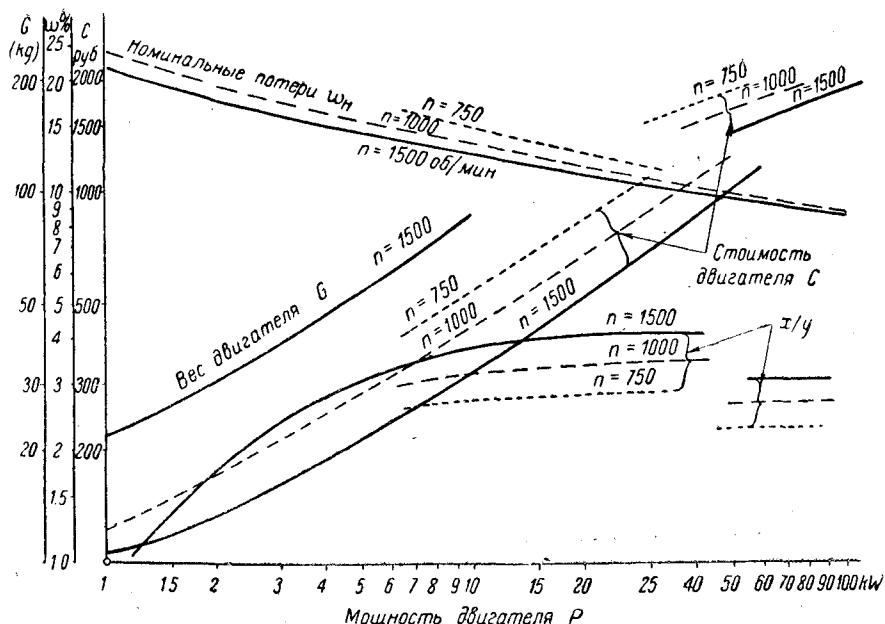


Рис. 4. Характеристики нормальных асинхронных двигателей

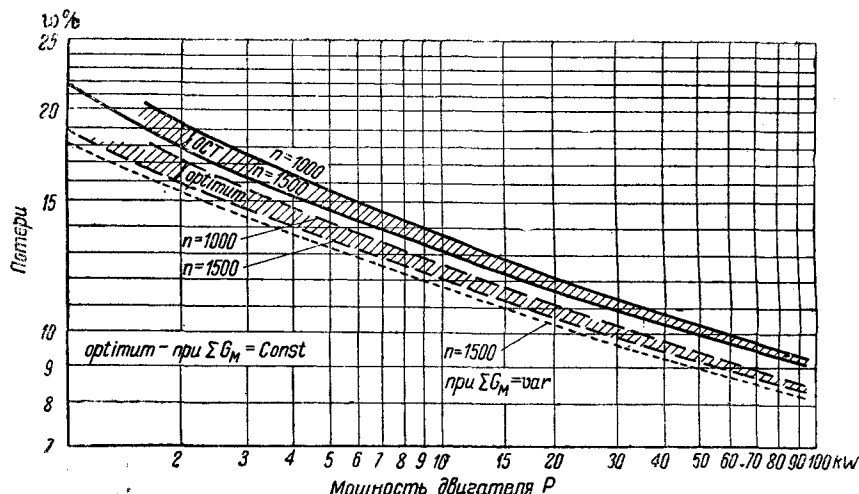


Рис. 5. Потери асинхронных двигателей

как и изъятие из сети меди, вкладываемой в двигатель. При этом исходными величинами считаем потери и вес меди двигателя при номинальном к. п. д. Мощность станций, покрывающих потери, найдем, подставляя в (21) $w + \Delta w$ вместо w (кривая C_c).

Суммируя скорректированную стоимость станций C_c со стоимостью двигателя C , найдем капитальные затраты при постоянном расходе меди.

Таким образом можно было бы скорректировать и кривую эксплуатационных расходов, но так как ее минимум смещен в область весьма малых потерь, мы ограничимся лишь коррекцией кривой капитальных затрат.

Сравнивая скорректированную и нескорректированную кривые, можно видеть, насколько смещается вправо минимум капитальных затрат при условии постоянства общего расхода меди. Найденную таким образом поправку мы вводим в кривые рис. 5, соответственно увеличив потери, определенные по формуле (22).

Кривые рис. 5 показывают, что с точки зрения наиболее экономичного соотношения капитальных и эксплуатационных расходов следует уменьшить потери на 8—10% (от величины потерь) по сравнению с ОСТ 7341.

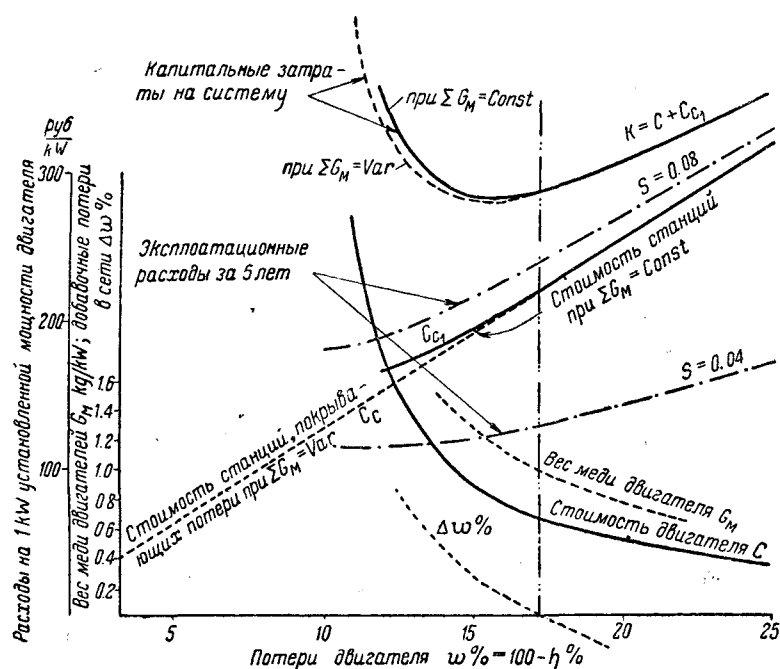


Рис. 6. Элементы стоимости системы при мощности двигателя $P = 2 \text{ kW}$, $n = 1500 \text{ об/мин}$

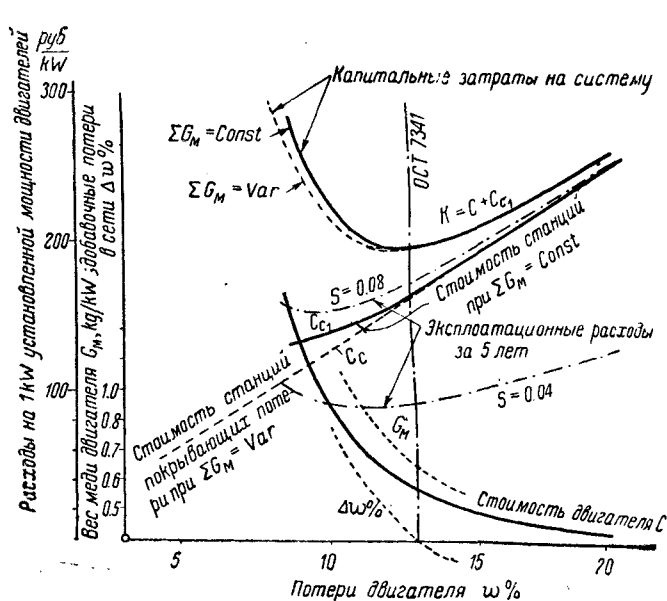


Рис. 7. Элементы стоимости системы при мощности двигателя $P = 10 \text{ kW}$, $n = 1500 \text{ об/мин}$

Посмотрим, какие изменения в размеры и стоимость двигателя внесло бы повышение его к. п. д. Расчет ведем для двигателя средней мощности $P = 4 \text{ kW}$. Принимаем срок амортизации двигателя $T_a = 15$ лет, средний ежегодный выпуск по мощности асинхронных двигателей до 100 kW — $400\,000 \text{ kW}$ и стоимость энергии $S = 0,06 \frac{\text{руб}}{\text{кВт}} \cdot \text{ч}$ (стоимость энергии берем отпускную, а не себестоимость, так как стоимость двигателя также взята отпускной).

Результаты сведены в табл. 4.

Следует заметить, что данные табл. 4 неблагоприятные. В действительности увеличение веса и стоимости двигателя будет меньше, чем это дает (16), как так при увеличении габарита двигателя с сохранением его мощности насыщение магнитной цепи падает, а это открывает возможность добавочной экономии материалов ⁶.

Однако мы видим, что даже при таком методе анализа повышение к. п. д. дает общую экономию 22—32% от стоимости двигателей. При этом не требуется никакой ломки производственного процесса, достаточно лишь изменить обмоточные данные двигателя. Разумеется, увеличение габаритов двигателя заставит электромашинострои-

⁶ Действительное возрастание веса при повышении к. п. д. должно быть уточнено расчетом машины.

тельные заводы расширить свое производство, однако это будет сопровождаться уменьшением выпуска кабельных заводов и заводов, изготовляющих оборудование электрических станций, поэтому в целом объем производства электротехнической промышленности изменится незначительно. При рассмотрении найденных закономерностей возникает вопрос: не будут ли случайные конъюнктурные изменения влиять на результат, даваемой формулой (22)? Легко убедиться, что это не так. Действительно, в формулу (22) входит отношение стоимости двигателя к стоимости станции, а оно остается практически неизменным при всех возможных конъюнктурных условиях. То же можно сказать об «экономическом коэффициенте»: он также определяется отношением стоимости энергии к стоимости станций (14), которое в свою очередь мало зависит от случайных колебаний цен.

Прочие параметры, входящие в (22), вообще не зависят от цен.

Таким образом и величина оптимальных потерь ω практически не должна зависеть от конъюнктурных условий.

Посмотрим еще, в какую сторону можно ожидать смещения минимума капитальных затрат. Минимум передвигается влево, если: а) растет стоимость станций и б) если уменьшается стоимость двигателя. Мы приняли из осторожности стоимость

Сравнительные данные для двигателя $P = 4,0 \text{ kW}$

Таблица 4

% снижения потерь	к. п. д. η	Удорожание двигателя %	Увеличение линейных размеров %	Увеличение веса %	Увеличение веса меди двигателя (при сохранении общего расхода меди неизменным) ⁶		Общая экономия за 15 лет	
					%	kg/kW	%	в млн. руб. от ежегодного выпуска
0	0,848	—	—	—	—	—	—	—
5%	0,855	18	5	19	15	0,11	21,8	4,2
9%	0,863	38	11	42	32	0,23	31,6	6,0

Примечание. За 100% стоимости принята номинальная стоимость двигателя при $\eta = 0,848$ (ОСТ 7341).

станций и сетей $k_N = 2000 \frac{\text{руб}}{\text{кВт}}$, между тем есть основания считать ее несколько большей.

Годовое число часов использования максимальной мощности станций мы приняли $h_{cm} = 6000$; между тем для малых станций и малых систем оно значительно меньше, доходя до $h_{cm} = 4000$, что эквивалентно увеличению k_N .

С другой стороны, по уже указанным причинам стоимость двигателя можно ожидать меньшей, чем по выражению (16). Все это еще раз подтверждает целесообразность повышения к. п. д. двигателя по сравнению с ОСТ 7341.

Выводы. На основании проведенного анализа можно считать, что:

1. Расход меди не может являться единственным критерием для выбора к. п. д. двигателя, так как медь может быть перераспределена между сетями и машинами без увеличения ее общего расхода с одновременным уменьшением общих потерь, причем для увеличения расхода меди в двигателях на 30% достаточно уменьшить ее расход в сетях 0,38–10 кВ лишь на 5%.

2. Уменьшение количества меди, вложенной в сети, на 1 кг/кВт установленной мощности двигателя, увеличивает потери в сети в такой же мере, как и снижение к. п. д. двигателя на 1%. Поэтому,

если вложение меди в двигатель в количестве 1 кг/кВт увеличивает его к. п. д. больше, чем на 1%, то перевод меди из сетей в машину целесообразен.

3. Коэффициент полезного действия асинхронных двигателей следует увеличить по сравнению с данными ОСТ 7341. При этом одновременно уменьшатся как капитальные затраты, так и эксплуатационные расходы всей системы, включающей станции, сети и двигатели.

4. Оптимальное снижение потерь составляет 8–10%, однако эта величина должна быть уточнена расчетом двигателей.

5. При повышении к. п. д. можно ожидать общую экономию 22–32% от стоимости двигателя, выражающуюся суммой в 4–6 млн. руб. ежегодно.

6. Предлагаемое повышение к. п. д. не повлечет за собой ломки производства, требуя в основном лишь организационных мероприятий.

7. Предлагаемая методика может быть применена не только к анализу асинхронных двигателей, но и к анализу других видов электрических машин.

В заключение автор считает долгом отметить большую помощь, оказанную при проведении этой работы проф. С. А. Кукель-Краевским и инж. И. С. Бессмертным, давшими ряд ценных указаний и материалов по расчету сетей.

Применение железных проводов в городских сетях 380/220 В

Инж. Ф. Ф. ВОРОНЦОВ

Москва

В настоящее время железные провода находят широкое применение в городских электрических сетях низкого напряжения. В условиях максимальной экономии цветных металлов внедрение железных проводов в сетевую практику с каждым годом приобретает все большее значение. Естественно, в процессе внедрения этих сетей возникают вопросы расчетного характера.

Известно, что сопротивление железных проводов зависит от тока. Точное математическое определение этой функциональной зависимости представляет большие трудности и недоступно для практического применения. Поэтому в практических расчетах широкое применение получили опытные кривые зависимости сопротивления от тока, представленные на рис. 1 для наиболее употребительных в городских сетях сечений — одножильных железных проводов диаметром 4 и 5 мм.

Указанные обстоятельства относятся, главным образом, к одножильным проводам, так как для многожильных железных проводов зависимость сопротивления от тока не имеет столь резко выраженного характера, и эту особенность железных проводов можно в необходимых случаях вообще не учитывать.

Автор сделал попытку замены опытных кривых железных проводов математическими зависимостями, что дает возможность принципиально

более правильно находить потерю напряжения в магистралях, чем в случае способа расчета, принятого в проектной практике. Кроме того, располагая математическими выражениями указанных кривых, можно более точно определять величины повторных сопротивлений заземления в городских сетях низкого напряжения.

Эмпирические формулы. На рис. 1 пунктиром нанесены параболические кривые, которые заменяют опытные кривые зависимости $z = \varphi(I)$ для железных одножильных проводов диаметром 4 и 5 мм.

Полное сопротивление подобных проводов может быть математически выражено следующей общей формулой:

$$z = (A I^2 + B I + C) l, [\Omega] \quad (1)$$

где A, B, C — постоянные коэффициенты; I — ток в амперах; l — длина провода в км.

В числовом виде получим для провода диаметром 4 мм

$$z = -0,09 \cdot I^2 + 2,05 \cdot I + 7,4 \text{ } \Omega/\text{км};$$

диаметром 5 мм

$$z = -0,062 \cdot I^2 + 1,74 \cdot I + 2,7 \text{ } \Omega/\text{км}.$$

Эти эмпирические формулы были установлены путем определения трех постоянных коэффициентов — A, B и C по заданным значениям z для

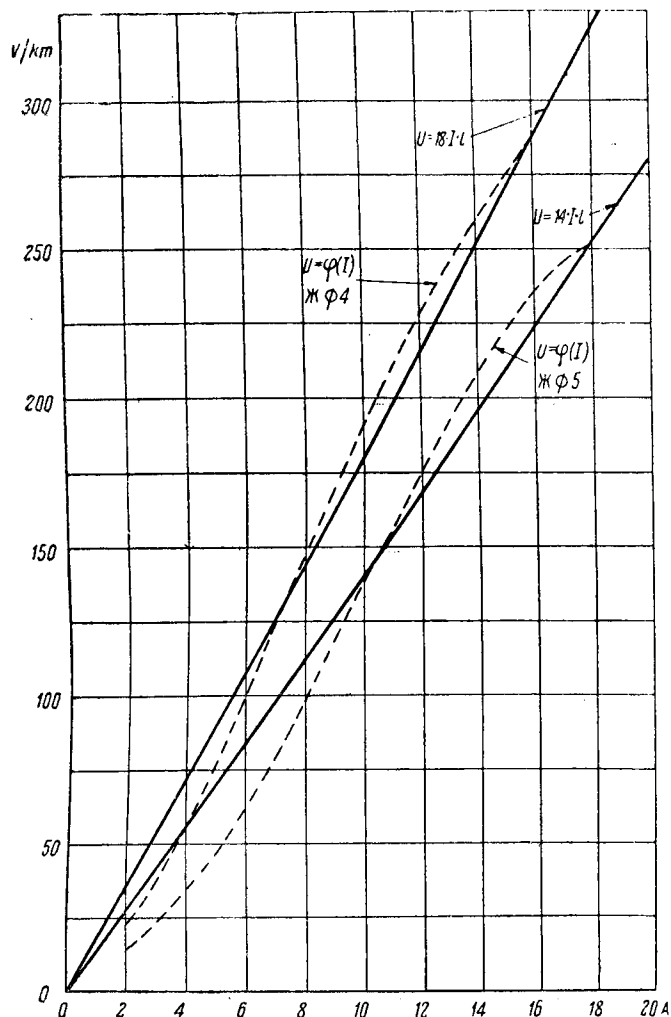


Рис. 3

метра железных проводов диаметрами 4 и 5 мм.

По кривым рис. 3 достаточно легко можно определить ток в проводе при известных напряжении и длине провода. Однако определение тока таким образом невозможно для цепей, более или менее сложных, состоящих из проводов разного сечения, или цепей с концентрированными сопротивлениями, как, например, очаги защитного или рабочего заземления и т. д.

Расчет потери напряжения. Определение величины потери напряжения (в V) в городских сетях низкого напряжения производится по формуле $\Delta U = \sqrt{3} \cdot IR \cdot 0,5$ в предположении равномерно распределенной нагрузки по длине магистрали постоянного сечения и при $\cos \varphi = 1$.

Применение этой формулы для расчета железных одножильных проводов теоретически не может быть обосновано, так как изменение тока по длине магистрали обуславливает как бы изменение удельной проводимости на каждом элементе длины провода в соответствии с функциональной зависимостью от тока. Учесть эту зависимость в формуле потери напряжения можно с помощью эмпирической формулы (1). При этом понятия потери и падения напряжения для железных одножильных проводов могут быть отождествлены ввиду незначительной индуктивности этих проводов.

Введем следующие обозначения: I — суммарный ток равномерно распределенной нагрузки в A ; I' — ток сосредоточенной нагрузки на конце маги-

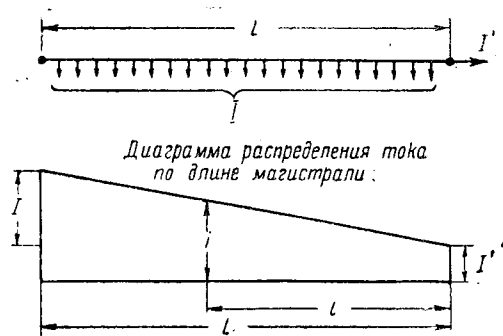


Рис. 4

страли в A ; L — длина магистрали в km (рис. 4). Ток в линии на расстоянии l от конца ее

$$i = I \frac{l}{L} + I' = I \left(\frac{l}{L} + I'_* \right),$$

где $I'_* = \frac{I'}{I}$ — относительный ток сосредоточенной нагрузки.

Общее выражение для потери напряжения в магистрали будет:

$$\Delta U = \sqrt{3} \int_0^L iz \, dl,$$

где $z = A \cdot i^2 + B \cdot i + C$ — сопротивление провода в Ω/km .

Подставляя значения i и z в формулу потери напряжения и производя интегрирование, получаем:

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot L \cdot [A \cdot I^2 (0,25 + I'_* + 1,5 I'^2_* + I'^3_*) + B \cdot I (0,33 + I'_* + I'^2_*) + C (0,5 + I'_*)].$$

Обозначив выражение, заключенное в квадратных скобках, z' , имеем:

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot ILz'.$$

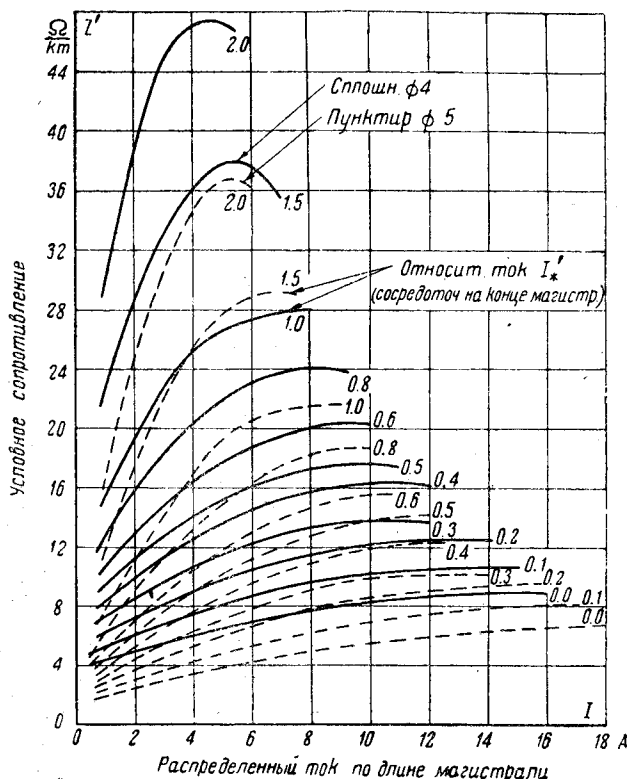


Рис. 5

Значения z' в зависимости от I и I_* представлены на рис. 5.

В табл. 1 представлена длина (в км) равномерно нагруженной магистрали, подсчитанная для железных проводов диаметрами 4 и 5 из расчета допустимой потери напряжения по выведенной формуле $L = \frac{\Delta U \% \cdot U}{\sqrt{3} \cdot I \cdot z' \cdot 100}$, а также для сравнения по формуле, принятой в расчетной практике, $L_p = \frac{\Delta U \% \cdot U \cdot 2}{\sqrt{3} \cdot I \cdot z' \cdot 100}$, при напряжении магистрали 380/220 В для разных значений тока нагрузки и процентных потерь напряжения.

Как можно видеть из таблицы, при расчете по принятой в практике формуле получается ошибка до 18—20%.

Расчеты сетей по выведенной выше уточненной формуле с помощью кривых рис. 5 не представляют каких-либо трудностей, что видно из следующего примера.

Пример 1. Определить потерю напряжения для разветвленной сети, представленной на рис. 6. Дано: $P=10 \text{ W/m}$, напряжение 380/220 В; $L=0,2 \text{ km}$, $d=5 \text{ mm}$; $L_1=0,2$, $d=4 \text{ mm}$; $L_2=0,1 \text{ km}$, $d=4 \text{ mm}$.

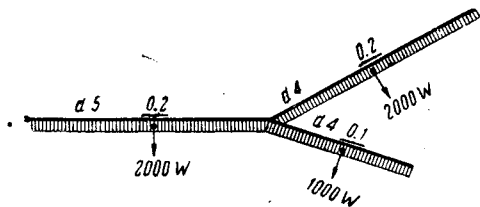


Рис. 6

Находим: $I_1 = I = \frac{10 \cdot 200}{\sqrt{3} \cdot 380} = 3 \text{ A}$; $I_2 = 1,5 \text{ A}$; $I' = 4,5$; $I_* = \frac{4,5}{3} = 1,5 \text{ A}$. Значения z' и z'_1 по кривым рис. 5 равны соответственно 22 и 5,5 Ω/km . Потеря напряжения составит:

$$\Delta U = \sqrt{3} (I \cdot L \cdot z' + I_1 \cdot L_1 \cdot z'_1) = 28,6 \text{ V}.$$

Расчет повторного заземления. Одним из основных требований безопасности в сетях 380/220 В с заземленным нулевым проводом (при занулении у потребителя) является условие кратковременности аварийного тока при замыкании фазы на нулевой провод в любой точке сети. Ток однофазного к. з. при этом должен быть равен или больше тока, плавящего предохранитель на фазе¹:

$$I_k \geq \frac{U}{\sqrt{3} \cdot z_\Sigma} = I_s,$$

где U — линейное напряжение;
 z_Σ — суммарный импеданс;
 I_s — ток выключения цепи.

В соответствии с этим при проектировании низковольтных магистралей проектиранты исходят из максимальных длин, удовлетворяющих вышеуказанным требованиям зануления. Для наиболее употребительных в городских сетях сечений железных проводов такие предельные длины приведены в табл. 2.

При сравнении предельных длин равномерно нагруженных магистралей, получаемых по допустимой потере напряжения (табл. 1), с длинами по условиям зануления (табл. 2), можно видеть, что

¹ Правила расчета и устройства защитных заземлений и занулений в установках с напряжением до 1000 В, § 38.

Таблица 1

Диаметр провода mm	$\Delta U \%$ I в А				Ошибка: $\frac{L-L_p}{L} 100\%$
		5	6	7	
4	6	0,265	0,318	0,371	0
		0,217	0,260	0,304	18,0
	10	0,134	0,161	0,188	0
		0,116	0,139	0,162	13,5
	15	0,0825	0,099	0,115	0
		0,08	0,096	0,112	3,0
	6	0,427	0,512	0,597	0
		0,352	0,422	0,493	17,5
	10	0,2	0,25	0,28	0
		0,159	0,191	0,223	20,5
	15	0,113	0,135	0,158	0
		0,099	0,118	0,138	12,0
5	18	0,091	0,109	0,128	0
		0,087	0,105	0,122	4,5

Таблица 2

Нуль Фаза	Ж Ø 4		Ж Ø 5
	Ж Ø 4	Ж Ø 5	Ж Ø 35
Ном. ток предохран. А			
6	400	450	750
10	240	270	450
15	160	180	300
20	120	140	230

в пределах 5 и 7% потерь напряжения соответственно для проводов $d=5$ и 4 mm длина по потере напряжения не превосходит предельной длины по условиям зануления.

Таким образом для указанных сечений проводов неразветвленных магистралей в пределах

принятой потери напряжения гарантируется необходимая для сгорания предохранителя величина тока к. з.

В иных условиях будет находиться разветвленная магистраль, например магистраль, представленная на рис. 7. Совершенно очевидно, что потеря напряжения в ветвях данной магистрали при длине каждой ветви в 350 м и токе в начале ветви 6 А не превосходит 5% (табл. 1). Однако по условиям зануления длина ветвей магистрали

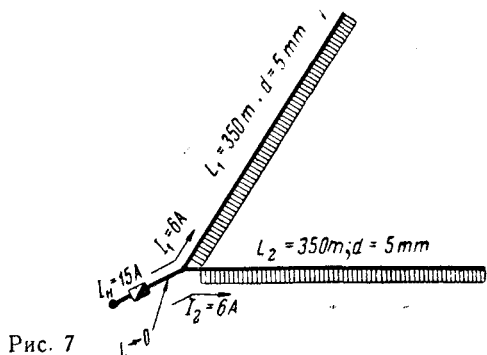


Рис. 7

не является удовлетворительной и должна быть уменьшена, так как при однофазном к. з. в конце магистрали ток будет недостаточен для перегорания предохранителя с номинальным током 15 А (табл. 2). Установка же на такой магистрали предохранителя с током 6 А, хотя и удовлетворит условиям зануления, однако поведет к недостаточному использованию проводов магистрали по потере напряжения.

Такие же явления недоиспользования сечений проводов по потере напряжения могут иметь место и для магистралей со ступенчатыми сечениями.

Если теперь учесть, что большинство магистралей в городских сетях 380/220 В являются в той или иной степени разветвленными магистралями и со ступенчатыми сечениями, то, естественно, возникает стремление выполнять требуемые Нормами условия зануления не за счет недоиспользования проводов.

Следующие практические меры способствуют выполнению необходимых условий зануления: 1) соединение нулевых проводов на концах разных магистралей; 2) устройство на конце магистрали повторного заземления. Обе меры применяются в практике сооружения городских сетей, однако эффективность их с точки зрения условий зануления, к сожалению, никогда не проверяется при составлении проектов. Поэтому, несмотря на всю серьезность вопросов безопасности в сетях 380/220 В с заземленным нулем, применение указанных мер носит чисто формальный характер.

В дополнение к этому следует сослаться также на уже отмеченные ранее трудности расчета электрических цепей с железными проводами ввиду отсутствия для подобных проводов математической зависимости $\varepsilon = \varphi(I)$.

Полученные выше эмпирические формулы для железных одножильных проводов $d=4$ и 5 мм позволяют с помощью номограммы производить достаточно точные для проектной практики приближенные расчеты необходимых сопротивлений повторных заземлений при учете соединения ну-

левых проводов магистралей. Приближенность предлагаемого способа состоит в том, что комплексные значения полных сопротивлений для проводов заменяются их модулями, что дает лишь незначительную ошибку.

Ход расчета заключается в следующем.

Исходим из необходимого условия, что ток однофазного к. з. должен быть не менее 2,5-кратной величины номинального тока предохранителя ($I_k = 2,5 \cdot I_n$; рис. 8). Зная ток и сопротивление линейного провода, находим напряжение на нулевом проводе: $U_0 = U - I_k z_1$, где U — фазовое напряжение сети.

По известному напряжению, приложенному к нулевому проводу, длине и сечению провода с помощью формулы (2) [номограмма 2] определяем ток в проводе I_0 .

Очевидно, что разность токов $I_k - I_0 = I_1$ является током, проходящим через заземленную нейтраль трансформатора т. п. рассматриваемой магистрали.

Считая, что сопротивление заземления R_1 этого т. п. известно, находим напряжение U_x , приложенное к параллельно включенным цепям из сопротивлений — повторного заземления R_x и нулевых проводов z_2, z_3 , других магистралей с заземлениями R_2 и R_3 своих т. п. Далее по напряжению U_x с помощью формулы (2), по номограмме (рис. 2) находим токи I_2 и I_3 , протекающие по нулевым проводам L_2 и L_3 . Ток в повторном заземлении

$$I_x = I_1 - (I_2 + I_3),$$

и необходимое сопротивление повторного заземления должно быть $R_x = \frac{U_x}{I_x}$.

Пример 2 (рис. 8). Требуется определить сопротивление повторного заземления R_x . Дано: номинальный ток предохранителя 10 А; сечение и длина фазового провода — Ж35; $L_1 = 1,0$ км, диаметры и длина нулевых проводов $d = 5$, $L_1 = 1,0$ км; $d = 5$, $L_2 = 0,5$; $d = 4$, $L_3 = 0,25$ км. Сопротивление заземления т. п. 1, 2 и 3 (соответственно) $R_1 = 3,5$; $R_2 = 2,0$ и $R_3 = 3,0$ Ω; напряжение сети — 380/220 В.

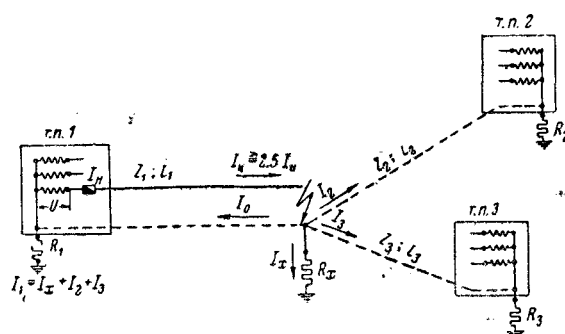


Рис. 8

Решение. $I_k = 2,5 \cdot 10 = 25$ А; $z_1 = 4,6$ Ω (Р. У. к применению железных проводов, Главэнерго, 1938):

$$U_0 = 220 - 25 \cdot 4,6 = 105 \text{ В.}$$

Для нулевого провода $L_1 = 1,0$ км номограмма дает $I_0 \approx 8,25$ А. Ток в сопротивлении R_1 , $I_1 = 16,75$ А, $U = 58,7$ В, следовательно,

$$U_x = U_2 = U_3 = 105 - 58,7 = 46,3 \text{ В.}$$

Соответственно для нулевых проводов L_2 и L_3 , находим $I_2 = 6,7$ А и $I_3 = 8,5$ А. Ток в повторном сопротивлении R_x , $I_x = 16,75 - (6,7 + 8,5) = 1,55$ А.

Необходимое сопротивление повторного заземления

$$R_x = \frac{46,8}{1,55} = 30 \Omega.$$

Зная токи в каждом из железных проводов, находим по таблицам их сопротивление и комплексным методом проверяем точность предлагаемого способа.

Имеем:

$$z_1 = 4,1 + j2,12, \text{ при токе } 25 \text{ А}$$

$$z_0 = 11,3 + j4,7 \quad . \quad . \quad . \quad 8,25 \text{ А}$$

$$z_2 = 5,5 + j2,35 \quad . \quad . \quad 6,7 \text{ А}$$

$$z_3 = 4,67 + j1,25 \quad . \quad . \quad 8,5 \text{ А}$$

Производя обычное суммирование параллельно включенных проводимостей и последовательно включенных сопротивлений, находим комплексное выражение суммарного сопротивления всей цепи: $z_2 = 8,46 + j3,037$, и модуль его будет $|z_2| = 8,985 \Omega$.

Ток к. з., проходящий по фазовому проводу, $I_k = 24,5 \text{ А}$. Ошибка по сравнению с заданным значением тока 25 А составляет около 2%, что находится в пределах точности проектных расчетов.

ПРАВИЛА и НОРМЫ

От редакции

Помещаемое ниже письмо ряда руководителей и инженеров проектно-монтажных и других организаций вновь ставит вопрос о недопустимом положении, которое создалось в области разработки и регламентации электротехнических правил и норм. Дело большой государственной важности, благодаря невниманию наркомата электростанций, наркомата электропромышленности и наркомата по строительству, и в первую очередь технических

советов этих наркоматов, в настоящее время является совершенно беспризорным, что наносит значительный ущерб народному хозяйству.

Необходимо немедленно упорядочить разработку и утверждение электротехнических правил и норм, что может быть сделано Всесоюзным комитетом стандартов при СНК СССР с активным участием наркоматов и Академии Наук СССР.

Недооценка значения электротехнических правил и норм

Проектирование, строительство и эксплуатация электротехнических сооружений сильного тока, а также производство электрических машин, аппаратов, проводов, кабелей и т. п. регулируются электротехническими правилами, нормами и стандартами. Как содержание, так и редакция этих нормативных материалов должны в наибольшей мере удовлетворять сложному комплексу требований, предъявляемых проектирующими, монтирующими и эксплуатирующими организациями, органами пожарной охраны и органами охраны труда.

Электротехнические правила и нормы регулируют, кроме того, взаимоотношения между электротехническими установками сильного тока, с одной стороны, и столь важными сооружениями как железные дороги, линии связи, водопроводы и т. п., с другой.

Все отрасли народного хозяйства и поэтому все наркоматы нуждаются в тщательно разработанных и своевременно обновляемых нормативных материалах по строительству и эксплуатации электротехнических сооружений.

Особо следует отметить, что строительства районных, заводских, коммунальных и сельскохозяйственных электрических сетей всякого рода являются одними из главнейших потребителей цветных металлов (расходуются десятки тысяч тонн меди и алюминия). Поэтому электротехнические правила и нормы могут и должны служить мощным рычагом для достижения экономии цветных металлов.

Только недооценкой значения электротехнических правил и норм можно объяснить то тяжелое поло-

жение, в котором это дело находится в настоящее время.

Начиная с 1920 г. и приблизительно до 1933 г., разработка электротехнических правил и норм была сосредоточена в Центральном электротехническом совете (ЦЭС) при Главэлектро, а впоследствии — при Главэнерго.

После расформирования ЦЭС дело электротехнического нормирования в некоторой (существенной) части потерпело ухудшение, главным образом, из-за отсутствия четких организационных форм, регулирующих разработку электротехнических правил и норм и стандартов. Отсутствие законодательного регламентирования в годы существования ЦЭС в значительной степени восполнялось традицией, по которой все нормативные материалы, относящиеся к электротехнике сильных токов, каким бы наркоматом они ни разрабатывались, как правило, направлялись в ЦЭС. После расформирования ЦЭС некоторые наркоматы начали издавать правила самостоятельно.

Подобные материалы не могут стоять на достаточно высоком уровне, так как в поле зрения отдельных наркоматов находится лишь тот или иной круг энергетических вопросов. Например, даже такой основной энергетический наркомат, как наркомат электростанций СССР, имеет в своем поле зрения, главным образом, лишь районные электростанции и сети, но от него дальше отстоят вопросы электроснабжения промышленных предприятий. Между тем по своей значимости они по меньшей мере не уступают вопросам, входящим в круг деятельности наркомата электростанций.

Электротехнические правила должны быть едиными. Совершенно недопустимо, чтобы нормативные материалы, выпускаемые различными ведомствами по одним и тем же вопросам, разнились между собой.

Однако объединяющего органа пока не существует, твердой регламентации порядка разработки и утверждения электротехнических правил и норм также не существует, и это приводит к весьма печальным последствиям.

Для того, чтобы не оставаться голословными, приведем примеры:

1. Еще в 1928 г. было приступлено к разработке правил по устройству заземлений в установках низкого напряжения. Первая редакция проекта этих «Правил» появилась в журнале «Электричество» № 1—2 за 1929 г. Редакция проекта много раз менялась. До сих пор утвержденных правил по этому вопросу у нас нет.

2. Общеизвестно, в какой мере устарели действующие в настоящее время «Правила устройства электротехнических сооружений сильного тока», которые утверждались IX электротехническим съездом больше десяти лет назад. Переработка их длится уже несколько лет, а утвержденных «Правил» у нас нет.

В самое последнее время вопрос об электротехнических правилах еще более осложнился тем, что «Правила устройства электротехнических сооружений» и «Правила для устройства заземлений» попали на утверждение в отдел охраны труда ВЦСПС.

Само собой разумеется, что необходимость самого строгого и действенного контроля со стороны высших профсоюзных органов над всеми правилами, касающимися в той или иной мере вопросов безопасности, не подлежит никакому сомнению.

Однако вряд ли правильно будет передавать на утверждение ВЦСПС, например, нормы строительного проектирования, хотя большое число этих норм к вопросам безопасности могут иметь и имеют не меньшее отношение, чем вопросы электротехнического проектирования, затрагиваемые правилами ВЭС.

Неправильно направлять в ВЦСПС на утверждение также столь специальные вопросы, как правила устройства заземлений.

В подобных правилах вопросы техники безопасности тесно переплетены с вопросами капитальных затрат, экономии цветных металлов, удобства и надежности эксплуатации. Объединить нередко противоречивые требования в общий комплекс, учитывающий как требования безопасности, так и ряд других требований первостепенной важности, под силу лишь авторитетной организации, объединяющей всю работу электротехнического нормирования в целом.

Неясность вопроса о порядке разработки правил и норм привела к тому, что отдел охраны труда ВЦСПС, получив еще 2 августа 1940 г. объединенный отзыв «Главэлектромонтажа» и самый проект

«Правил устройства электротехнических сооружений», до сих пор не созвал представителей заинтересованных ведомств для рассмотрения как этого отзыва, так и отзывов других организаций. Между тем всякая работа над проектом правил, производимая в отрыве от проектно-монтажных организаций, не приближает, а отдаляет срок их утверждения, при условии, разумеется, что такое утверждение будет произведено лишь после надлежащего согласования. Если же такого согласования не будет, то неизбежны большие затруднения в применении новых правил и общее ухудшение технических и экономических показателей проектируемых сооружений.

Мы полагаем, что вопросы разработки правил и норм для проектирования и монтажа электротехнических сооружений, с одной стороны, и вопросы стандартизации продукции электротехнических заводов, с другой, — не следует разделять. Они должны быть поручены высокоавторитетной междоуведомственной электротехнической организации и такой организацией должна быть электротехническая секция Всесоюзного комитета стандартов при СНК СССР.

Мы обращаемся к наркомату электростанций СССР, наркомату электропромышленности СССР и наркомату по строительству, как к наркоматам наиболее заинтересованным, а также ко Всесоюзному комитету стандартов при СНК СССР со следующим вопросом.

Что делается ими для того, чтобы, наконец урегулировать находящийся в течение ряда лет в совершенно неудовлетворительном состоянии вопрос о порядке разработки и утверждения электротехнических правил и норм?

Время не терпит.

- И. Л. Людмирский, нач. Московской проектной конторы «Центроэлектромонтажа» (ЦЭМ).
- Я. М. Большам, гл. инж. Московской проектной конторы ЦЭМ.
- Л. П. Подольский, нач. бюро стандартов Московской проектной конторы ЦЭМ.
- К. В. Урнов, доц. Московского энергетического института им. Молотова.
- М. Якубович, нач. технического отдела Московской проектной конторы ЦЭМ.
- В. А. Левигуревич, и. о. гл. инж. светотехнического отдела Московской проектной конторы ЦЭМ.
- А. М. Розенталь, гл. инж. металлургического отдела Московской проектной конторы ЦЭМ.
- Л. Б. Гейлер, инж.-консульт. Московской проектной конторы ЦЭМ.
- А. Н. Ларионов, проф., д-р техн. наук.
- И. И. Петров, зав. кафедрой ЭПП ВЗИИ.
- И. М. Спектор, нач. бюро асинхронных машин Харьковского электромеханического завода им. Сталина.
- М. Залышкин, гл. электрик Московского отделения «Теплоэлектропроекта».
- А. И. Бухштаб, гл. инж. Московской проектной конторы ЦЭМ.
- Л. И. Двоскин, зам. гл. электрика «Теплоэлектропроекта».

Четырнадцатая глава „Правил технической эксплуатации электрических станций и сетей“

„Несмотря на улучшение в 1940 году в работе электростанций, на электростанциях и особенно в электросетях имеет место все еще большое количество аварий, вследствие расхлябанности технического персонала и несоблюдения правил технической эксплуатации“.

Из резолюции по докладу тов. Маленкова, принятой XVIII Всесоюзной конференцией ВКП(б).

Канд. техн. наук М. И. ЗЕМЛЯНОЙ

Всесоюзный электротехнический институт

Четкая и бесперебойная эксплуатация электрических станций, будучи всегда трудно переоценимым фактором правильной и налаженной работы нашей промышленности и всего народного хозяйства в целом, приобретает громадное значение в настоящий момент. Несомненно, внедрение и серьезная проработка «Правил технической эксплуатации электрических станций и сетей» не только даст улучшение работы электростанций и сетей в отношении их экономичности, четкости и слаженности в работе, но и послужит серьезным рычагом в деле достижения безаварийной эксплуатации.

В «Правилах» всесторонне отражено сложное энергетическое хозяйство и каждая глава их посвящена определенной области работы электростанций и сетей.

Глава четырнадцатая «Правил» — одна из основных по своей значимости. Она посвящена основному оборудованию по производству электроэнергии — генераторам. Этой главой начинается третий раздел «Правил» — «Производство и распределение электрической энергии». В главе рассмотрены общие положения, эксплуатация и ремонт генераторов.

Параграф 466 «Правил» указывает: «Генераторы должны быть оборудованы релейными защитными устройствами и автоматами гашения поля в соответствии с «Руководящими указаниями по релейной защите», а также регуляторами напряжения».

Выполнение указаний этого параграфа имеет весьма важное значение в деле постановки правильной и безаварийной работы генераторов.

Действительно, многие генераторы не имеют еще защитных устройств, полностью удовлетворяющих «Руководящим указаниям по защите»: нет быстродействующей защиты от внутренних повреждений, защита от замыкания на землю не защищает достаточного количества витков, не везде еще чувствительность защиты правильно отрегулирована.

На многих генераторах автоматы гашения поля не отвечают полностью своему назначению. Встречаются устаревшие схемы гашения поля (схема АЕГ, колебательная схема Рюденаберга и т. п.), которые нельзя признать достаточно надежными. Согласно проведенным испытаниям на ряде генераторов больших мощностей гашение поля имеет длительность порядка 12—14 сек, что ни в коей мере не может быть признано удовлетворительным, так как правильно работающие автоматы должны гасить поле в течение 6—8 сек.

На ряде генераторов имеются еще схемы гашения с разрывом цепи ротора без закорачивания его на разрядное сопротивление. При этой схеме гашения наблюдается большой подъем напряжения на кольцах ротора, что, безусловно, отзывается на

электрической прочности обмотки ротора. Все эти вопросы должны быть рассмотрены, и аппаратуру необходимо привести в соответствие с требованиями «Руководящих указаний по релейной защите».

Требование «Правил» об установке на генераторах автоматических регуляторов напряжения является также весьма важным. Наличие регуляторов обеспечивает более устойчивую работу электросистем, особенно при посадках напряжения при аварийных режимах.

Параграф 467: «Генераторы с замкнутой системой охлаждения должны иметь один из следующих видов противопожарной защиты: а) автоматический ввод углекислого газа в систему охлаждения, б) неавтоматический (от руки) ввод пара в систему охлаждения. Генераторы с проточной системой охлаждения должны иметь на входе и выходе воздуха закрывающиеся заслонки с ручным приводом, выведенным на площадку обслуживания. Кроме того, в машинном зале должны быть сухие огнетушители».

До сих пор целый ряд генераторов не имеет никакой противопожарной защиты.

Практика эксплуатации показывает, что отсутствие противопожарных установок приводит к развиту и увеличению длительности пожаров на генераторах. В частности, на генераторах с проточной системой вентиляции имели место случаи, когда вследствие неплотного закрытия заслонок на входе и выходе воздуха пожар не мог быть быстро ликвидирован. Впредь до выпуска углекислотных противопожарных установок нашими заводами необходимо все генераторы оборудовать противопожарной защитой путем ввода пара в генератор. Давление выпускаемого пара не должно превышать 0,1 ат, чтобы исключить возможность разрыва обшивки генератора. В эксплуатации наблюдались срывы двери камеры охлаждающего устройства вследствие повышенного давления в генераторе (от вольтовой дуги), что приводило к усилению притока воздуха и развитию пожара. «Теплоэлектропроект» при разработке противопожарных установок на генераторах должен учесть возможность таких аварий и совместно с заводом «Электросила» разработать необходимые мероприятия.

Параграф 468 «Правил» четко устанавливает требуемое количество приборов на щите и в машинном зале для контроля за работой генератора.

«Правила» требуют установки вольтметра для измерения изоляции цепи возбуждения. Выполнение этого требования является весьма существенным, так как дает возможность эксплуатации следить за величиной сопротивления изоляции возбуждения. Для этого вольтметр включается по схеме, позволяющей измерять полное напряжение цепи

возбуждения и напряжение между каждым из полюсов и землей. Измерив эти напряжения и зная величину внутреннего сопротивления вольтметра, можно вычислить величину сопротивления изоляции. Своевременное наблюдение за состоянием и изменением изоляции цепи возбуждения позволит во время принять профилактические меры в случае ухудшения этой изоляции.

Параграф 469: «Для наблюдения за температурой железа и обмотки статора генераторы, имеющие заложённые термомпары или термометры сопротивления, должны быть оборудованы соответствующей контрольно-измерительной установкой».

На большинстве генераторов тепловой контроль генераторов поставлен неудовлетворительно. Ряд генераторов вообще не имеет контрольных термомпар на железе и обмотке статора. Часто термомпары находятся в нерабочем состоянии: не выведены концы, нет заземления термомпар и градуировочных кривых, неправильно выбрано положение установочных холодных концов термомпар (в подогретом воздухе) и т. п.

Измерительные приборы для термомпар и термодетекторов (гальванометры и логометры), как правило, имеют весьма малую чувствительность и показания их обычно не выходят за пределы $\frac{1}{4}$ или $\frac{1}{3}$ шкалы. Кроме этого, эти приборы редко проверяются и часто дают большую погрешность показаний.

Выполнению требований этого параграфа должно быть уделено особое внимание. Правильно налаженный тепловой контроль генератора дает возможность наиболее эффективно и в то же время наиболее надежно эксплуатировать генератор. Необходимо на всех генераторах, снабженных термодетекторами, привести их в исправное состояние и проверить градуировку, проверить, а в некоторых случаях заменить измерительные приборы, проверить состояние изоляции термомпар.

Проверку изоляции термомпар следует производить индуктором на 250 В, что вполне достаточно. Проверка изоляции индуктором на 1000 В в машинах, уже находившихся определенное число лет в эксплуатации, может привести к пробоем или ослаблению изоляции термомпар, тем более нежелательному, что проверка термомпар на старых машинах индуктором 1000 В не вызывается необходимостью.

Параграф 470 предъявляет весьма важное требование в отношении резервного возбуждения генераторов. В последнее время выявилось, что одним из слабых мест генераторного агрегата являются возбудители, которые вследствие ли заводских дефектов (недоброкачественная пайка петушков, разрыв бандажа, выпадение клиньев обмотки якоря и т. п.) или неудовлетворительной эксплуатации (расстройство щеточного аппарата; несоответствующий сорт щеток, сработанность коллектора и т. п.) выходят часто из строя.

Отсутствие на ряде станций схемы резервного возбуждения, которая позволила бы при аварии с возбудителем генератора или временных расстройствах его работы быстро перевести питание возбуждения генератора от резервного мотор-генератора, приводило к значительной задержке аварии, большим простоям машин и значительному недоотпуску электроэнергии. Однако и на тех станциях, где резервное возбуждение имеется, часто мощность мотор-генератора не соответствует необходимой мощности возбуждения генераторов, и во многих

случаях и при наличии резервного возбуждения генераторы не могут быть нагружены полностью.

Раздел «Правил», касающийся эксплуатации генераторов, дает только общие основные указания. Эксплуатация генераторов, как это и указано в параграфе 471, должна вестись в соответствии с типовой «Инструкцией по эксплуатации и ревизии генераторов», которая должна быть срочно пересмотрена и утверждена. Следует отметить, что Технический совет Наркомата электростанций проявляет недопустимую медлительность в пересмотре и утверждении типовых инструкций, упомянутых в «Правилах».

Параграф 472 требует, чтобы каждый генератор после монтажа или длительного ремонта (остановки) был обязательно просушен. Как показала практика, для крупных турбогенераторов с замкнутой системой вентиляции обычно применяется способ сушки вентиляционными потерями. Для генераторов, имеющих еще проточную систему вентиляции, сушка обычно производится при трехфазном к. з.

Параграф 473 четко предписывает объем измерений и проверок перед вводом в эксплуатацию генератора после монтажа или капитального ремонта.

«Перед пуском в эксплуатацию вновь установленного или вышедшего из капитального ремонта генератора должны быть произведены следующие осмотры и испытания: а) осмотр и замер сопротивления изоляции цепи первичной коммутации; б) осмотр схемы и замер сопротивлений изоляции цепей вторичной коммутации; в) измерение сопротивления изоляции обмоток статора и ротора и цепей возбуждения; г) осмотр и проверка системы охлаждения и противопожарной защиты генератора; д) измерение омических сопротивлений ротора и каждой фазы статора; е) замер зазоров между железного пространства генератора (производится в процессе ремонта); ж) проверка работы приводов выключателей, разъединителей и автомата гашения поля; з) проверка исправности дистанционного регулирования нагрузки и командного аппарата; и) проверка измерительных приборов и схемы синхронизации; к) испытание релейной защиты и проверка схемы гашения поля; л) снятие характеристик к. з. и холостого хода; м) испытание электрической прочности изоляции обмоток генератора (после монтажа или полной либо частичной перемотки); н) испытание и настройка регулятора напряжения; о) замер сопротивления изоляции подшипников генератора».

Измерение сопротивления изоляции цепей первичной и вторичной коммутации, а также сопротивлений изоляции обмоток статора и ротора имеет важное значение для определения пригодности этих обмоток к работе. Необходимо при этих измерениях производить также замер температуры окружающего воздуха (что при достаточном времени остановки генератора является и температурой обмоток), чтобы иметь возможность при последующих измерениях сравнивать состояние изоляции этих обмоток.

Систематическое измерение и запись сопротивлений изоляции и диэлектрических потерь обмоток генератора позволяет следить за измерением и дает возможность принимать профилактические мероприятия в случае понижения ее.

Необходим также замер омического сопротивления обмотки ротора в холодном состоянии для определения нагрева этой обмотки в эксплуатации

(по методу вольтамперметра во время работы генератора).

Систематическое измерение омических сопротивлений отдельных фаз обмотки статора позволяет следить за состоянием паек лобовых частей обмотки статора. В практике эксплуатации генераторов случались аварии вследствие возрастания сопротивлений паек и увеличением в результате этого нагрева и повреждения изоляции в этих местах.

В параграфах 474—478 даются основные указания в отношении режимов работы генераторов. В «Правилах» даны только общие указания о допустимых режимах работы генераторов. Более детальные указания должны содержаться в инструкциях по эксплуатации. Для определения длительно допустимых в эксплуатации токов статора и ротора при различных температурах охлаждающего воздуха, а также для определения режимов работы при отклонении напряжения или коэффициента мощности от номинального должны быть проведены специальные испытания генераторов. На основе испытаний устанавливаются, по согласованию с заводом, допустимые режимы каждого генератора. Проведение этих испытаний является весьма важным мероприятием, позволяющим вести эксплуатацию с наибольшей надежностью и экономичностью.

В параграфах 479 и 480 приводятся указания о проведении эксплуатационных и приемных испытаний с генераторами.

Объем этих испытаний должен быть определен «Руководящими указаниями по испытанию генераторов».

В параграфах 481 и 482 приводятся указания о допустимых величинах сопротивлений изоляции обмоток генератора. Согласно ОСТ 20020 величина сопротивления изоляции ($M\Omega$) в горячем состоянии должна быть не меньше

$$R = \frac{U}{1000 - \frac{kVA}{1000}},$$

где U — номинальное междуфазовое напряжение в вольтах; kVA — номинальная кажущаяся мощность генератора в киловольтамперах.

Указанная формула выражает зависимость сопротивления изоляции обмоток от мощности (величины) машины. Для статорных обмоток величина сопротивления изоляции практически обычно превышает величину, определенную по формуле, и в «Правилах» поэтому правильно указывается, что сопротивление изоляции обмоток статора в горячем состоянии должно быть порядка 15—20 $M\Omega$. Пуск генератора, имеющего сопротивление изоляции обмотки статора (без кабелей) ниже 1 $M\Omega/kV$ его номинального напряжения не допускается. Измерения изоляции статора производятся мегге-

ром на 1000—2000 V, ротора — меггером на 250—500 V, в зависимости от напряжения возбуждения (не выше двойного номинального напряжения ротора).

Параграф 485: «При замыкании на землю обмотки ротора генератора последний должен быть выведен в ремонт при первой возможности. До вывода в ремонт должны быть определены характер и место повреждения, и в случае устойчивого металлического замыкания на землю должна быть включена защита от двойных замыканий на землю согласно «Руководящим указаниям по релейной защите».

Указания этого параграфа имеют важное значение, так как в практике эксплуатации имели место случаи, когда роторы с заземлением работали продолжительное время (до 3 лет) и за это время не были предприняты меры по устранению этих заземлений. В конечном итоге роторы терпели тяжелые аварии вследствие второго заземления, и турбогенераторы выводились из строя на продолжительное время.

В параграфе 489 указывается, что синхронизация и включение генераторов на параллельную работу производится дежурным электротехником в присутствии дежурного инженера.

Ранее синхронизацию имел право производить и дежурный щитовой. Повышение ответственности при синхронизации является правильным, так как в практике эксплуатации имел место ряд случаев несинхронного включения генераторов (в некоторых случаях с повреждением оборудования). Необходимо на всех генераторах установить защиту от неправильного включения при синхронизации.

Параграф 490, помимо обычного осмотра генератора не реже двух раз в смену, предписывает производить также немедленный осмотр генератора после каждого внешнего к. з. При этом осмотре необходимо обращать особое внимание на состояние лобовых частей обмотки и креплений, а в генераторах фирмы AEG — на состояние проволочных бандажей ротора, в генераторах Бергмана — на шпоночные кольца. Такие же осмотры должны производиться и после каждого несинхронного включения генератора.

В параграфах 492 и 493 указываются сроки капитальных и текущих ремонтов генераторов, а также сроки выемки ротора для различных типов генераторов. Детальные указания по ремонту генераторов применительно для каждого отдельного типа генератора. Изучение и точное соблюдение эксплуатационным персоналом указаний «Правил», несомненно, даст улучшение работы электростанций и послужит рычагом в деле достижения надежности и безаварийной работы генераторов.

Параметры молнии и расчет волны тока прямого удара

Д-р техн. наук И. С. СТЕКОЛЬНИКОВ

Энергетический институт Академии наук СССР

Дальнейшее развитие исследований, проводимых лабораторией по изучению молнии Энергетического института Академии наук (ЭНИН), позволило получить ряд новых материалов по характеристикам грозных разрядов на территории СССР и притти некоторым обобщениям, поднимающим вопросы механизма явления разряда на новую ступень.

Материальной базой экспериментальных исследований, как и в предыдущих работах Академии наук, являлись ферромагнитные регистраторы, измерители максимальной крутизны токовых волн и кидонографические станции. Специальные экспедиции были предприняты в горные районы. Помимо этого, лабораторией использовались данные сети метеорологических станций гидрометслужбы, снабженных инструкцией по наблюдениям за грозами, разработанной в ЭНИН.

Экспериментальные данные. Магнитозапись. В результате интенсивного внедрения метода магнитозаписи (число регистраторов, установленных энергообъединениями в 1940 г. достигло 120 000) удалось произвести свыше 680 замеров амплитудных значений токов молнии в опорах линии электропередач и молниеотводах. Эти замеры относятся к 540 отдельным грозным разрядам¹.

В настоящее время стали известны результаты измерений токов молнии, произведенных в различных странах. В подавляющем числе случаев токи молнии измерялись в опорах линий электропередач, имеющих трос. В этом случае при поражении линии грозным разрядом происходит растекание тока по ряду опор, и для определения тока в канале молнии пользуются суммированием замеренных в отдельных опорах токов.

Такой метод подсчета не может быть признан удовлетворительным, так как, пользуясь им, можно получить величины токов в канале молнии, существенно отличающиеся от истинных значений. Однако в данном случае приходится прибегнуть к использованию как к единственному способу сопоставления материалов различных авторов.

По данным различных исследований (включая работы ЭНИН) с нижним пределом измерения 2—5 кА общее число регистраций токов вышеуказанным методом до 1939 г. составляло 1498.

Наибольшая наблюдаемая амплитуда тока равнялась 230 кА и была измерена лишь один раз. Этот единичный замер составляет 0,06% от всего числа разрядов и не может быть положен в основу массовых расчетов по грозоупорности. Ток с амплитудой $I_m = 200$ кА встречается в 0,3% случаев, а ток $I_m = 150$ кА — в 1,1% случаев. Значение тока 200 кА рекомендовано ЭНИН для расчетов, связанных с проектированием грозоупорных сооружений. Следует указать, что один или даже несколько замеров тока с амплитудой, превышающей 230 кА,

на фоне 1500 регистраций, сделанных на протяжении 6—7 лет, не может иметь сколько-нибудь существенного практического значения. Можно считать даже, что амплитуда тока свыше 250 кА если и возможна, то лишь в исключительных случаях.

Крутизна токовых волн. Начавшееся широкое внедрение метода измерения максимальной крутизны токовых волн (методом рамки и статического кидонографа²) дало возможность сделать в 1939 и 1940 гг. 72 замера крутизны, относящиеся к 92 импульсам. Такое количество замеров сделано впервые и оно может служить основным материалом для установления важнейшего параметра молнии при разработке методики расчетов по грозозащите.

73% разрядов имели токи ниже предела регистрации магнитозаписи. 39% импульсов имели положительную полярность, остальные — отрицательную; такого же порядка соотношение разрядов различной полярности было получено и методом магнитозаписи. На рис. 1 приведена кривая вероятности крутизны тока молнии в опорах и молниеотводах, превышающей значение, указываемое ординатой. Судя по форме кривой, можно считать, что максимальная крутизна токов молнии в опорах близка к величине 50 кА/мкс. Эта величина рекомендована ЭНИН для руководства по грозозащите промышленных и других сооружений.

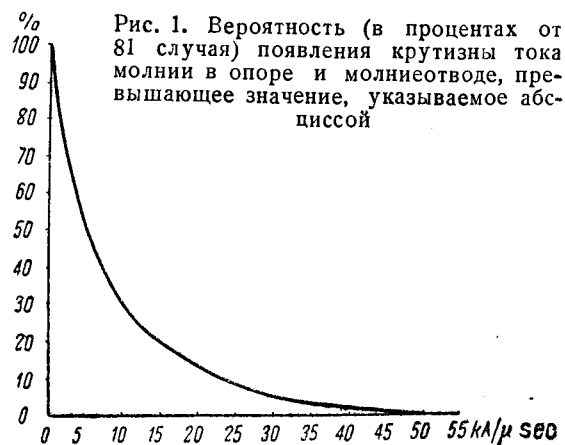
Важное значение имеет вопрос о возможности существования однозначной связи между крутизной тока молнии и его амплитудным значением. Имеющийся по этому вопросу экспериментальный материал показывает, что одно и то же значение k может иметь место при I_m , равном 2,5 и 70 кА. При этом большинство замеров относилось к токам, меньшим 5 кА.

Таким образом экспериментом пока не выявлена какая-либо однозначная связь $k = f(I_m)$. С физической точки зрения существование больших значений k при малых токах может быть объяснено следующим образом: при развитии процесса разряда, в цепи которого имеется большое сопротивление (например обусловленное плохой проводимостью грунта), величина тока ограничивается, а роль самоиндукции, уменьшающей крутизну, снижается, и, следовательно, создаются условия для большой крутизны тока молнии.

Структура разряда. В части оптических исследований молнии значительный материал был получен экспедицией, работавшей в Азербайджане (начальник экспедиции А. С. Ализаде). Всего удалось заснять 53 разряда, 48 из них, допускающих ту или иную степень обработки, состоят из 156 импульсов. Распределение числа импульсов в разрядах иллюстрируются графиком, изображенным на рис. 2.

¹ Работа проводилась инж. А. А. Ламдоном.

² Работа проводилась инж. В. С. Комельковым.



Среднее число импульсов в одном разряде равно $\frac{156}{48} = 3,2$. Это значение совпадает с результатом киднографических регистраций (по 3060 импульсам), проведенных в различных районах СССР.

Из 156 импульсов лишь у 16 фотокамеры зафиксировали лидерные процессы у повторных импульсов. У первых импульсов лидер оптическим путем не удалось зафиксировать. Однако существование его не вызывает в настоящее время никаких сомнений, тот же факт, что он не оставил следа на фотографических снимках, может быть объяснен лишь недостаточно ярким свечением его.

Характерный вид многоимпульсного разряда, полученного на быстро вращающемся барабане многоскоростной и многолинзовой камеры, изображен на рис. 3. Анализ этих разрядов приводит к заключению, что интенсивность лидера и его средняя скорость (v) не определяются только лишь интервалом времени T между ним и предшествующим импульсом разряда, но также и интенсивностью канала предыдущего импульса.

На развитие лидера оказывает влияние состояние разряжающегося объема тучи, а именно величины его заряда и потенциала.

Первый импульс разряда характерно отличается от последующих своей ветвистостью, и при этом ветвистость его не связана с числом импульсов в разряде. Ветвистость канала указывает на большую емкость лидерного образования первого импульса, чем это дает расчет для цилиндрического канала без разветвлений.

На рис. 4 дана кривая, показывающая процентное распределение времени прорастания лидеров повторных импульсов и лидеров первых импульсов (полученных из осциллограмм, записанных в Бакурианской экспедиции 1939 г.). Как видно, в 50%

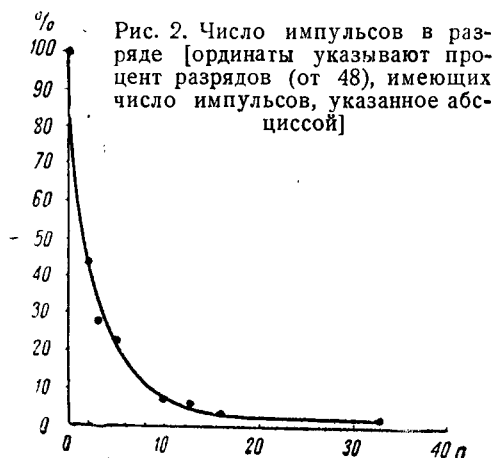


Рис. 2. Число импульсов в разряде [ординаты указывают процент разрядов (от 48), имеющих число импульсов, указанное абсциссой]

случаев повторные лидеры образуются за время t_{11} равное приблизительно $250 \mu \text{sec}$, а лидеры первых импульсов — за время $t_{11} = 60 \cdot 10^3 \mu \text{sec}$. 240-кратная разница между t_{11} и t_{11} подчеркивает влияние на скорость продвижения лидеров повторных импульсов ионизации, созданной предыдущими импульсами.

Распределение гроз. Наряду с измерениями параметров грозовых разрядов лабораторией были начаты работы по уточнению карт распределения гроз по территории СССР.

В отличие от того, что ранее было принято вести регистрацию лишь числа гроз-дней, рассмат-

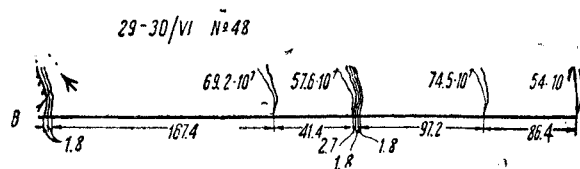


Рис. 3. Стилизованный вид 10-импульсного разряда, снятого быстро вращающейся фотокамерой

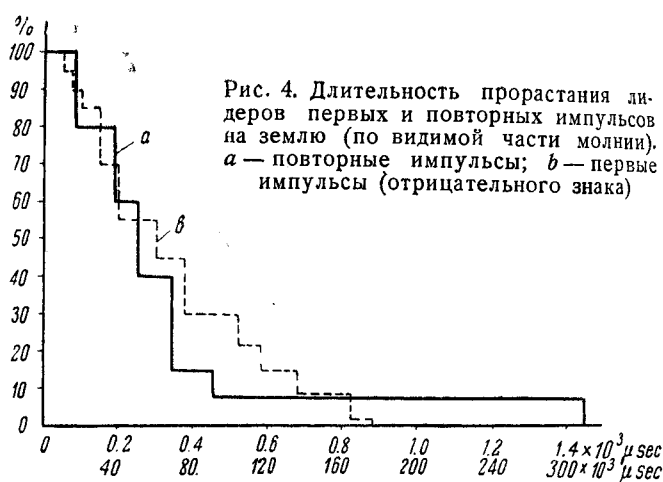


Рис. 4. Длительность прорастания лидеров первых и повторных импульсов на землю (по видимой части молнии). a — повторные импульсы; b — первые импульсы (отрицательного знака)

риваемых как единственный показатель грозовой деятельности, метеорологические станции, расположенные на изучаемой территории, систематизировали грозы по ряду характеристик: число близких и дальних гроз, длительность грозы, число разрядов между тучами и на землю, вид разрядов и пр.

Основанием для проведения этих наблюдений послужила разработанная лабораторией совместно с гидрометеослужбой специальная инструкция. В результате работы 118 метеостанций за 1939 г. удалось получить материал, по которому были построены некоторые новые виды карты.

На рис. 5 приведена карта распределения продолжительности близких гроз в часах за июнь — август 1939 г. на площади около 10^6 km^2 , а на рис. 6 — карта распределения процентной доли разрядов на землю при близких грозах в 1939 г. (Материалы обработаны А. А. Кузьминым). Полученные материалы являются основой для пересмотра существующей грозовой карты и выявления закономерности перемещения гроз.

В 1940 г. аналогичная работа по визуальному наблюдению за грозами значительно расширена и проводится метеостанциями в различных районах Союза.

Анализ вопроса о расчете формулы токовой волны прямого удара. В литературе известен ряд методов определения формы волны тока,

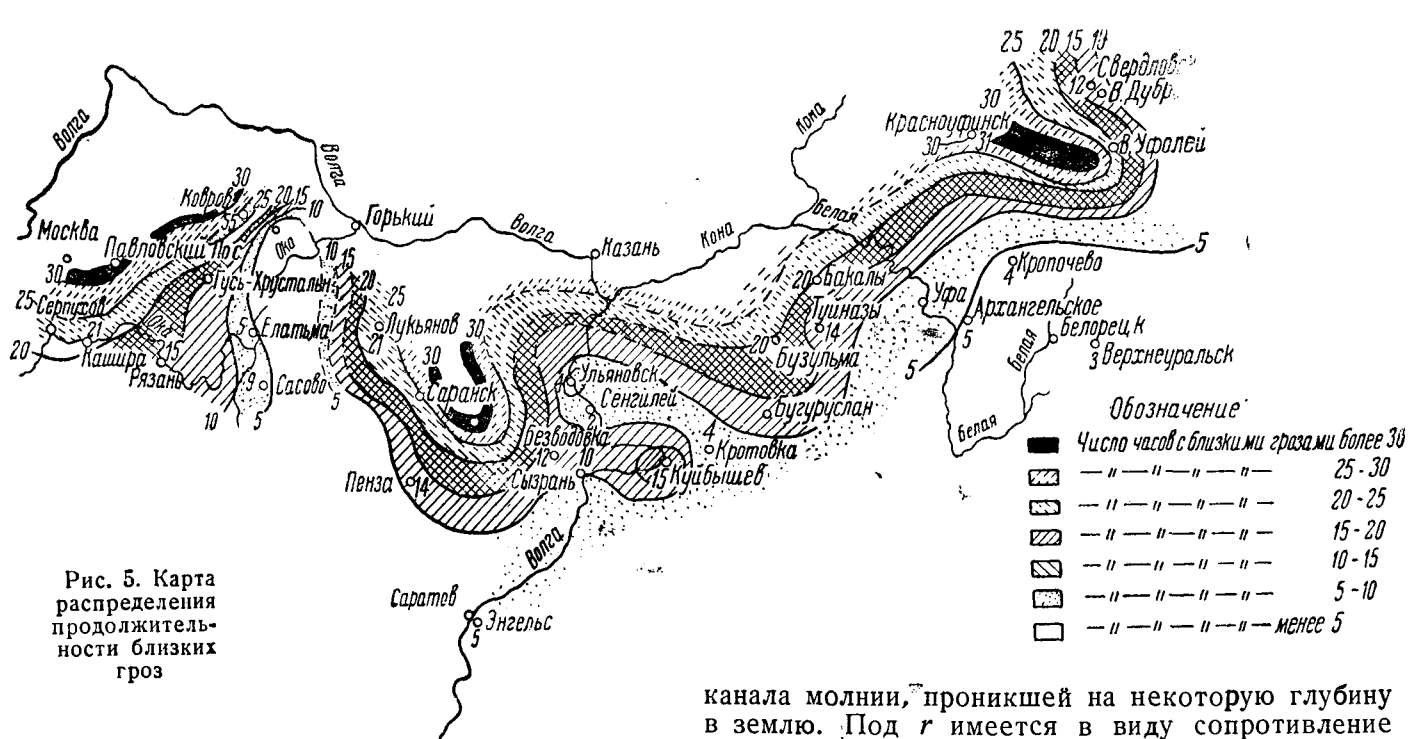


Рис. 5. Карта распределения продолжительности близких гроз

возникающей при прямом ударе молнии в землю, предложенных различными авторами. Базой таких расчетов является схема замещения процесса разряда, трактованного весьма различно.

Схема Рюденберга. Одной из первых схем замещения процесса развития грозового разряда была схема (рис. 7), описанная Рюденбергом, согласно которой молния являлась результатом разряда конденсатора с обкладками — туча и земля — на самоиндукцию и сопротивление проводящего канала, возникшего между электродами.

Определение величин L и C производится на основании подсчета запаса электростатической и электромагнитной энергии в объеме, образованном пластинами диаметром D , находящимися друг от друга на расстоянии a . Величина R определяется как сопротивление растекания цилиндрического

канала молнии, проникшей на некоторую глубину в землю. Под r имеется в виду сопротивление излучения канала, которое суммируется с величиной R .

Определение формы волны ведется из условия квазистационарного процесса разряда конденсатора на R и L . Характер разряда (апериодический или колебательный) определяется отношением $\frac{R+r}{2\sqrt{\frac{L}{C}}}$.

На квазистационарный процесс разряда в его начальной стадии накладывается затухающий волновой процесс, вызванный повторным пробегом разрядной волны заряженного канала молнии в момент $t=0$, вошедшей в соприкосновение с землей. Начальная стадия характеризуется процессом, при котором пробой промежутка F вызывает контакт между заряженным до потенциала E

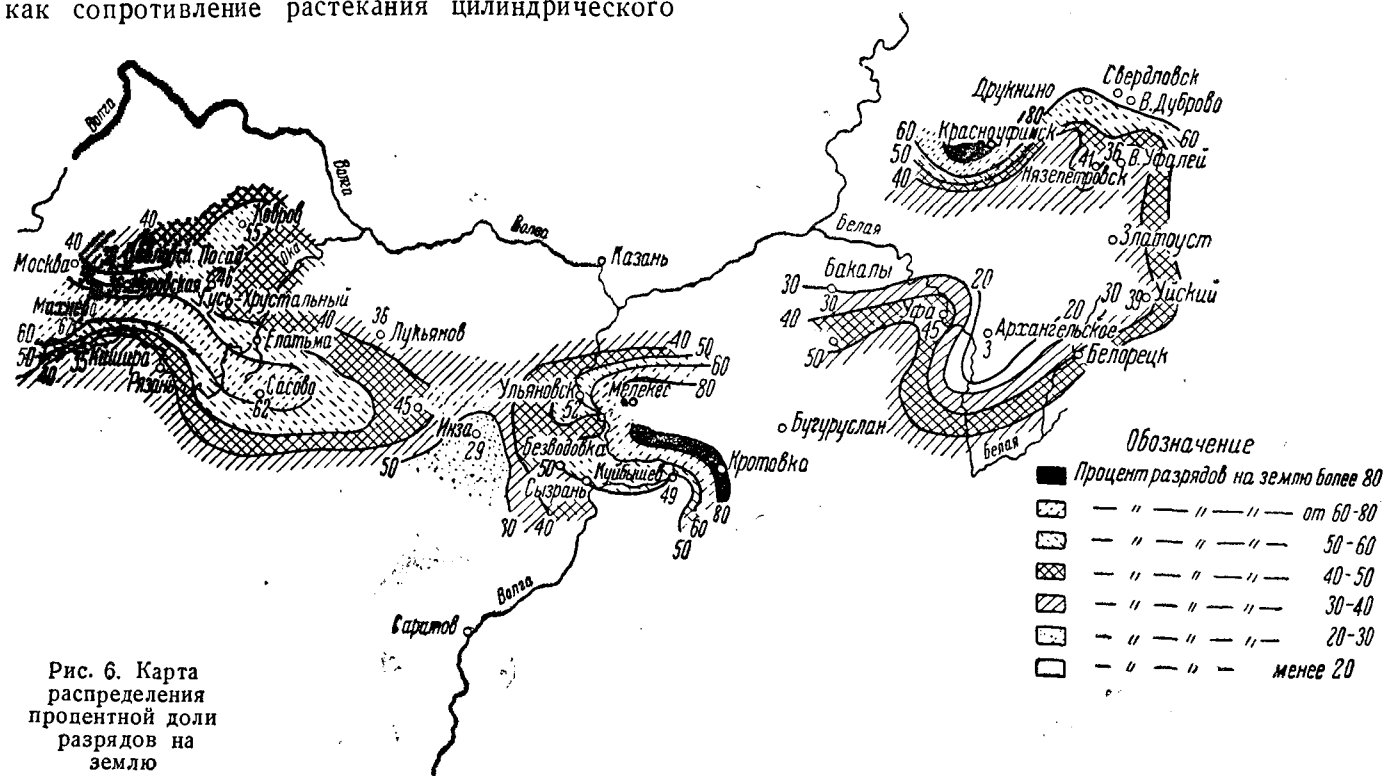


Рис. 6. Карта распределения процентной доли разрядов на землю

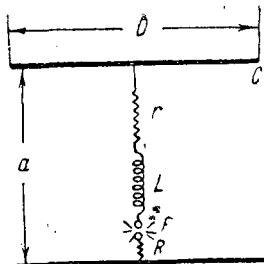


Рис. 7. Расчетная схема Рюденберга

каналом молнии и землей и обуславливает появление отраженной волны напряжения и волны тока, распространяющихся по волновому сопротивлению к туче. Фронт волны принимается прямоугольным. Возникшие волны благодаря последовательным отражениям у „тучевого“ и „земного“ концов канала образуют затухающую серию прямоугольных волн, накладывающихся на основной процесс разряда.

Главные недостатки теории Рюденберга следующие: 1) производная $\left(\frac{di}{dt}\right)_{t=0}$ получается равной бесконечности из-за неучета деформации волны, отражающейся у земли; 2) невозможно получить расчетным путем волну с параметрами, известными из регистрации (например длительность фронта $t_1 = 8 \mu\text{с}$ и спад амплитудной величины до половинного значения за $t_2 = 100 \mu\text{с}$); 3) невозможно объяснить наличие скорости развития главного канала, значительно меньшей скорости света.

Тот факт, что теория Рюденберга не позволяет получить расчетным путем данную волну, обнаруживается при детальном анализе уравнения тока, имеющего при апериодическом импульсе вид:

$$i = i_0 (e^{-\alpha_1 t} - e^{-\alpha_2 t}). \quad (1)$$

Принимая по Рюденбергу расчетную формулу для определения емкости тучи в виде

$$C = \frac{D_{[\text{km}]^2} \cdot 10^{-6}}{144 a_{[\text{km}]}} \quad (2)$$

находим при $D = 1 \text{ km}$ и $a = 1 \text{ km}$ $C = 7 \cdot 10^{-9} \text{ F}$. Из соотношений, связывающих коэффициенты уравнения (1) α_1 и α_2 с t_1 и t_2 , находим для данного случая, что $\alpha_1 = 8 \cdot 10^3$; $\alpha_2 = 560 \cdot 10^3$. Параметры схемы R_2 , L_1 , C связаны с α_1 и α_2 , имеющие известные соотношения:

$$\alpha_1 = \frac{R}{2L} - \sqrt{\frac{R^2}{4L^2} - \frac{1}{LC}}; \quad \alpha_2 = \frac{R}{2L} + \sqrt{\frac{R^2}{4L^2} - \frac{1}{LC}}. \quad (3)$$

На основании этих уравнений находим, что в рассмотренном случае $R \approx 18000 \Omega$; $L = 3 \cdot 10^{-2} \text{ H}$.

Такое значение индуктивности неприемлемо велико. Так, по формуле самого Рюденберга $L = 1,7 \cdot 10^{-3} \text{ H}$, т. е. в 17,5 раза меньше требуемого L .

Схема Бьюли. При рассмотрении образования молнии Бьюли предполагает, что туча может быть замещена схемой, изображенной на рис. 8, в которой конденсаторы C представляют собой емкости отдельных элементов тучи. Разряд начинается при достижении критического градиента в первом промежутке. Напряжение на первом конденсаторе

начинает уменьшаться по кривой $E e^{-\frac{t}{2C}}$, благодаря чему разность потенциалов на втором промежутке увеличивается. Когда потенциал на разряжающемся конденсаторе достигнет величины $E - e$, произойдет пробой второго промежутка. В силу распределения зарядов между емкостями потенциал соединившихся конденсаторов сделается равным

$$\frac{C(E - e) + CE}{2C} = E - \frac{e}{2}$$

и будет спадать согласно уравнению $\left(E - \frac{e}{2}\right) e^{-\frac{t}{2C}}$. Аналогичным образом произойдет процесс включения третьего, четвертого и n -го конденсаторов. Изменение потенциала после пробоя $m+1$ промежутке происходит по уравнению:

$$\left(E - \frac{m-1}{m} e\right) e^{-\frac{t}{mzc}}$$

Согласно представлениям Бьюли благодаря описанному ступенчатому процессу потенциал в начале канала молнии при достаточно малом значении e и большем m будет практически неизменен. Волна с напряжением, близким E , устремляется по каналу молнии, затухая по длине молнии, и у земли ее потенциал достигает лишь 10^7 V ($0,1 E$). Падающая волна тока при величине R (заземлителя) $\ll z$ почти удваивается, что дает при $R = 100 \Omega$ $z = 400 \Omega$; $I = 40000 \text{ A}$.

Последующее возрастание тока обусловлено отражениями волн у земли и тучи, потенциал которой сохраняется на начальном уровне в течение времени, во всяком случае достаточном для образования фронта волны тока у земли.

Произведенный мною анализ вопроса о стабильности потенциала тучи для конкретного случая характеристики тучи показывает, что при $m = 10$ и емкости одного элемента тучи в 10^{-8} (эта емкость соответствует туче диаметром 1,2 km, расположенной на высоте 1 km) относительно постоянное напряжение держится лишь около $5 \mu\text{с}$.

Большее число m приведет к нереальным размерам тучи, и, следовательно, произвольно выбирать m или, что то же, увеличивать емкость тучи нельзя.

В силу изложенного создать практически постоянный потенциал даже на время образования фронта волны тока указанным способом нельзя. Однако, как будет видно из дальнейшего, как раз не это обстоятельство имеет решающее значение для рассматриваемого метода расчета волны, хотя оно могло бы представить общий интерес для описания процесса разряда.

Форма токовой волны Бьюли определяет наложением последовательно отражающихся у земли и тучи электромагнитных волн, распространяющихся по каналу, образованному молнией. На основании произведенных расчетов Бьюли показывает, что ток молнии достигает амплитуды путем последовательных отражений, действием которых постепенно исключается величина волнового сопротивления канала молнии. С целью экспериментальной иллюстрации разыгрывающихся процессов Бьюли приводит схему разряда конденсатора через длинную линию на сопротивление и осциллограмму, дающую полное совпадение хода кривой с расчетной формой волны. При этом расчете стабилизация потенциала у тучевого конца не принимается во внимание.

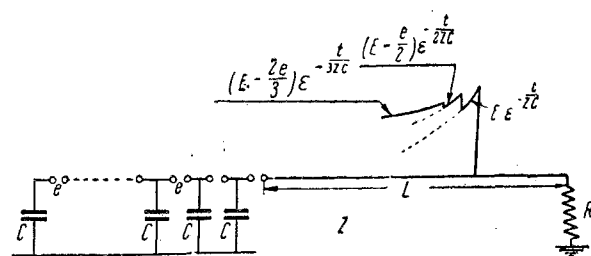


Рис. 8. Расчетная схема Бьюли

вом принципе, в основу которого положены простые физические представления.

Ток, образующий лидер, повидимому, не превосходит нескольких ампер. После прохождения го-

Рис. 9. Напряжение на сопротивлении, рассчитанное в случае *b* при константах; $C = 10^{-8}$ F; $z = 500 \Omega$; $R = 100 \Omega$; $L = 10^8$ м, а в случае *a* при константах: $C = 0,75 \mu$ F; $z = 510 \Omega$; $R = 60 \Omega$; $L = 200$ м; $e'_1 = (1 + a) E e^{-\beta t}$;

$$e'_2 = a(1 + a)(2\beta t - 1) E e^{-\beta t};$$

$$e'_3 = a^2(1 + a)$$

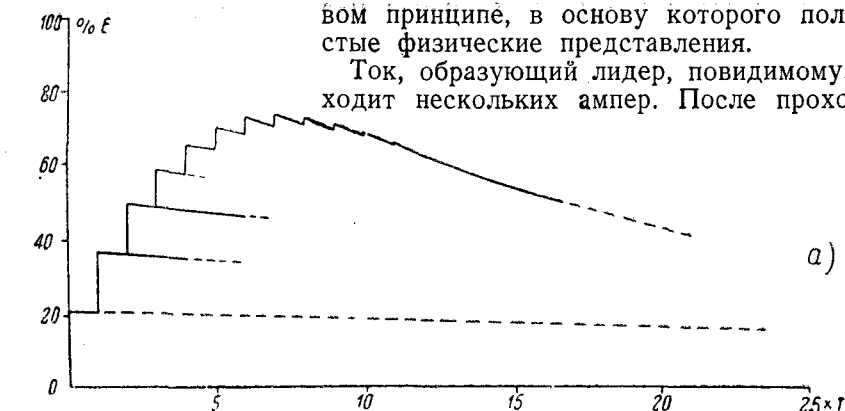
$$(1 - 4\beta t + 2\beta^2 t^2) E e^{-\beta t};$$

$$e'_4 = a^3(1 + a)$$

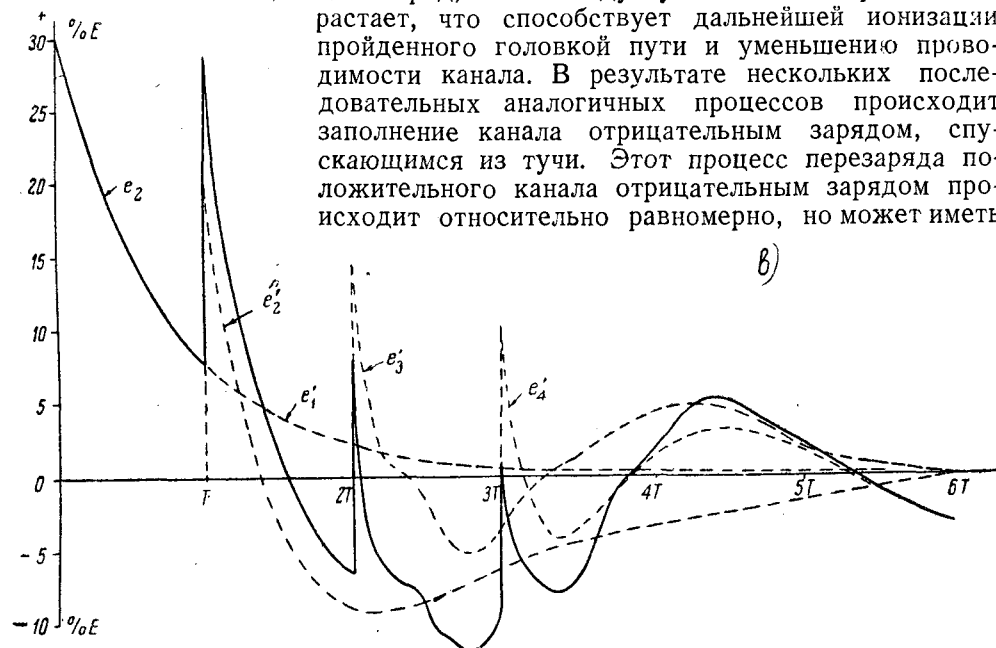
$$\left(\frac{4}{3}\beta t^3 - 6\beta^2 t^2 + 6\beta t - 1\right) E e^{-\beta t};$$

$$\text{где } a = \frac{R - z}{R + z};$$

$$\beta = \frac{1}{Cz}; \quad T' = \frac{2L}{v}$$



ловки лидера, оставляющей обычный положительный заряд, поле между тучей и этим зарядом возрастает, что способствует дальнейшей ионизации пройденного головкой пути и уменьшению проводимости канала. В результате нескольких последовательных аналогичных процессов происходит заполнение канала отрицательным зарядом, спускающимся из тучи. Этот процесс перезаряда положительного канала отрицательным зарядом происходит относительно равномерно, но может иметь



С целью анализа описанного метода мною для констант, указанных Бьюли, сделан подсчет составляющих волн в линии и произведено построение результирующего напряжения на сопротивлении R (рис. 9, а).

Как видно, форма волны, а следовательно, и тока вполне отражает вид волны прямого удара молнии. Однако при выборе для расчетной схемы констант, имеющих физический смысл, вид волны уже не получается столь удовлетворительным в указанном смысле (рис. 9, б). Следует отметить, что при этом фронт волны прямоуголен, а форма хвоста не имеет экспоненциально спадающего характера. Анализ схемы Бьюли, следовательно, показывает, что волны известного вида при физически приемлемых константах схемы не могут быть получены.

Описанными двумя схемами в основном исчерпываются существующие попытки интерпретировать формы разрядных волн расчетом. Имеющиеся другие схемы описывают явление разряда менее полно или ограничиваются лишь качественной стороной процесса. Названные теории, однако, совершенно неудовлетворительно и не полно отображают физический смысл явлений и факты, ставшие известными благодаря исследованиям в последнее время.

Новая схема расчета. Ниже делается попытка описания механизма молнии и предлагается схема расчета формы волны тока, базирующаяся на но-

ступенчатый характер. Скорость заполнения каналов зарядами может колебаться в пределах 10^7 — 10^9 cm/sec, а токи — в пределах от десятков до тысяч ампер. В результате этого процесса в газовом канале распределяется заряд, который может достигать многих кулонов. Действительно, при средней величине тока, равной $I = 500$ А, скорости движения фронта волны $v = 510^7$ cm/sec и длине канала, равной 2 km, заряд, спущенный из тучи, определяется соотношением:

$$Q = It = I \frac{L}{v} = 500 \cdot \frac{2 \cdot 10^5}{5 \cdot 10^7} = 2C.$$

Это количество электричества вполне достаточно, чтобы создать весьма большие амплитуды тока при развитии главного канала.

По достижении лидерным процессом поверхности земли либо при соприкосновении с встречными лидерами образуется главный канал; скорость движения лидерной головки резко увеличивается, достигая при движении головки главного канала значения 10^9 — 10^{10} cm/sec.

Исключительно важное значение имеет то обстоятельство, что развитие главного канала и движение его к туче происходят со скоростью v_k , значительно меньшей скорости света (по измерениям $v_k = 10^9 \div 1,4 \cdot 10^{10}$ cm/sec). Благодаря этому факту длительность продвижения канала по лидерному пути может составить от нескольких десятков до сотен μ sec.

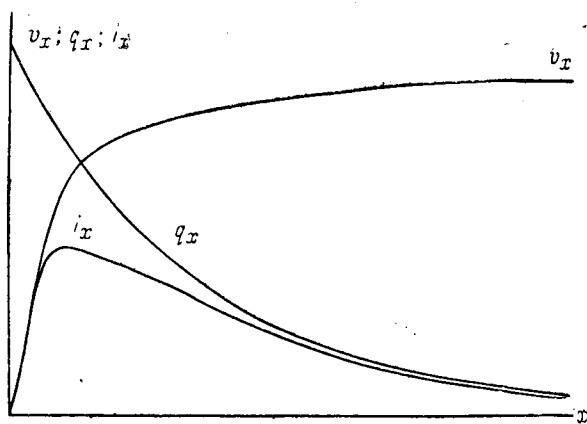


Рис. 10. Зависимости v_x , q_x , i_x от x

На основании изложенного можно представить процесс изменения тока главного канала в таком виде.

Величина тока определяется формулой $i = qv$, где q — плотности зарядов в газовом канале атмосферы, созданном лидером, а v — скорость движения головки лидера или главного канала.

Законы распределения зарядов вдоль газового канала в течение лидерного процесса еще неизвестны, однако согласно имеющимся у нас осциллографическим записям³ можно считать, что плотность зарядов сильно возрастает по мере развития лидера. Для упрощения расчета можно предположить, что q в полностью развившемся канале меняется согласно экспоненциальному закону:

$$q = q_0 e^{-ax}, \quad (4)$$

где a — некоторая постоянная, а x — длина канала с началом отсчета от земли. Мгновенное значение скорости v_x можно приближенно определить некоторой возрастающей кривой, при этом увеличение v_x в начале канала идет быстрее за счет того, что в этой области происходит переход от скорости головки лидера к скорости головки главного канала. Необходимо подчеркнуть, что увеличение v_x не требует усиления электрического поля, пропорционального v_x^2 , как это вытекает из формулы для скорости электронов $(v = \sqrt{\frac{2Ee\lambda}{\pi m}})$, ввиду того, что эта формула перестает быть справедливой при скоростях $v \gg 10^7$ cm/sec.

Исходя из изложенного, можно в качестве первого приближения допустить, что скорость определяется выражением:

$$v_x = v_k (1 - e^{-bx}). \quad (5)$$

Некоторое возрастание скорости головки по мере ее удаления от земли может быть обусловлено усилением поля между тучей и концом стримера, продвигающим в атмосферу потенциал, близкий потенциалу земли.

Согласно уравнению $i = qv$ находим:

$$i = q_0 e^{-ax} v_x (1 - e^{-bx}) = A [e^{-ax} - e^{-(a+b)x}], \quad (6)$$

где $A = q_0 v_k$.

Эта зависимость $i = f(x)$ представлена на рис. 10, на котором также показаны принятые кривые распределения q_x и v_x . Как видно, уравнения (1) и (6) имеют аналогичный характер, однако физическое значение коэффициентов обоих уравнений различно.

³ Журн. „Электричество“ № 2, 1940.

Ток i_x , получающийся в результате нейтрализации заряда данного элемента канала, стекает со скоростью, близкой к скорости света, на землю, что обусловлено наличием за головкой канала хорошей проводимости. Форма волны тока, измеряемая у земли [$i = f(t)$], получается при этом тождественной с имеющимися осциллограммами прямых ударов.

Вслед за этим процессом происходит частичное отражение энергии волны от тучи и дополнительное истечение зарядов, находящихся в районе тучевых разветвлений молнии. Благодаря этим процессам происходит удлинение волны тока. При этом токи порядка тысячи ампер могут существовать тысячи μ с, в связи с чем на землю изливаются кулоны электричества.

Механизм ионизации еще недостаточно ясен и здесь не рассматривается.

Максимальное значение тока определяется выражением:

$$i_{\max} = A \left[e^{-\frac{a}{b} \ln \frac{a+b}{a}} - e^{-\frac{a+b}{b} \ln \frac{a+b}{a}} \right], \quad (7)$$

причем длина (в м) фронтальной части волны определится уравнением:

$$x_{\phi} = \frac{1}{b} \ln \frac{a+b}{a}. \quad (8)$$

Максимальная крутизна волны (на единицу длины):

$$\left(\frac{di}{dx} \right)_{\max} = q_0 v_k b \left[\frac{A}{m} \right]. \quad (9)$$

Чтобы найти $k = \left(\frac{di}{dt} \right)_{\max}$, необходимо найти максимум функции $\left(\frac{di}{dx} \right) \cdot v_x$.

Ориентировочные расчеты, сделанные при различных вполне возможных с точки зрения современных физических представлений значений функции q_x и v_x позволяют получить все параметры токовых волн — амплитудные значения, максимальную и среднюю крутизну и длительность хвоста.

Хотя при выводе формулы (6) было сделано предположение, что $v_x = v_{x=0} = 0$, однако в действительности это лишь означает, что лидерная скорость головки значительно меньше скорости головки главного канала. Благодаря тому, что v_x при $x=0$ фактически не равна нулю, ток главного канала при $x=0$ (и, следовательно, при $t=0$) не равен нулю. Это вполне закономерно, ибо току главного канала предшествует лидерный процесс, кривая изменения тока которого по времени должна плавно переходить в ток канала⁴.

В свете описанной схемы явления токов разной полярности могут быть объяснены движением зарядов различных знаков, которое может иметь место при разных импульсах разряда либо в течение одного импульса (это, повидимому, более редкий случай).

В изложенном виде схема может служить ориентиром для экспериментальных работ по изучению характеристик разряда, целью которых должно быть определение зависимостей, входящих в написанные уравнения.

⁴ Тот факт, что скорость образования главного канала $v \ll c$, указывает на то, что в течение нескольких первых μ с, после поражения молнией линии, главный канал, как волновое сопротивление (Z_0), в отличие от общепринятого метода, не может приниматься в расчет!

Развитие грозового разряда в силовую дугу и методы его изучения

Инж. М. М. АКОДИС

Донэнерго

Основной причиной аварии при разряде молнии в линию передачи является короткое замыкание, обычно приводящее к выключению, зачастую же оно сопровождается разрушением изоляции или провода, требующим продолжительного ремонта. Непосредственные разрушения линии током молнии имеют место крайне редко.

В последние годы линии электропередач на деревянных опорах стали строить со значительно увеличенным расстоянием между проводами в предположении, что их грозовая аварийность резко уменьшится ввиду очень значительного уменьшения вероятности перехода грозового разряда в к. з. Между тем само явление крайне слабо изучено как теоретически, так и экспериментально. Таким образом изучение факторов, определяющих развитие грозового разряда в силовую дугу, и вероятность возникновения к. з. крайне необходимо, представляя большой практический интерес.

Постановке экспериментальной работы по изучению явления должна быть предпослана разработка теории процесса, так как в противном случае легко получить ошибочные выводы из-за неправильной постановки экспериментов. Попытка выполнить это и представлена ниже.

Процесс и факторы, на него влияющие. Рассмотрим случай удара молнии в ненагруженную линию в момент амплитудного значения напряжения промышленной частоты. При перекрытии изоляции линии попавшим в нее разрядом молнии по образовавшемуся ионизированному пути сразу же начинает протекать разрядный ток линии. Величина этого тока, длительность его протекания и форма кривой зависят от мгновенного напряжения системы в момент разряда молнии, от длины и волнового сопротивления пораженной линии, конфигурации, длины и волнового сопротивления сети, присоединенной к концам этой линии. Конечно, сопротивление самой искры также окажет значительное влияние на форму кривой тока, однако оно само является функцией тока.

От источника напряжения промышленной частоты в первое мгновение будет протекать лишь незначительный ток, который начинается с нуля, и (если источник тока достаточно близок), пока сопротивление искры пренебрежительно мало, возрастает со скоростью

$$\frac{dI}{dt} = \omega I \sqrt{2 \cdot 10^{-6}},$$

где I — значение тока к. з. сети для пораженной молнией точки, ω — круговая частота.

По мере увеличения сопротивления искры оно (сопротивление) будет уменьшать скорость нарастания тока. Импульсная дуга может развиться в силовую, если подвод энергии к дуге извне, определяющий ионизацию ее, следовательно, и проводимость, преysит потери энергии в ней, определяющие ее деионизацию.

В начале разряда основным ионизирующим фактором является термическая ионизация током молнии и разрядным током линии. Эта ионизация может быть чрезвычайно интенсивна, однако продолжительность ее обычно невелика (десятки — сотни микросекунд). Если к концу этого периода ток от силовой цепи генераторов будет еще незначительным (т. е., если амплитуда тока к. з. сети и, следовательно, скорость его нарастания малы), интенсивность ионизации промежутка может резко снизиться, и разряд закончится. Наоборот, если мощность к. з. сети велика и ток нарастает с большой скоростью, к моменту окончания разряда молнии и линии величина его уже может оказаться достаточной, чтобы в дальнейшем обеспечить термическую ионизацию, достаточную для покрытия потерь ионов и развития разряда в силовую дугу.

В случае, если источник тока к. з. настолько удален от места перекрытия, что затухание импульсного разряда произойдет еще до того, как разрядная волна, отразившись

от генератора, вернется к месту перекрытия, протекание процесса вообще не будет зависеть от мощности источника тока к. з. Очевидно, в подобном случае развитие в силовую дугу менее вероятно. В высоковольтных сетях генераторные станции обычно удалены на десятки километров и время двойного пробега волны исчисляется десятками и даже сотнями микросекунд, поэтому в практике такое явление может часто иметь место.

Если молния поражает линию в момент, когда мгновенное напряжение промышленной частоты имеет значение, отличное от амплитудного, кривая тока содержит постоянную составляющую. На рис. 1 изображено несколько кривых токов к. з. с одинаковой симметричной слагающей, но с различной постоянной составляющей. Как видно из рисунка, постоянная составляющая может очень резко уменьшить скорость нарастания тока к. з. Это явление особенно резко выражено на кривой II, которая относится к случаю, когда к. з. начинается в конце полупериода напряжения. В этом случае ток к. з. может в продолжение многих сотен микросекунд практически не нарастать. В эту длительную паузу линия может разрядиться, и прочность промежутка восстановится.

Чем меньше мгновенное напряжение линии в момент удара молнии, тем меньше сосредоточенный в ней заряд, влияющий на интенсивность ионизации в начальный период разряда, тем меньше мгновенное напряжение, восстановившееся на искре затухания разряда. Это еще более уменьшает вероятность развития к. з. с удалением момента разряда от максимума напряжения промышленной частоты.

Третьим фактором, влияющим на протекание процесса при начале к. з. в момент, отличный от амплитудного значения напряжения, является разрядный ток, сильно сдвинутый по отношению к напряжению. Зарядный ток также устремляется в разрядный промежуток и он увеличивает скорость нарастания тока через него. К началу к. з. он уже протекает через генератор, и, следовательно, скорость его нарастания не зависит от индуктивности генераторов, а определяется конфигурацией и параметрами сети (так же, как и его амплитуда). Поэтому влияние зарядного тока на развитие дуги в одной и той же сети будет различным при равной величине тока к. з. Его присутствие резко скажется при перекрытии вдали от генераторной станции, так как в этом случае нарастание тока от источника начнется позже.

На развитие разряда может также оказать влияние ток нагрузки. Но этот ток также не может сразу перебраться в дугу из-за реактивности потребительской сети. Очевидно, влияние этого фактора также зависит от расстояния от точки перекрытия до источника тока к. з.

Как следует из изложенного, в процессе развития грозового разряда в силовую дугу можно различить две фазы. Первую, — когда через промежуток благодаря ионизации его молнией начинает протекать разрядный ток линии, и вторую фазу, когда через промежуток уже протекает постепенно нарастающий ток к. з. от источника. Соотношение между интенсивностью термической ионизации током (определяемой скоростью нарастания тока), т. е. мощностью к. з.¹, и происходящей в промежутке деионизацией, в первую очередь зависящей от его длины, предпослаивает вопрос о том, затухнет ли разряд или разовьется в силовую дугу.

Критика существующих работ. Решающее значение скорости нарастания тока недооценивалось в тех немногочисленных работах, которые посвящены этому вопросу.

В 1930—1931 гг. фирма GEC совместно с рядом эксплуатационных кампаний производила исследование [1] этого явления в сети, в которой максимальный симметричный ток к. з. не превышал $42 A_{eff}$ (во многих опытах ток не превосходил 30% этой величины). Частота сети равнялась 30 Hz вместо обычной для американских сетей частоты 60 Hz, что также снижало скорость нарастания тока к. з., которая в этих опытах, очевидно, не превышала $11,3 \text{ mA}/\mu \text{ sec}$ (авторы даже не упоминают о том, что пониженная частота

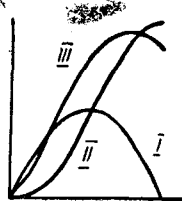


Рис. 1. Влияние постоянной составляющей на начальную скорость нарастания тока к. з.

¹ Так как волновое сопротивление может значительно превосходить установившееся, в некоторых случаях при перекрытии вдали от источника тока к. з. начальная скорость нарастания тока может быть резко снижена из-за ступенчатой формы кривой.

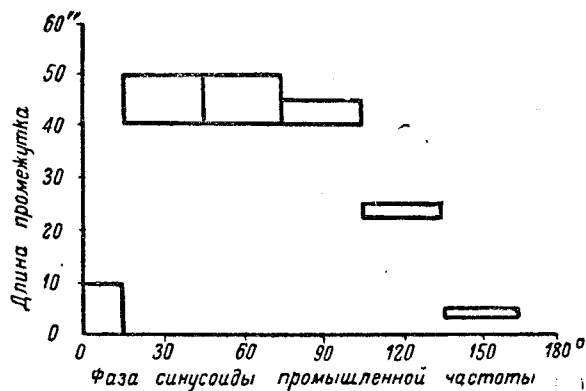


Рис. 2. Зависимость длины разрядного пути, при котором разряд переходит в дугу, от фазы напряжения промышленной частоты в момент импульсного пробоя (при значениях длины промежутка, лежащих ниже области, очерченной прямоугольником, дуга всегда переходила в разряд, при значениях длины промежутка, лежащих выше этой области, случаи перехода дуги в разряд не наблюдались)

могла влиять на условия образования силовой дуги). Только низкой скоростью нарастания тока можно объяснить полученные при опытах ничтожно малые величины искровых промежутков, при которых разряд уже перестает развиваться в дугу.

Лишь небольшая часть опытов, произведенных ГЕС, осциллографировалась, так что неизвестно даже, какому мгновенному значению напряжения соответствует каждый опыт. При небольшом количестве опытов это делает крайне сомнительной правильность полученных кривых даже для данных условий. Этим же объясняется, очевидно, то, что кривая для промежутка 33" сначала падает и лишь при значении 66 kV начинает возрастать.

В более поздней работе, проделанной фирмой Westinghouse совместно с рядом эксплуатационных компаний [2], мощность к. з. была еще меньше — 24 А при 26 kV, но в этой работе уже были приняты меры для получения разряда в определенный момент кривой напряжения, и разряд осциллографировался хотя бы шлейфовым осциллографом².

Несмотря на то, что в этих опытах отсутствовала параллельно подключенная линия (в опытах ГЕС длина линии была 60 км [1]), величина промежутка, при которой импульсный разряд еще переходит в силовую дугу, получилась во много раз выше³. Очевидно, это в основном объясняется более тщательной постановкой опытов, в частности, контролем момента подачи импульса.

В рассмотренных опытах, если дуга уже возникла, длина ее достигала значения, во много раз большего приведенного на рис. 2, хотя наибольший возможный ток не превы-

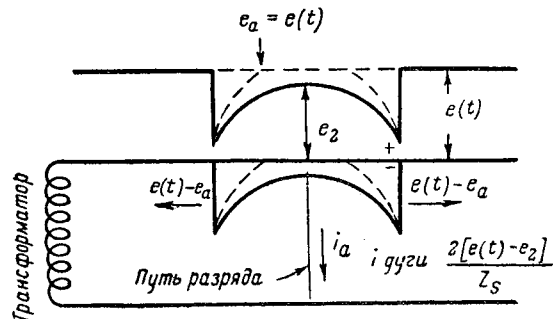


Рис. 3. Начальный процесс протекания тока через промежуток, вызываемого разрядом емкости линии (e_a — напряжение на дуге; $e(t)$ — линейное напряжение в момент разряда; Z_s — волновое сопротивление линии)

шал нескольких десятков ампер. Учитывая, что в реальной сети ток может достигнуть этой величины в 10—20 μ сек, продолжая еще интенсивно нарастать, и что другие факторы, которые могут быть значительно менее благоприятны для за-

² Ввиду кратковременности процесса его необходимо регистрировать катодным осциллографом.

³ Частично сказалась удвоенная частота (60 вместо 30), возможно, сказалась и меньшая удаленность от источника тока к. з.

тухания разряда, есть все основания опасаться, что в реальных условиях промежутки, при которых еще будет возникать силовая дуга, окажутся в десятки раз больше.

Brookes Southgate и Whitehead [2] считают, что скорость деионизации промежутка (нарастания его сопротивления и напряжения на нем) при разряде емкостного тока линии полностью предопределяет, разовьется ли разряд или затухнет. Иными словами, авторы считают, что характер разряда выявляется в первой фазе, не подозревая о наличии второй и не учитывая отражений от концов линии. Между тем в их опытах, где линии не было, первая фаза практически отсутствовала, и протекание процесса сразу начиналось со второй фазы, т. е. с самого начала разряда он определялся скоростью нарастания тока к. з. Очевидно, в этих условиях ничтожная скорость нарастания тока к. з. особенно сильно должна была сказаться на преуменьшении расстояния, при котором импульсный разряд еще может развиваться в силовую дугу.

Приводимая авторами кривая напряжения на дуге также неправдоподобна (рис. 3). За время высокой проводимости дуги ток через генератор нарастает. Восстановление прочности дугового промежутка приведет к обрыву этого тока, следовательно, создаст перенапряжение (явление подобно гашению дуги постоянного тока), а благодаря наличию емкости возникнут и колебания на кривой напряжения.

Из сказанного следует, что приведенные данные [1, 2] сомнительны, между тем из них делались практические вы-

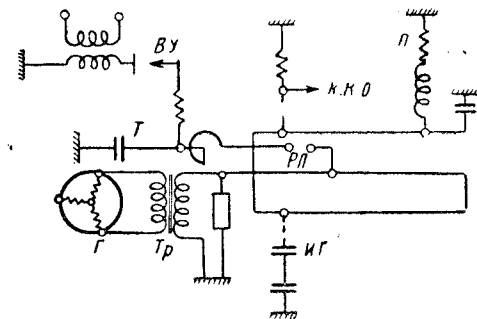


Рис. 4. ИГ — импульсный генератор для пробоя импульсного промежутка

ТР — силовой трансформатор; Г — синхронный генератор; Р — тиристорный разрядник; ВУ — выпрямительная установка; РП — разделительный промежуток (желательно с малым коэффициентом запаздывания); П — импеданс, лимитирующий потребителя; С — емкость; Т — импульсная схема для получения т. к. з.

воды — менялись конструкции высоковольтных линий на деревянных опорах⁴. В этих условиях представляется крайне необходимым проведение более правильно организованных испытаний, воспроизводящих действительный характер явления при мощности, более близкой к встречающейся на практике. Воссоздание таких к. з. с подачей высокого импульсного напряжения в мощных сетях крайне затруднительно, так как это связано с риском разрушения оборудования. Однако, как будет показано ниже, значительное приближение к реальным условиям может быть достигнуто и в мало-мощной сети путем применения искусственных схем испытаний.

Искусственные схемы испытаний. Эксперименты могут быть проведены на эксплуатационной линии⁵. Для увеличения сети можно в удаленный конец линии включить сосредоточенную емкость, что будет имитировать несколько линий, подключенных в параллель в этой точке. Нагрузку можно имитировать присоединением индуктивности, включенной последовательно с сопротивлением.

Наибольшая трудность для проведения подобной работы — это обеспечение генераторной мощности (генераторы, трансформаторы), так как возможность проведения опытов в эксплуатационной сети с большой подключенной мощностью практически исключена. Однако, если обеспечить мощность, достаточную для заряда линии и питания нагрузки, мощность к. з. может быть имитирована следующим искусственным методом.

Как указывалось выше, роль источника тока к. з. сво-

⁴ При анализе того незначительного эксплуатационного опыта, который уже имеется по новым линиям, необходимо учесть, что они выполнены надежнее и в других отношениях, поэтому непосредственно сравнивать их поражаемость со средней для старых нельзя.

⁵ Как известно, опыты с высоким импульсным напряжением неоднократно проводились на эксплуатационных линиях.

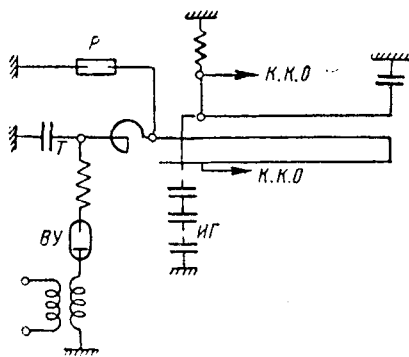


Рис. 5
ИГ—импульсный генератор для пробы промежутка; Т—импульсная схема для получения тока к. з.; R—тиристорный разрядник; ВУ—выпрямительная установка; С—емкость; КО—катодный осциллограф; Т—импульсная схема для получения т. к. з.

дится к обеспечению определенной скорости нарастания тока в начальный период и восстановления напряжения в период затухания разряда. Эта задача может быть вполне выполнена конденсаторами, разряжаемыми на испытуемый промежуток через индуктивность согласно рис. 4. Длительность процесса исчисляется десятками и в крайнем случае она достигает нескольких сотен микросекунд, поэтому требуется емкость умеренных размеров.

Наилучшим решением был бы подбор емкости и индуктивности, обеспечивающих желательную величину тока к. з. при собственной частоте 50 Hz. В этом случае были бы полностью обеспечены те же условия, что и при наличии вращающихся генераторов при любой продолжительности процессов. Однако такое решение потребует огромного количества конденсаторов. Ввиду кратковременности процесса необходимая скорость нарастания тока может быть обеспечена импульсной схемой с частотой, в несколько раз превышающей промышленную.

Емкость, необходимая для получения волны тока с данной амплитудой, обратно пропорциональна частоте; амплитуда волны, необходимая для обеспечения неизменной начальной скорости нарастания тока, тоже обратно пропорциональна частоте. Следовательно, емкость, потребная для получения данной начальной скорости нарастания тока, обратно пропорциональна квадрату его частоты. Таким образом

при частоте 150—200 Hz потребная емкость в 9—16 раз меньше, чем при нормальной, и получается вполне умеренной даже при обеспечении скорости нарастания тока, соответствующей току к. з. в несколько тысяч ампер эффективных.

Учитывая сложность постановки подобных опытов, в первую очередь следует организовать изучение наиболее просто выполнимых схем. Если начать изучение с разряда при максимуме напряжения промышленной частоты и отсутствии нагрузки, то может быть применена совсем простая схема рис. 5, без особых трудностей выполняемая в большинстве высоковольтных лабораторий (при короткой линии). В этой схеме линия и емкость, имитирующая силовую цепь, предварительно заряжаются постоянным током (с помощью выпрямителей). Термически индуктивность должна рассчитываться только на разряд энергии, сосредоточенной в емкости, и она получается весьма облегченной и легко выполнимой на высокое напряжение.

Несомненно, что и эта схема позволит получить результаты, более близкие к действительным, чем в вышеприведенных работах [1, 2] при условии обеспечения скорости нарастания тока, близкой к действительной. Хотя эта схема позволяет воспроизвести лишь опыты, соответствующие разряду вблизи амплитудного значения напряжения промышленной частоты, это, вероятно, не является крупным ее недостатком. Изучение разряда вблизи нулевого значения напряжения промышленной частоты вряд ли имеет смысл производить в сети, где отсутствуют разрядный и нагрузочный токи, так как в этом случае их влияние может быть особенно велико из-за ничтожной скорости нарастания тока к. з. В упомянутых выше опытах [2] эти токи также отсутствовали и можно ожидать, что результаты, полученные для этих точек, сильно изменятся при правильно поставленных экспериментах.

Литература

1. Eaton Peck and Dunham. Experimental Studies of Arcing Faults on a 75. Transmissions System.
2. Brookes, Southgate and Whitehead. Impulse and dynamic Flashover Studies. Transactions of the AIEE, стр. 494, № 2, 1933.

О защитных углах тросового молниеотвода¹

Инж. В. В. БУРГСДОРФ

Тбилисский научно-исследовательский гидроэнергетический институт

В журнале «Электричество» № 7, 1940 г., была опубликована исследовательская работа А. П. Белякова по определению защитной зоны тросовых молниеотводов. В результате экспериментов на моделях А. П. Беляков [1] приходит к выводу о недостаточности защитных углов, принятых в настоящее время «Руководящими указаниями по защите от перенапряжений электрических установок переменного тока от 3 кV и выше».

«Руководящие указания» базируются главным образом на относительно более старых работах Аюпяна [2] и рекомендуют принимать защитный угол для крайнего провода (при типовом горизонтальном расположении проводов и защите их двумя тросами) в пределах до 30°.

По Белякову при таком угле максимальная вероятность поражения может достигать $\sigma = 0,045—0,08$ — довольно значительной величины. Отсюда автор [1] заключает о необходимости снижения защитного угла до примерно 15°, что соответствует максимальной вероятности поражения менее 0,001.

Такое решение, однако, вызовет известные конструктивные неудобства для некоторых типов линий при горизонтальном расположении проводов, в частности, и для распространенных деревянных П и АП-образных опор, где оно потребует применения во всех случаях специальной траверсы для подвески троса.

Действительно, при практически применяемых расстояниях между крайним проводом и стойкой порядка 2 м (по условиям соблюдения габаритов) попытка использования основных столбов для укрепления троса требует его расположения на высоте порядка 6—7 м над плоскостью проводов (учитывая отклонение гирлянды ветром). Такое рас-

положение для обычных пролетов, очевидно, неприемлемо, так как оно должно привести к значительному удлинению основных стоек и усложнению конструкции опоры. Следует вообще заметить, что в отдельных случаях удовлетворение существующих норм уже создает известные трудности.

Наибольшие затруднения, вероятно, возникнут в гололедных районах (где габариты часто недостаточны и удлинение основных стоек нежелательно) и в местностях, где наблюдаются сильные ветры.

По изложенным соображениям целесообразно исследовать подробнее условия поражения проводов при небольших углах между экранирующим тросом и защищаемым проводом. Из опыта известно, что возможность удара в провод возникает лишь при вполне определенном положении линии по отношению к облаку или точнее к очагу разрядов, именно этот очаг должен быть сдвинут на определенное расстояние от линии, как это показано на рисунке.

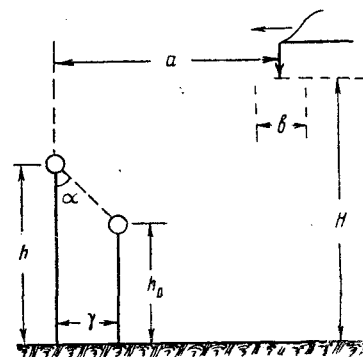


Рис. 1

¹ В порядке обсуждения. Редакция.

Очаг разрядов может, вообще говоря, передвигаться в определенных пределах, оставаясь в опасной зоне по отношению к проводу. Обозначим ширину этой зоны через b . В тех случаях, когда грозовое облако выходит из зоны, т. е. его координаты $a_1 > a + \frac{b}{2}$ или $a_2 < a - \frac{b}{2}$, облако для провода не представляет опасности, так как в первом случае все разряды будут поражать плоскость, а во втором — перехватываться экранирующим тросом.

Из сказанного следует, что для определения вероятности поражения провода нельзя принимать в основу наиболее неблагоприятное взаимное положение облака и линии; более правильно базировать расчет на вероятности образования молнии в опасной зоне. Попробуем ее определить. Обычно можно принять, что высота объекта не влияет на образование молнии¹, поэтому генерация ее равновероятна из любой точки пространства на высоте прохождения грозовой тучи. Отсюда следует, что вероятность ударов из опасной зоны пропорциональна ее площади. Примем, что опасность для линии представляют только ближние грозы, лежащие в радиусе $r = 3$ km.

Тогда вероятность ударов из опасной зоны шириной b

$$n = \frac{b}{r}. \quad (1)$$

Принимая ориентировочно эквивалентную ширину опасной зоны² порядка 50 m (на модели в 1:100 это соответствует 5 cm), находим по формуле (1) вероятность $n = 0,017$. Обозначая вероятность поражения провода из опасной зоны через σ , найдем, что результирующую вероятность поражения

$$\xi = n\sigma = 0,017 \cdot \sigma. \quad (2)$$

Для проверки выведенных соотношений воспользуемся имеющимися у нас материалами эксплуатации одной 110-kV линии передачи длиной около 100 km, проходящей в весьма грозовой местности. Удельная поражаемость ее (число ударов на 100 km за сезон), установленная с помощью магнитозаписи, может быть оценена цифрой порядка 40. За 3 года эксплуатации на линии произошел один удар молнии, попавший непосредственно в провод, минуя тросы.

Полагая, что из общего количества разрядов в районе линии при высоте облаков порядка 1000—1500 m и $r = 3000$ m от 0,25 до 0,5 всех ударов попадает в сооружение, а остальные в землю, вероятность поражения провода

$$\xi = \frac{1}{3 \cdot 40} \left(\frac{1}{4} + \frac{1}{2} \right) = 0,002 - 0,0042.$$

Фактический защитный угол тросов здесь 40° , чему по Белякову [1, рис. 1] соответствуют вероятности $\sigma = 0,2$, следовательно, согласно (2), $\xi = 0,0034$.

¹ Исключение составляют вершины отдельно стоящих гор и хребтов.

² Вероятность удара молнии в провод при расположении очага в различных точках опасной зоны должна быть, очевидно, величиной переменной и меньше, определяемой по кривым Белякова для наименее благоприятного положения облака. Принимая в дальнейшем расчете максимальную вероятность по кривым ВЭИ для всей зоны, следует пользоваться некоторой эквивалентной величиной ее, меньшей действительной.

Как видно, результаты получаются достаточно близкими. Само собой разумеется, что из этого совпадения отнюдь не следует делать далеко идущих выводов о точности проведенного расчета. Важно, однако, подчеркнуть, что порядок цифр получается один и тот же, что говорит о правильности основных методологических предпосылок и целесообразности подсчета результирующей вероятности ξ . Максимальная же вероятность поражения по Белякову $\xi = 0,2$ оказывается слишком большой и, самое главное, отличается по своему порядку от наблюдающегося в эксплуатации значения.

Попробуем теперь, пользуясь изложенным методом, определить необходимый защитный угол для линии с тросами. Примем в основу допустимое значение $\sigma = 0,001$, т. е. ту величину, на которую ориентируются «Руководящие указания». Тогда по уравнению (2)

$$\sigma = 0,001/0,017 = 0,058$$

и по кривым Белякова [1, рис. 1] необходимый защитный угол оказывается около 30° .

Величина эта находится в полном соответствии с существующими рекомендациями.

Выводы. 1. Проведенные ВЭИ исследования максимальной вероятности поражения имеют большую ценность, однако при установлении защитных зон вряд ли будет правильным исходить из принципа грозового разряда в наиболее неблагоприятной области. Такой принцип должен привести к значительному ухудшению расчетных условий линий по сравнению с действительными и, как следствие, к чрезмерным требованиям при их сооружении.

2. Необходимость радикального пересмотра защитных углов для тросов могла бы потребоваться, если бы практика эксплуатации указывала на их явную недостаточность. Между тем имеющийся эксплуатационный опыт, повидимому, позволяет заключить о вполне удовлетворительной работе линий с защитными углами в $25-30^\circ$ между тросом и проводом, т. е. практически подтверждает их целесообразность.

3. Более правильным представляется нам вычисление результирующей вероятности поражения ξ , учитывающей различные положения облака по отношению к рассматриваемому объекту.

Применение этого метода позволяет получить вероятность поражения одного порядка с наблюдающейся в действительности и, кроме того, хорошо объясняет удовлетворительную работу существующих сетей с защитными углами $25-30^\circ$.

4. Вопрос об эквивалентной ширине опасной зоны и вероятности разряда в ней n требует дополнительного исследования в лаборатории и путем обработки эксплуатационных данных по линиям Союза с различными защитными углами тросов.

Литература

1. А. П. Б е л я к о в. Защищенность объекта при любом его расстоянии от тросового молниеотвода, «Электричество» № 7, 1940.
2. А. А. А к о п я н. Исследования на модели защитного действия тросовых и антенных молниеотводов, «Электрические станции» № 6, 1938.

К вопросу об оценке перегрузочной способности трансформаторов

Д-р техн. наук, проф. Г. Н. ПЕТРОВ
Московский энергетический институт им. Молотова

В последнее время на страницах нашей технической печати уделяется большое внимание вопросам оценки перегрузочной способности трансформаторов¹.

При решении этого вопроса совершенно правильно исходят из старения бумажной изоляции в масле под действием температуры. Надо, однако, признать, что количество опубликованных экспериментальных данных, касающихся старения бумажной изоляции под действием температуры, невелико. Результаты этих работ в значительной степени противоречат еще друг другу, так как условия опытов различны, так же как и критерии оценки старения. Исходными по старению бумажной изоляции следует рассматривать данные, опубликованные инж. В. М. Монтзингером в 1930 г.²

Основываясь на этих данных, можно считать, не впадая в противоречие с результатами других исследователей, что механическая прочность бумажной изоляции в масле, характеризующая ее старение, понижается под действием постоянной температуры ϑ приблизительно по экспоненциальному закону (рис. 1), различному для разных температур (рис. 1 $\vartheta_1 > \vartheta_2 > \vartheta_3$).

Если начальную механическую прочность изоляции (независимо от способов ее оценки) обозначить через n_0 , то ее прочность через промежуток времени t , в течение которого изоляция в масле имела температуру ϑ , будет

$$n = n_0 e^{-\frac{t}{T_n}}, \quad (1)$$

где T_n — температурная постоянная механической прочности изоляции (рис. 1).

Температурная постоянная T_n зависит от температуры ϑ и может быть, согласно тем же опытным данным приблизительно представлена как экспоненциальная функция этой температуры (рис. 2):

$$T_n = T_0 e^{-\frac{\vartheta}{\Theta}}. \quad (2)$$

Здесь T_0 — температурная постоянная при $\vartheta = 0^\circ \text{C}$, Θ — постоянная величина, имеющая размерность температуры, определяющая характер экспоненциальной функции.

Подставляя значение T_n из (2) в (1), получим:

$$n = n_0 e^{-\frac{t}{T_0} e^{\frac{\vartheta}{\Theta}}}. \quad (3)$$

Предположим, что график температурного режима изоляции дан в виде кривой рис. 3.

Спустя время t_1 после начала воздействия температуры ϑ_1 , механическая прочность изоляции упадет до значения

$$n_1 = n_0 e^{-\frac{t_1}{T_0} e^{\frac{\vartheta_1}{\Theta}}}, \quad (4)$$

в конце промежутка времени t_2 — до значения

$$n_2 = n_1 e^{-\frac{t_2}{T_0} e^{\frac{\vartheta_2}{\Theta}}} = n_0 e^{-\frac{t_1 e^{\frac{\vartheta_1}{\Theta}} + t_2 e^{\frac{\vartheta_2}{\Theta}}}{T_0}} \quad (5)$$

и т. д.

¹ Л. М. Шницер. „Электричество“ № 1, 1938; № 12, 1938; № 4, 1939.

Л. М. Шницер. Нагрузочная способность и учет износа. Москва, 1940.

Л. М. Шницер. Перегрузочная способность масляных трансформаторов. Доклад на конференции по трансформаторостроению. Госэнергоиздат, 1940.

Ю. В. Корицкий. „Электричество“ № 12, 1938; № 4, 1939.

Б. П. Лебедев. „Электричество“ № 4, 1939.

П. В. Кузнецов. „Электрические станции“ № 8, 1940.

² ТАИЕ № 2, 1930.

В общем случае через промежуток времени $t = t_1 + t_2 + t_3 + \dots$ механическая прочность n изоляции будет

$$n = n_0 e^{-\frac{t_1 e^{\frac{\vartheta_1}{\Theta}} + t_2 e^{\frac{\vartheta_2}{\Theta}} + t_3 e^{\frac{\vartheta_3}{\Theta}} + \dots}{T_0}} = n_0 e^{-\frac{t}{T_0} \left(\tau_1 e^{\frac{\vartheta_1}{\Theta}} + \tau_2 e^{\frac{\vartheta_2}{\Theta}} + \tau_3 e^{\frac{\vartheta_3}{\Theta}} + \dots \right)}, \quad (6)$$

где $\tau_1 = \frac{t_1}{t}$, $\tau_2 = \frac{t_2}{t}$ и т. д.

Согласно теоретической зависимости (3) $n = 0$ только при $t = \infty$. В действительных условиях изоляцию можно считать

практически изношенной уже при $\frac{n}{n_0} \approx 0,05 \div 0,1$.

Из равенства (6) находим:

$$\ln \frac{n_0}{n} = \frac{t}{T_0} \sum \tau e^{\frac{\vartheta}{\Theta}},$$

откуда

$$t = \frac{T_0 \ln \frac{n_0}{n}}{\sum \tau e^{\frac{\vartheta}{\Theta}}}. \quad (7)$$

Это равенство определяет время t , в течение которого прочность изоляции n_0 понизится до значения n при данном температурном режиме $\vartheta = f(\tau)$.

В частном случае, при $\vartheta = \text{const}$, $\sum \tau = 1$ и потому согласно (7)

$$t = \left(T_0 \ln \frac{n_0}{n} \right) e^{-\frac{\vartheta}{\Theta}} = A e^{-\frac{\vartheta}{\Theta}}. \quad (8)$$

Это равенство без приведенного выше его обоснования, как чисто экспериментальное, было дано Монтзингером и использовано в большинстве цитированных выше работ.

В этих работах величина A рассматривалась только для случая полного износа изоляции, когда отношение $\frac{n}{n_0}$ близко к нулю.

При непрерывном изменении температуры ϑ в равенстве (7) следует брать

$$\sum \tau e^{\frac{\vartheta}{\Theta}} = \int_0^1 e^{\frac{\vartheta}{\Theta}} d\tau. \quad (9)$$

Численное значение этого интеграла легко может быть найдено графически.

Из (7) и (9) находим:

$$t = \frac{T_0 \ln \frac{n_0}{n}}{\int_0^1 e^{\frac{\vartheta}{\Theta}} d\tau} \quad (10)$$

и согласно (6):

$$\frac{n}{n_0} = e^{-\frac{t}{T_0} \int_0^1 e^{\frac{\vartheta}{\Theta}} d\tau}. \quad (11)$$

В последнее время инж. Л. М. Шницер предложил критерий износа изоляции

$$\xi_{\%} = \frac{100 t}{A} \int_0^1 e^{\frac{\vartheta}{\Theta}} d\tau, \quad (12)$$

предполагающий линейную зависимость износа от времени³.

³ Этот критерий предполагает, что снижение механической прочности изоляции, в отличие от выражения (1), происходит по закону $n = n_0 \left(1 - \frac{t}{T_0} \right)$, который совместно с (2) приводит к формуле (12).

Однако было бы более правильно при установлении критерия износа непосредственно исходить из потерь механической прочности изоляции и брать в соответствии с опытной зависимостью (1) и (11) в качестве критерия величину

$$u_{\%} = 100 \left(1 - \frac{n}{n_0} \right) = 100 \left(1 - e^{-\frac{t}{T_0} \int_0^t \frac{\vartheta}{\tau} d\tau} \right), \quad (13)$$

считая, что изоляция практически полностью уже изношена при $u_{\%} \approx 90-95\%$.

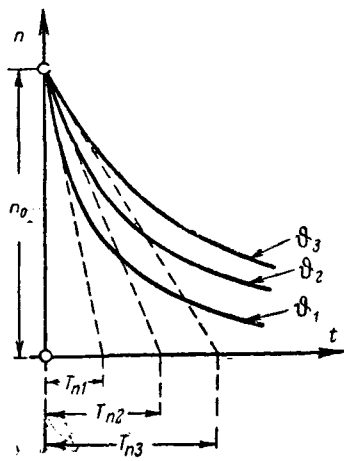


Рис. 1

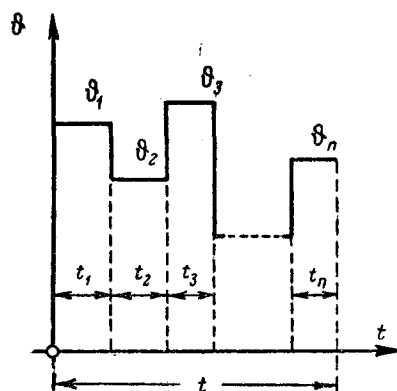


Рис. 3

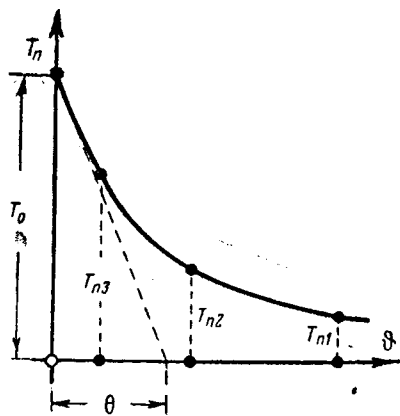


Рис. 2

Рассмотрим пример.

Предположим, что при длительном воздействии температуры ϑ' полный износ изоляции трансформатора произойдет в течение t' лет, когда критерий $\xi_{\%}$ будет равен 100%, а $u_{\%} = 95\%$. Если произвести оценку износа изоляции через $t'' = 0,25t'$ лет после включения трансформатора и работе его при $\vartheta' = \text{const}$, то согласно (12) получим:

$$\xi_{\%} = \frac{100t''}{A} e^{\frac{\vartheta'}{\theta}}.$$

Так как при полном износе

$$100 = \frac{100t'}{A} e^{\frac{\vartheta'}{\theta}},$$

то, деля почленно первое равенство на второе, получим:

$$\xi_{\%} = \frac{t''}{t'} 100 = 25\%.$$

Для тех же условий согласно (13) получаем:

$$95 = 100 \left(1 - e^{-\frac{t'}{T_0} e^{\frac{\vartheta'}{\theta}}} \right)$$

и

$$u_{\%} = 100 \left(1 - e^{-\frac{t''}{T_0} e^{\frac{\vartheta'}{\theta}}} \right).$$

Из первого равенства находим, что

$$\frac{t'}{T_0} e^{\frac{\vartheta'}{\theta}} \approx 3,$$

поэтому

$$u_{\%} = 100 \left(1 - e^{-\frac{t''}{3T_0}} \right) = 100 \left(1 - e^{-\frac{3}{4}} \right) = 53\%.$$

Этот пример показывает, что 53% потерю механической прочности изоляции критерий $\xi_{\%}$ в данном случае оценивает только как 25% ее износ.

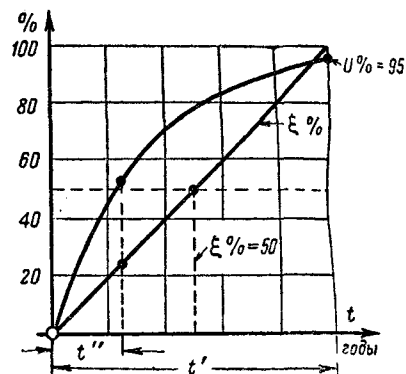


Рис. 4

На рис. 4 приведены для рассматриваемого примера кривые критериев $\xi_{\%}$ и $u_{\%}$ износа изоляции в зависимости от времени t . Как видно из этих кривых, критерий $u_{\%}$ дает более полное представление о характере постепенного нарастания износа изоляции. Если критерии $\xi_{\%}$ и $u_{\%}$ выбрать так, чтобы они давали одинаковые значения для времени полного износа изоляции, то для оценки неполного износа критерий $\xi_{\%}$ является более оптимистичным.

Однако в других случаях критерий $\xi_{\%}$ может оказаться пессимистичным. Предположим, что через t'' лет после включения трансформатора при его ревизии и сравнении изоляции верхних катушек с изоляцией нижних катушек, которая обычно имеет значительно более низкую температуру и стареет весьма медленно⁴, износ изоляции оценен в 50%.

Согласно критерию $\xi_{\%}$, в этом случае можно было бы прийти к заключению, что при том же режиме трансформатор может работать еще только t'' лет. В действительности же, как видно из рис. 4, износ $u_{\%} = 50\%$ имеет место при $\frac{t''}{t'} \approx 0,23$, и, следовательно, трансформатор сможет еще про-

работать по крайней мере $\frac{1-0,23}{0,23} t'' = 3,35 t''$ лет.

Как указано было выше, в настоящее время нет еще достаточного опытного материала для надежного определения постоянных величин, определяющих критерий $u_{\%}$. Необходимо также собрать более полный экспериментальный материал для обоснования исходных функциональных зависимостей (1) и (2). Опыты надо проводить как в лабораторных условиях, так и в условиях эксплуатации. До накопления достаточного экспериментального материала учет износа изоляции математическим путем может носить лишь весьма ориентировочный характер.

В связи с этим точно количественно обосновать перегрузочную способность трансформаторов на основе учета старения изоляции в настоящее время еще не представляется возможным. Однако намечаемый путь решения этой задачи безусловно, правилен.

⁴ В некоторых случаях для понижения износа изоляции может оказаться рациональным через 10-12 лет работы трансформатора поворачивать обмотки на 180°.

Результаты эксплуатации турбогенератора 100 MW завода «Электросила»

Инж. Н. П. ГАЛОЧКИН
Наркомат электростанций СССР

Турбогенератор мощностью 100 MW типа Т2-100-2, 3000 об/мин, изготовленный заводом «Электросила» им. Кирова в 1937 г., до сих пор продолжает оставаться самой мощной машиной такого типа во всем мире. С января 1939 г. турбогенератор находится в нормальной эксплуатации.

Турбогенератор в 1939 г. работал 6489 h и выработал 451 090 тыс. MWh (средняя нагрузка — 69,7 MW), в 1940 г. (до ремонта в июле) — 4471 h и выработал 334 690 тыс. MWh (средняя нагрузка — 74,6 MW). По току генератор загружается почти полностью, некоторые же периоды времени он работал с полной токовой нагрузкой. Таким образом режим работы генератора за время его эксплуатации можно считать достаточно напряженным, и слабые стороны конструкции или изготовления отдельных элементов установки могли выявиться в этот срок довольно полно.

В 1939 г. Всесоюзный электротехнический институт произвел испытание генератора. В июле текущего года генератор прошел годовой капитальный ремонт.

В результате эксплуатации генератора в указанном режиме и испытаний его ВЭИ установлено, что турбогенератор типа Т2-100-2 удовлетворяет требованиям технических условий заказа и стандарта, являясь вполне надежной в эксплуатации машиной.

Однако завод, создав первоклассную машину — собственно генератор, небрежно оснастил его вспомогательным оборудованием.

Возбудитель генератора — обычной конструкции — изготовлен без особой тщательности. В качестве подвозбудителя была применена машина постоянного тока мощностью 2 kW серийного выпуска и в производстве к ней не было предъявлено особых требований; она была притоввлена без учета того обстоятельства, что машина должна обеспечить исключительно надежную работу генератора 100 MW. Ряд дефектов возбудителя и подвозбудителя уже обнаружился в период опытной эксплуатации (обрыв проводников, плохие пайки и др.). Впоследствии во время эксплуатации (с января 1939 г.) произошло пять аварий — одна с возбудителем (разрыв бандажа), остальные с подвозбудителем. У подвозбудителя наблюдается неравномерный износ коллектора и, как следствие этого, нарушение нормальной коммутации. Одновременно наблюдается увеличение вибрации подвозбудителя. Не устранены эти дефекты и до сих пор.

Приведенные факты говорят о том, что возбудитель и подвозбудитель как по своей конструкции, так и по выполнению не могут обеспечить нормальной работы генератора, и завод должен исправить допущенные здесь ошибки.

По предварительным сообщениям завод намерен изготовить новые машины возбуждения, применив следующие методы усиления их конструкции: 1) замену проволочных бандажей на лобовых частях возбудителя массивными капшамми; 2) выполнение всех паяк на возбудителе и подвозбудителе серебром; 3) выполнение коллекторов из кадмиевой меди, износ которых в несколько раз ниже по сравнению с износом коллекторов из обыкновенной меди; 4) усиление изоляции обмоток.

Кроме дефектов с возбуждением, обращает на себя внимание значительная неравномерность температур холодного воздуха, поступающего в генератор. Установленный заводом в инструкции по эксплуатации максимальный «перекос» в температурах холодного воздуха на разных сторонах генератора 3° С заставлял станцию применять неверную операцию. При заполненных водой секциях воздухоохладителей, на стороне генератора, с большей температурой поступающего в генератор воздуха и при наличии перекаса больше максимально допустимого (3° С), персонал станции был вынужден прикрывать воду на стороне с низшей температурой воздуха, что бесспорно снижало общую эффективность работы охладителей и вело к снижению нагрузки генератора. В настоящее время завод разрешил допускать перекас в температурах воздуха до 12° С, что позволит избежать ограничения нагрузки, но дефекты выполнения воздушного тракта под машиной, несомненно, имеются.

Киких-либо дефектов в основных элементах турбогенератора (обмотка и железо статора, обмотка ротора) во время работы и при ремонте не было обнаружено.

Подводя итог первым результатам эксплуатации генератора Т2-100-2, необходимо еще раз отметить, что собственно генератор — вполне надежная и доброкачественная машина. Тем

досаднее выглядят те дефекты вспомогательного оборудования, которые нарушают ее нормальную работу.

Необходимо, чтобы завод «Электросила» не оттягивал выполнение мероприятий по устранению всех дефектов по турбогенератору Т2-100-2 и закрепил свое выдающееся достижение.

Выбор сечения сопротивления гашения поля из условий нагрева

Инж. Л. Г. МАМИКОНОВ
Азэнерго

В практике иногда приходится сталкиваться с необходимостью выбрать сопротивление для гашения поля синхронной машины. Способ расчета сечения этого сопротивления в литературе не затрагивается.

Предлагаемый метод расчета¹, будучи приближенным, дает заведомо преувеличенные размеры сечения, тем не менее результаты подсчета по этому методу показали, что выбираемые по указаниям ХЭТЗ и устанавливаемые в настоящее время на турбогенераторах сопротивления гашения поля имеют по нагреву большой запас и поэтому излишне громоздки.

Основные соотношения. Энергия (в Wsec), выделившаяся в сопротивлении R_z за время гашения поля в виде тепла,

$$W_z = R_z \int_0^{\infty} i^2 dt, \quad (1)$$

где i — мгновенное значение тока, протекающего через сопротивление, в амперах и

t — время в секундах.

Закон убывания тока, протекающего по сопротивлению, зависит от ряда факторов и выполнение квадратуры инте-

грала $\int_0^{\infty} i^2 dt$ иногда является довольно трудной задачей.

Обойти эту трудность и вычислить рассеянное в сопротивлении тепло можно следующим образом.

Всякая синхронная машина во время гашения поля представляет систему магнитных контуров, связанных общим полем и имеющих свои потоки рассеяния. В конце процесса гашения эти поля практически исчезают. Освобождающаяся энергия полей общего и рассеяния — затрачивается на нагрев контуров, в частности, и цепи возбуждения. Каждый контур нагревается за счет некоторой части энергии общего поля и энергии собственного поля рассеяния. Доля энергии общего поля, рассеиваемая в каком-либо отдельном контуре, падает с увеличением общего числа контуров.

Из сказанного ясно, что при прочих равных условиях в цепи возбуждения выделится больше тепла, если синхронная машина не имеет демпферного контура и когда обмотка статора разомкнута. Из этих наиболее тяжелых по нагреву условий² мы и будем исходить в дальнейшем.

Обозначим суммарную энергию поля W_μ .

При принятых условиях эта энергия рассеется в роторной цепи. Если R_p — сопротивление всей роторной цепи, то в сопротивление, очевидно, выделится в виде тепла доля энергии

$$W_z = \frac{R_z}{R_{пот} + R_z}. \quad (2)$$

Общая энергия W_μ складывается из энергии потока взаимной индукции статора и ротора Φ_0 и энергии поля рассеяния ротора Φ_s . Поток рассеяния замыкается, главным образом, по путям с большим магнитным сопротивлением (воздух, пазы). Можно принять, что этот поток изменяется пропорционально току, ротора, и соответствующую энергию определять по формуле:

$$W_s = \frac{I_p^2 L_s}{2}, \quad (3)$$

¹ При разработке метода автор использовал весьма ценные указания инж. И. А. Сыромятникова.

² Реально всякая машина имеет демпферные контуры, хотя бы в виде массивной бочки ротора, массивных сердечников полюсов и др.

где I_p — ток ротора, предшествующий гашению поля, L_s — индуктивность рассеяния.

Поток взаимной индукции Φ_0 проходит по сильно насыщенным путям и в общем случае создается результирующими ампер-витками статора и ротора, потому энергия этого потока не будет пропорциональна квадрату тока ротора. Эту энергию удобнее всего выразить через энергию поля взаимной индукции при холостом ходе для $U_{cm} = U_n$.

При холостом ходе машины насыщение еще не очень велико, и потому мы можем энергию потока взаимной индукции выразить уравнением:

$$W_{ox} = \frac{I_x^2 L_0}{2}, \quad (4)$$

где A_{ox} — энергия поля взаимной индукции при холостом ходе, I_x — ток холостого хода при $U_{cm} = U_n$, L_0 — индуктивность, соответствующая потоку Φ_0 для обмотки ротора при холостом ходе.

В общем случае поток взаимной индукции несколько отличается от потока взаимной индукции при холостом ходе Φ_{ox} . Положим $\Phi_0 = a\Phi_{ox}$. Энергия потока взаимной индукции Φ_0 будет:

$$W_0 = a^2 \frac{I_x^2 L_0}{2}. \quad (5)$$

Индуктивность рассеяния

$$L_s = \tau_s L_0,$$

где τ_s — коэффициент рассеяния ротора при холостом ходе. Величина же L_0 , обычно неизвестная для машин, может быть приближенно определена³ по величине постоянной времени цепи ротора при разомкнутом статоре T_0 :

$$L_0 \approx T_0 R_{pom}. \quad (6)$$

Ток до начала гашения поля $I_p = v I_x$, где v — кратность тока ротора до начала гашения току холостого хода.

Таким образом для общей энергии поля получаем:

$$W_\mu = \frac{I_{xx}^2 T_0}{2} R_{pom} (a^2 + v^2 \tau_s). \quad (7)$$

Количество тепла, выделившееся в сопротивлении гашения поля,

$$W_z = \frac{I_x^2 T_0}{2} (a^2 + v^2 \tau_s) \frac{R_z R_{pom}}{R_z + R_{pom}}. \quad (8)$$

Наиболее тяжелым будет случай гашения поля при повышении напряжения на машине вследствие сброса полной нагрузки. Обычно напряжение при этом не превосходит 150% номинального, что мы и примем для расчета.

Из сказанного вытекает, что сопротивление гашения поля должно быть рассчитано на количество тепла, определяемое уравнением:

$$W_z = \frac{I_x^2 T_0}{2} (2,25 + v^2 \tau_s) \frac{R_z R_{pom}}{R_z + R_{pom}}. \quad (9)$$

Выбор сечения сопротивления гашения поля ввиду значительной скорости протекания явления можно производить без учета теплоотдачи по формуле:

$$q \sqrt{\frac{W_z}{\tau_{\max} R_z}} \xi, \quad (10)$$

где q — сечение в mm^2 , τ_{\max} — допустимый нагрев, $\xi = \frac{\rho}{c\gamma}$ — величина, зависящая от материала, где в свою очередь ρ — удельное сопротивление материала в $\frac{\Omega \text{mm}^2}{\text{м}}$, c — удельная теплоемкость в $\frac{\text{Wsec}}{\text{g}^\circ\text{C}}$, γ — удельный вес материала в $\frac{\text{г}}{\text{см}^3}$.

Отметим еще раз, что сечение, определенное по формуле (10), будет иметь запас для реальных машин.

Выбор сечения чугунных сопротивлений. Применим полученные формулы для выбора чугунных сопротивлений для турбогенераторов. При этом принимаем встречающиеся на практике параметры турбогенераторов, дающие наихудшие

³ Влиянием коэффициента рассеяния и демпферных контуров пренебрегаем, это дает преувеличенное значение L_0 , а следовательно, и энергии.

в отношении нагрева сопротивления гашения поля результаты: $T_0 = 10 \text{ sec}$, $\tau_s = 0,1$, $\cos \varphi = 0,7$, о. к. з. = 0,5.

Для такого турбогенератора

$$v = \sqrt{\cos^2 \varphi + \left(\sin \varphi + \frac{1}{\text{о. к. з.}} \right)^2} = 2,8.$$

Подставляя принятые величины в формулу (9), получим

$$W_z \approx 15 I_x^2 \frac{R_z R_{pom}}{R_z + R_{pom}}.$$

Для чугуна $\xi = 0,247$ и $\tau_{\max} = 300^\circ\text{C}$. Тогда по (10) сечения

$$q = 0,111 I_x \sqrt{\frac{R_{pom}}{R_{pom} + R_z}}. \quad (11)$$

Для турбогенераторов отношение $\frac{R_z}{R_p}$ обычно не бывает меньше 2, что мы и примем для расчета. В этом случае $q = 0,064 I_x = 0,023 v I_x = 0,023 I_{p,n}$.

Если принять длительно допустимую плотность тока для чугуна равной $1,8 \frac{\text{А}}{\text{мм}^2}$, то соответствующий длительно допустимый ток для найденного сечения

$$I_{\text{дл.дон}} = 0,0414 I_{p,n}. \quad (12)$$

Из последней формулы заключаем, что для турбогенераторов длительно допустимый ток сопротивления гашения поля должен быть равен 4-5% номинального тока ротора, а не 20%, как это указывает ХЭТЗ.

Экспериментальная проверка нагрева сопротивления гашения поля, выбранного согласно указаниям ХЭТЗ. Экспериментальная проверка была произведена для сопротивления гашения поля синхронного компенсатора завода "Электросила" 7500 kVA, $U_n = 6600 \text{ V}$, $n = 750$ об/мин. Сопротивление гашения поля выбрано и поставлено специально для этих компенсаторов заводом ХЭТЗ.

Данные сопротивления гашения поля: материал — чугун, элементы HC-400/20; $q = 72 \text{ mm}^2$; $R_z = 1,0 \Omega$. Для синхронного компенсатора: $I_x = 160 \text{ A}$; $v = 2,62$, $\tau_s \approx 0,2$, $R_{pom} = 0,262 \Omega$.

Тогда при гашении поля, соответствующего самому тяжелому случаю, $U = 1,5 U_n = 9900 \text{ V}$, в сопротивлении гашения поля выделяется согласно (8) количество энергии $W_z = 96300 \text{ Wsec}$ и по формуле (10) $\tau = 4,6^\circ\text{C}$.

Экспериментальная проверка нагрева производилась при гашении поля холостого хода и $U = 9000 \text{ V}$. Измерение температуры производилось при помощи термопары медь-константан и милливольтметра S-H17 mV, 120° , $C = 2,4 \frac{^\circ\text{C}}{\text{шкалы}}$.

Практически отклонения стрелки прибора обнаружено не было. Меньший нагрев, чем по расчету, объясняется наличием мощной демпферной системы. Таким образом опыт вполне подтверждает полученный нами вывод о том, что сопротивления, выбранные по указанию ХЭТЗ, имеют очень большой запас.

О форме для расчета электрических сетей*

Инж. С. Г. ЕГОРОВ

Харьков

Существующие способы расчетов электрических сетей весьма трудоемки. Кроме того, в низковольтных сетях не определяется экономическое сечение, следовательно, принятые плотности тока не соответствуют экономически наилучшим.

Для сокращения затрат труда проектировщиков многие организации (Московское, Харьковское и Ленинградское отделения «Электропрома» и др.) разработали способы расчета и выпустили специальные таблицы.

Обычно низковольтные сети рассчитываются по допустимой потере напряжения при разомкнутой магистральной системе. Результаты расчетов сводятся в 4 таблицы, формы которых приводятся ниже в последовательности выполнения расчетов.

Первая форма содержит исходные данные для расчетов сетей, а остальные 3 — результаты произведенных расчетов. Наше предложение касается последних трех форм, вместо которых получается одна, приводимая ниже.

Нетрудно видеть, какое упрощение и сокращение расчетов

* В порядке обсуждения. Редакция.

Расчет сечений проводов (кабелей) и потерь напряжений при экономической плотности тока $S = \dots \text{A/mm}^2$

Район

ТП №

Форма СН

НККХ—УССР		К техническому проекту городской электросети		Инд.							
„Гипроград“		Распределительная сеть напряжения в		Лист №							
Харьков		Размещение распределенной нагрузки	город район	Всего листов	Форма РС основная						
№ кварталов и обозначение сторон кварталов		Нагрузка по отдельным видам потребления, вт			Полная нагрузка						
Длина сторон кварталов в п.											
Число жителей в квартале и по отдельным сторонам его											
Площадь квартала, га											
Этажность застройки											
		Жилые помещения	Учреждения	Внутри-кварт. площадь	Мелкие моторы	Бытовые эл. приборы	вт	а			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

Форма 2

Инд.

Расчет моментов

Лист

Район

ТП №

Форма М

№ п/п	Обозначение участка	Длина плеча l, м	Нагрузка i, а	Момент $i \times l$ 3×4	Сумма моментов $\Sigma i \times l$	Длина участка lk, м	Произведение $lk \Sigma i \times l$ $\frac{10 \cdot 3}{6 \times 7}$
1	2	3	4	5	6	7	8

Форма 3

Инд.

Расчет магистральной потери напряжения

Лист

Район

ТП №

Форма ПН

№ п/п	Обозначение магистральной	Подкоренное выражение			Значение корня $\sqrt[3]{A \sqrt{5}}$	1+A	(1+A) ²	Потеря напряжения ϵ	ТП №
		Числитель	Знаменатель	Частное 3:4					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Форма 4

Инд.

Расчет сечений проводов и потерь напряжений

Район

ТП №

Форма СН

№ п/п	Обозначение участка	Сумма моментов участка ΣM	Произведение $R \Sigma M$	Расчетная потеря напряжения ϵ_p	Сечение провода q, мм²		Действит. потеря напряжения ϵ_d	Разн. потерь напр. $\frac{\epsilon - \epsilon_d}{1+A}$	Суммарная потеря напряжения	
					расчетное 4:5	принятое			а	%
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

получается при новом способе, по которому определяется экономическое сечение, проверяемое затем по техническим нормам на допускаемую потерю напряжения, нагрев проводов и механическую прочность. Так, если по нормам Горстройпроекта для расчета при одной нагрузке требуется 13 мин времени, то по новому способу для этого требуется всего лишь 2—1,5 мин, т. е. в 7—8 раз меньше.

Но самое главное заключается в том, что провода и кабели будут работать при экономически наивыгоднейшей плотности тока, что даст большой экономический эффект.

Для производства расчетов по новому способу должна быть определена или задана экономическая плотность тока. На

основании многочисленных расчетов для данного периода времени экономическая плотность тока по меди равна 2,5—3 A/mm² при числе часов использования максимума в год $T_{\max} = 4000$. Для алюминия она равна 1,5—2, для железа 0,3—0,4 A/mm².

Если в существующих сетях плотности тока достигают 5—6 A/mm², а падение напряжения в фидере 15—20%, то плотность тока в проектируемых сетях до 1—0,5 A/mm² по меди приносит электрохозяйству в целом перерасход и металла и электроэнергии вследствие того, что в одной сети произведен перерасход цветного металла, а в другой ввиду его дефицитности применяется железо при плотности тока 1—1,5 A/mm².

Расчет надо вести по нагрузкам, ожидаемым через 3—4 года, предусмотрев в будущем возможность прокладки дополнительных кабелей, постройки новых линий либо замены проводов.

Определение экономической плотности тока при других значениях T_{\max} для меди производится по следующей формуле:

$$S'_m = S \sqrt{\frac{\tau}{\tau'}} = (2,5+3) \sqrt{\frac{2600}{\tau'}} = \frac{125+150}{\sqrt{\tau'}}$$

где $S_m = 2,5-3 \text{ A/mm}^2$ — экономическая плотность тока при $T_{\max} = 4000$;

$\tau = 2600$ — коэффициент годовых потерь энергии при том же T_{\max} ;

τ' — коэффициент годовых потерь энергии при ином T_{\max} , определяемый по кривой Эйлера:

$$\text{для алюминия } S'_a = \frac{75-100}{\sqrt{\tau'}}$$

$$\text{для железа } S'_{ж} = \frac{15-20}{\sqrt{\tau'}}$$

Автоматический потенциометр

Доц. Л. Ф. КУЛИКОВСКИЙ

Азербайджанский индустриальный институт им. Азизбекова

В настоящее время для целей измерения и записи малых напряжений и токов (μV и μA) находят применение компенсационные схемы с использованием фотоэлементов и электронных ламп.

Автор совместно с инж. Литвиновым С. Я. и Верпатовым К. А.¹ разработал фотоэлектрический потенциометр, предназначенный для записи малых напряжений как искусственного, так и естественного поля. Опытный экземпляр потенциометра был разработан в 1933 г. электротехнической лабораторией Азербайджанского индустриального института им. Азизбекова. На рис. 1 изображена принципиальная схема потенциометра.

Основные элементы устройства следующие: гальвано-

¹ Авторское свидетельство № 46632 Л. Ф. Куликовскому, К. А. Верпатову и С. Я. Литвинову.

метр — 1, фотоэлемент — 4, электронная лампа — 2, самопишущий миллиамперметр — 3 и осветитель — 5.

Приведенную схему можно рассматривать, как состоящую из двух цепей, имеющих гальваническую связь.

Первая цепь — измерительная — содержит зажимы MN , на которые подается измеряемое напряжение, и гальванометр 1. Вторая цепь — компенсирующая — состоит из фотоэлемента 4, усиленной лампы 2 и самопишущего миллиамперметра 3. Связь между этими цепями осуществляется сопротивлением R_1 .

Измерительная цепь воздействует на компенсирующую с помощью осветителя 5, освещающего фотоэлемент 4 через щель флажка, сидящего на стрелке гальванометра.

Начальный режим устройства устанавливается при отсутствии на зажимах MN разности потенциалов ($U_x = 0$). Флажок гальванометра устанавливается в такое положение, при котором на фотоэлемент попадает максимальный световой поток. Отрицательное смещение, получающееся в этом случае на усиленной лампе, полностью ее запирает. Таким образом напряжению $U_x = 0$ будет соответствовать ток анодной цепи $I_a = 0$.

Если же между зажимами MN появится разность потенциалов, то в начальный момент в цепи $MABN$ установится

максимальный по величине ток $i_m = \frac{U_x}{R_a + R_g + R_1}$. Ток i_m

стремится повернуть рамку гальванометра на максимальный угол α_m . Рамки гальванометра, поворачиваясь, вызывает уменьшение освещенности фотоэлемента, что в свою очередь создает в анодной цепи лампы ток I_a . Анодный ток I_a , проходя по сопротивлению R_1 , создает в точках AB напряжение U_{AB} , противоположно направленное U_x .

С поворотом рамки напряжение U_{AB} возрастает, и ток в измерительной цепи $MABN$ уменьшается. Рамка гальвано-

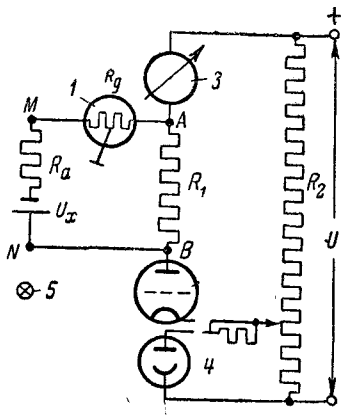


Рис. 1

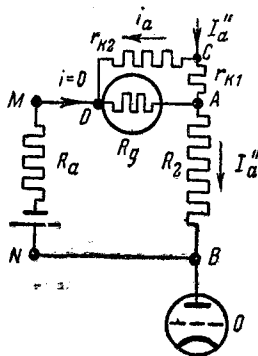


Рис. 2

метра будет вращаться до тех пор, пока напряжение U_{AB} не станет равно U_x . Ток контура $MABN$ при этом будет равен нулю. Наступит компенсация измеряемой разности потенциалов U_x напряжением U_{AB} .

Из выражения $U_x = U_{AB} = I_a R_1$ следует, что ток в анодной цепи I_a пропорционален измеряемому напряжению. Это дает возможность проградуировать шкалу миллиамперметра в милли- или микроамперах.

Изменение анодного напряжения U , питающего схему, на результат измерения не влияет. Действительно, изменение напряжения U вызовет в первый момент изменение тока I_a , равновесие между U_{AB} и U_x нарушится, и в измерительной цепи $MABN$ появится ток Δi , который повернет рамку на некоторый дополнительный угол $\Delta \alpha$ в ту или иную сторону. Поворот будет совершаться до тех пор, пока анодный ток I_a , протекающий по сопротивлению R_1 , не создаст разность потенциалов U_{AB} , равную U_x .

Полная компенсация напряжения U_x напряжением U_{AB} в автоматическом потенциометре может иметь место лишь тогда, когда в измерительном контуре $MABN$ применен гальванометр без противодействующего момента со стороны подвеса.

Если же в устройстве применяется гальванометр с подвесом, создающим противодействующий момент, — полной компенсации U_x напряжением U_{AB} не будет.

Равновесие напряжений для случая применения гальванометра с противодействующим моментом будет выражаться равенством $U_x - U'_{AB} = \Delta U$, где ΔU — часть некомпенсированного напряжения, создающая ток i , удерживающий рамку

в некотором положении ΔU , — составляет погрешность измерения, обусловленную упругостью подвеса, ток некомпенсации

$$i = \frac{U_x - U'_{AB}}{R_a + R_g}.$$

Последнее выражение позволяет заключить, что этот ток зависит при данной упругости подвеса гальванометра также от сопротивления R_a источника.

При измерении U_x сопротивление R_a не должно меняться в широких пределах, ибо изменение его вызывает изменение тока некомпенсации, что в свою очередь приводит к изменению при данном U_x напряжения U_{AB} .

Соответственным подбором гальванометра можно погрешность от величины некомпенсации ΔU сделать очень малой.

Для увеличения точности измерения ток i при всех обстоятельствах должен быть равен нулю. Необходимо поэтому применить в схеме некоторые элементы, которые создавали бы дополнительный момент, уравновешивающий момент противодействия подвеса. Это, например, может быть достигнуто внесением в магнитное поле ферромагнитного тела, расположенного таким образом, чтобы момент от сил магнитного притяжения компенсировал момент от подвеса².

ОЛИЗ³, на котором был разработан промышленный экземпляр автоматического потенциометра, разгружает рамку гальванометра от тока i путем введения в схему дополнительных сопротивлений r_{k1} и r_{k2} (рис. 2).

Наличие в схеме автоматического потенциометра сопротивлений r_{k1} и r_{k2} делает гальванометр с противодействующим моментом практически безмоментным.

Важной особенностью автоматического потенциометра является и то, что чувствительный гальванометр, применяемый в схеме, имеет время установки значительно меньшее, чем время установки того же гальванометра, используемого вне схемы.

Происходит это по следующим причинам.

Если на зажимы MN задать U_x , то в начальный момент времени по рамке гальванометра будет протекать ток i_n , во много раз превышающий ток i установившегося режима, так как противодействие нарастанию тока со стороны напряжения U_{AB} в первый момент отсутствует. Так, в первом экземпляре автоматического потенциометра, изготовленного электротехнической лабораторией Азербайджанского индустриального института им. Азизбекова, время установки уменьшилось в 5 раз, а в заводском — почти в 10 раз. Конечно, достигнутое время установки T_0 не является временем установки самопишущего миллиамперметра, применяемого в схеме для записи U_x .

Описанное выше устройство нашло применение в нефтяной промышленности.

В нефтяной промышленности при бурении скважин на нефть или газ для определения характера проходивших пород широко применяется метод измерения их электрического сопротивления (электрический каротаж). На рис. 3 показана электрическая схема измерения. Ток электрода A создает в породах, окружающих его, а следовательно, и вдоль скважины, напряжения, создающие на электродах MN измеряемую потенциометром Π разность потенциалов. Electroды AMN перемещаются вдоль оси скважины. Снятые таким образом электрические характеристики пород вполне определяют геологическую структуру скважины.

Применение этого метода для характеристики пробуренных скважин дало значительный экономический эффект, так как отпала необходимость производить во время бурения отбор грунтов.

Неотъемлемой частью работы по снятию диаграмм сопротивлений является потенциометр, при работе с которым требуется наличие оператора. Оператор, поворачивая рукоятку потенциометра, вводит в измерительную цепь напряжения компенсирующие измеряемые на отдельных участках

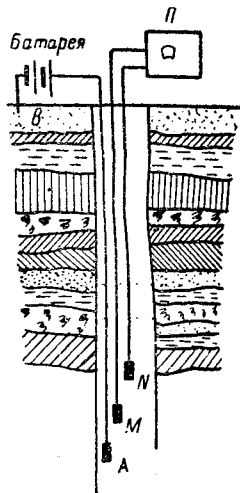


Рис. 3

² Л. Ф. Куликовский Авторское свидетельство № 53057 по заявке 30/XII 1936.

³ Авторское свидетельство № 52730. Селибер и Френкель.

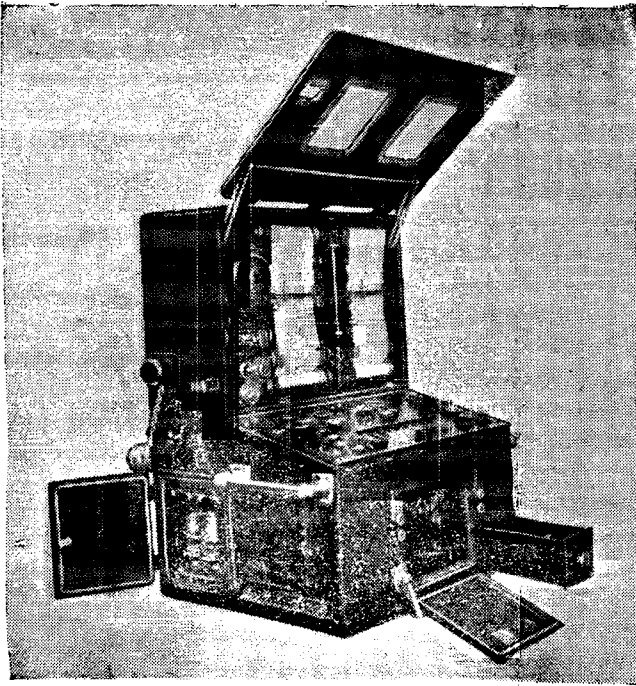


Рис. 4

скважины разности потенциалов на электродах MN . Поворот рукояток потенциометра на ту или иную величину через механическую передачу записывается на диаграмму, перемещения которой являются функцией погружения электродов AMN .

Описанный выше метод измерения имеет тот основной недостаток, что оператор, записывая непрерывно меняющуюся, вследствие перемещения электродов AMN вдоль скважины, разность потенциалов между MN , вносит в измерение много субъективных ошибок. Применение автоматического потенциометра исключает все указанные выше недостатки ручной записи, — метод измерения становится объективным.

Автоматические потенциометры по описанной выше схеме были разработаны и выполнены ОЛИЗ. Первые потенциометры (СП-1) состояли из двух частей — компенсационной и самопишущей.

В настоящее время ОЛИЗ после эксплуатационного испытания первого автоматического потенциометра СП-1, учтя недостатки его, разработал конструктивно второй промышленный экземпляр. Внешний вид его показан на рис. 4.

В этой конструкции в одном аппарате объединены два автоматических потенциометра — один для записи напряжений от искусственного поля, а другой для записи э. д. с. естественного поля в скважине.

Условия работы автоматического потенциометра при кароттировании нефтяных скважин весьма тяжелые: прибор непрерывно перевозится, работа его протекает при больших диапазонах изменения температуры окружающей среды и т. д. Все же устройство работает без отказа и общая погрешность не превышает 2%. Область применения автоматического потенциометра не ограничивается только нефтяной промышленностью, — он может быть с успехом применен всюду, где необходимо измерить и записывать малые напряжения и токи. Например, фирмы Weston, Hartman & Braun применяют подобную схему для непрерывного контроля концентрации водородных ионов (рН). Представляется возможным использование автоматического потенциометра для записи температуры, измеряемой при помощи термпар, для целей телеизмерения, а также в схемах автоматических устройств.

Литература

1. Ragio Engineer № 1, 1936.
2. R. Gilbert. Review of sc. Inst. № 7, 1936.
3. L. Merz. VDE Fachbericht № 10, 1938, 11, 1939.
4. H. Derigs и Voss. ETZ № 9, 1940.
5. Отраслевая лаборатория измерений ОЛИЗ. Инструкция к использованию автоматическим потенциометром для кароттажа типа ПС-1.
6. E. Wengel. ATM № 104, 1940.
7. М. А. Гаврилов. Телемеханизация диспетчерского управления энергетическими системами. 1938.
8. Б. С. Сотсков. Элементы телемеханической и автоматической аппаратуры, т. 1, 1938.
9. Е. Н. Каленов и В. В. Шаскольский. Десять лет электрической разведки на нефть, журн. „Разведка недр“ № 10—11, 1939.

ИЗ ИСТОРИИ НАУКИ

Джозеф Джон Томсон

Проф. Н. А. КАПЦОВ

Московский государственный университет им. Ломоносова

В конце августа 1940 г. газеты принесли известие о смерти одного из крупнейших, с мировым именем, физиков Джозефа Джона Томсона (Joseph John Thomson).

Нам неизвестно, в каком виде и была ли вообще отмечена кончина Дж. Дж. Томсона в Англии, охваченной пожаром второй империалистической войны и подвергающейся непрерывным и ожесточенным бомбардировкам. Но в СССР, стране социализма, остающейся в стороне от империалистической бойни и высоко ценящей науку и ее лучших представителей, смерть такого крупного ученого, как сэра Дж. Дж. Томсона, не может пройти незамеченной. Журнал «Советская наука» посвятил ему настоящий очерк¹, а физики Москвы 2 октября 1940 г. на объединенном заседании Института физики Академии Наук СССР, Института физических проблем Академии Наук СССР и Научно-исследовательского институ-

та физики при физическом факультете Московского Ордена Ленина государственного университета им. М. В. Ломоносова отметили память великого ученого.

Основные вехи жизни. Дж. Дж. Томсон родился 18 декабря 1856 г. в небогатой семье, недалеко от г. Манчестера. Родители Томсона предполагали подготовить из него инженера, но для этого было необходимо сперва пройти стаж ученика в какой-либо промышленной фирме. Томсона приписали к одной из фирм. Однако желающих поступить в ученики было так много, что ему пришлось бы долго ждать очереди. Тогда отец Томсона отдал его в Оуэн-колледж, в Манчестере. Томсону в то время не было еще 15 лет, он был моложе своих сверстников по колледжу.

Физику в Оуэн-колледже преподавал Бальфур Стюарт. На его лекциях, излагаемых настолько ясно и просто, что Дж. Дж. Томсон мог их понимать, несмотря на свой ранний возраст, будущий знаменитый ученый впервые почувствовал интерес к физике. Но так как он готовился стать

зван также ряд данных, сообщенных в докладах 2 октября 1940 г. на заседании в память Томсона акад. П. Л. Капица и проф. В. И. Павловым, работавшими в Кавендишской лаборатории и лично знавшими Дж. Дж. Томсона, а также проф. А. К. Тимирязевым по книге Томсона «Размышления и воспоминания» (1934). Очерк печатается в журнале «Электричество» в переработанном виде.

¹ См. в журнале «Советская наука» № 10, 1940 г. очерк материалами для которого послужили работы и книги Дж. Дж. Томсона и рефераты о них в «Fortschritte der Physik» и в «Physikalische Berichte». Сведения биографического характера и данные о его преподавательской деятельности почерпнуты из материалов, помещенных в 118 томе журнала «Nature» (1926) по поводу юбилея Кавендишской лаборатории и 70-летия со дня рождения Дж. Дж. Томсона, а также из доклада самого Томсона «Reminiscences of Physics and Physicists», напечатанного в «Science», 80, 169, 1934. Испол-

инженером, то его главным или ведущим профессором, на первых курсах был Осборн Рейнольдс, известный по исследованию условий перехода ламинарного движения жидкости в вихревое. Рейнольдс произвел на Томсона сильное впечатление. Приводим слова, сказанные в 1934 г. Томсоном о Рейнольдсе, ибо они характерны и для самого Томсона:

«Рейнольдс был выдающейся личностью. Однако из его характерных черт было то, что, когда он брался за какую-нибудь задачу, он начинал сам продумывать вопрос с самого его основания. Я думаю, этот путь лучше, чем если начать с составления библиографии по данному вопросу и с чтения литературы. Умы многих людей становятся более прозорливыми, когда они думают, чем когда они читают. В первом случае они менее склонны признать удовлетворительным какое-либо объяснение, кажущееся вероятным, но не выдерживающее строгой критики»².

В этих словах сказалась разившаяся, повидимому, под влиянием Рейнольдса, глубокая черта характера Томсона. Она выразилась в очень большой самостоятельности и самобытности мнений и теорий и в нежелании считаться с некоторыми другими направлениями и теориями в течение всей его научной работы. В период расцвета научной деятельности Томсона эта черта привела его к великим открытиям и достижениям, но в более поздние годы не совсем благоприятно отразилась на результатах его теоретических работ. Влиянию Рейнольдса следует приписать и начало работ Дж. Дж. Томсона по теории вихрей, работ, которые сыграли большую роль в его физических теориях.

По окончании Оуэн-колледжа Дж. Дж. Томсон держал в Тринити-колледже в Кембридже конкурсный вступительный экзамен, дававший право получать стипендию. Но поступить туда ему не удалось, так как он не обнаружил достаточных знаний по элементарной математике, хотя и был достаточно силен в высшей математике. В течение года Томсон устранил этот недостаток и после вторичных испытаний был зачислен в Тринити-колледж. Здесь он обучался с 1876 по 1880 г., сдал экзамен на ученую степень и был принят в число членов (fellow) колледжа. По своим успехам он оказался вторым. Первым был Лармор.

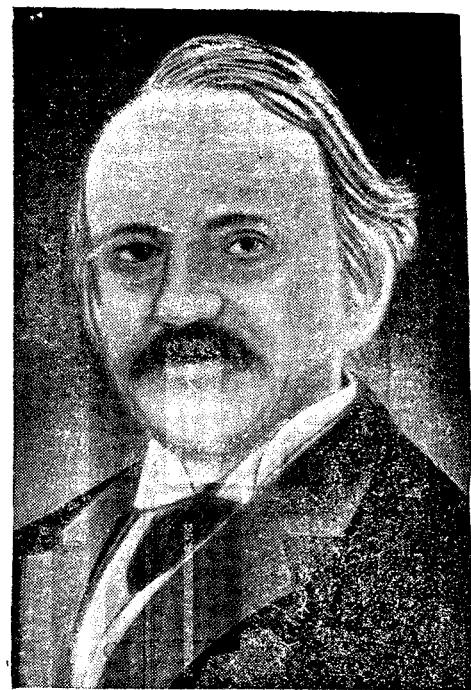
В период пребывания Томсона студентом (scholar) Тринити-колледжа там преподавали астроном Адамс, физики Стокс и Максвелл. Еще до поступления в Тринити-колледж Томсон написал первую небольшую научную работу, которая была напечатана в «Известиях» Лондонского королевского общества.

Усиленные занятия математикой и математической физикой в Кембридже не оставляли молодому Томсону по его словам времени для работы в лаборатории. Сдав все экзамены и получив ученую степень, он тотчас же начал работать в знаменитой Кавендишской лаборатории под руководством выдающегося физика лорда Релея, принявшего управление лабораторией и заведывание кафедрой экспериментальной физики в Кембридже после смерти Максвелла, в 1879 г. Тема работы, предложенной Релеем Томсону, состояла в определении отношения « ν » электромагнитных единиц к электростатическим. Результаты определения этой величины должны были служить подтверждением или опровержением теории электромагнитных явлений Максвелла.

В 1884 г. лорд Релей покинул кафедру экспериментальной физики и пост директора Кавендишской лаборатории. Неожиданно для себя и по словам Томсона³ для многих членов университетской коллегии он был избран преемником Релея по кафедре и директором Кавендишской лаборатории. Кафедрой и пост директора Томсон занимал в течение 35 лет, до 1919 г., когда был назначен Master'ом, т. е. верховным руководителем Тринити-колледжа. Его преемником по кафедре и лаборатории был Э. Рёзерфорд. Однако Дж. Дж. Томсон не совсем порвал свои связи с лабораторией и продолжал в ней работы по явлениям электрического разряда в газах. Таким образом вся его учебная, педагогическая и научная работы с 1876 по 1940 г., т. е. в течение 64 лет, протекала в Кембридже в Тринити-колледже, в основанной Максвеллом Кавендишской лаборатории — случай совершенно исключительный и постоянство изумительное!

С самого начала работы Дж. Дж. Томсона стали получать высокую оценку в научных кругах. В 1882 г. ему была присуждена премия Адамса за работу о движении вихрей («*Treatise of the motion of vortex rings*»). С 1884 г. он — член Лондонского королевского общества.

В 1906 г. он получил нобелевскую премию за работы по разряду в вакууме и газах и по определению $\frac{e}{m}$ и e элект.



трона. С 1924 г. он подписывает свои работы как Sir J. J. Thomson, что означает присвоение ему одного из высших в Англии званий.

Таковы основные вехи этой замечательной и столь плодотворной по результатам научной деятельности жизни, оборвавшейся на 84 году от роду. Люди, знавшие Дж. Дж. Томсона, свидетельствуют, что единственным увлечением этого человека, кроме занятий физикой, был его сад. Вся его личная жизнь вращалась в кругу научных занятий, семьи и ухода за садом.

Кавендишская лаборатория и ее деятели. До 1895 г. в Кавендишской лаборатории в Кембридже могли работать только студенты и сотрудники Тринити-колледжа. С этого же года доступ в нее был открыт также студентам и начинающим молодым ученым из других университетов. Первыми из этих студентов были: Э. Рёзерфорд, знаменитый исследователь в области радиоактивных явлений, будущий директор Кавендишской лаборатории, и Таунсенд, известный английский физик, до сих пор работающий в излюбленной Томсоном области электрических разрядов в газах. Одним из первых таких студентов был также и французский физик Ланжевен, известный нам не только как ученый, но и как последовательный материалист. Ланжевен много сделал в области газового разряда, интерес к которому в нем возбудил Томсон.

Физик Вильсон разработал в лаборатории Томсона метод исследования путей заряженных частиц в газе, всемирно известный под именем «Камеры Вильсона» и широко теперь применяющийся при исследовании космических лучей. Результаты исследований Вильсона сыграли в свою очередь немалую роль в работах самого Томсона и в работах Рёзерфорда. Учеником Дж. Дж. Томсона является и Астон. Он продолжил работы Дж. Дж. Томсона по исследованию «положительных лучей» — пучков быстро движущихся положительно заряженных частиц. Усовершенствовал методику Томсона, основанную на отклонении заряженных частиц в электрическом и магнитном поле (метод парабола Томсона), Астон построил масс-спектрограф, прибор, позволяющий очень точно

определять $\frac{e}{m}$, а следовательно, и массу положительных ионов. Он открыл также целый ряд новых химических элементов, а именно так называемые «изотопы» ряда элементов⁴.

Через Рёзерфорда и Астона с Дж. Дж. Томсоном связана современная новая отрасль физики — физика ядра. К числу воспитанников Кавендишской лаборатории относится и сын Дж. Дж. Томсона, Г. П. Томсон, один из первых исследователей дифракции электронов. По рассказам лиц, рабо-

² „Science“, 80, стр. 170, 1934.

³ „Nature“, 118, suppl. № 2981 (1926), статья „Retrospect“.

⁴ Изотопами называют элементы с тем же порядковым номером в периодической системе (следовательно, с той же величиной положительного заряда ядра) и с теми же химическими и оптическими свойствами (тем же числом электронов и той же конфигурацией электронных оболочек), но с другой массой и другим строением ядра.

тавших в Кавендишской лаборатории при Томсоне, он уделял большое внимание тем студентам, которые оказывались способными к научно-исследовательской работе, и живо интересовался их успехами. Он предпочитал таких учеников, которые не просили у него темы для работы, а приезжали к нему с выбранной темой.

Перед началом первой империалистической войны в Кавендишской лаборатории велось одновременно более 30 работ. Из лиц, работавших с 1895 по 1941 г. в руководимой Дж. Дж. Томсоном Кавендишской лаборатории, до 1926 г. три человека получили нобелевскую премию, двадцать два удостоились чести быть членами Лондонского королевского научного общества («Royal Society») и более пятидесяти получили кафедры физики в университетах. В числе своих первых сотрудников по проведению экспериментальных работ Дж. Дж. Томсон называет «своего старого друга» Ричарда Трелфолда (Richard Threlfold). Позднее ему помогал Г. Ф. Ньювалл (H. F. Newall), впоследствии профессор астрофизики в Тринити-колледже. Особенно тепло Томсон отзывался о помощи своего личного ассистента Е. Эверетта (E. Everett), который проработал с ним около 40 лет.

Дж. Дж. Томсон обладал и большим педагогическим талантом, многое сделал для улучшения преподавания физики в Тринити-колледже в Кембридже. Из учебников им написан курс физики (совместно с Пойнтингом) и специальный курс по электричеству и магнетизму под названием «Элементы математической теории электричества и магнетизма» («Elements of the Mathematical Theory of Electricity and Magnetism», Cambridge, 1895), выдержавший несколько изданий. В этой книге Томсон старается обойтись возможно простейшими математическими приемами. По словам его учеников, Дж. Дж. Томсон обладал удивительной способностью заставлять своих слушателей чувствовать соответствие его точки зрения с реальной действительностью. Лекции знаменитого англичанина были полны побуждений к дальнейшим исследованиям и, таким образом, выполняли главное назначение лекций: пробудить работу мысли в самих слушателях⁵.

Круг учеников и последователей Дж. Дж. Томсона не ограничивался физиками, работавшими в Кавендишской лаборатории. Его работы, а также письма имели большое научное влияние и на американских физиков. Дж. Дж. Томсон несколько раз совершал поездки в Америку и выступал там на научных конгрессах (1904 г. Сан-Луи, конгресс электриков) и с сериями докладов в научных институтах. Так например, большое влияние Томсона на свои работы признает такой видный американский физик, как Р. А. Милликен, доведший, как известно, определение заряда электрона, начатое Томсоном, до крайних пределов точности⁶. Дж. Дж. Томсон представлял собой редкое сочетание в одном лице чрезвычайно глубокого и серьезного теоретика с высшей степени искусным экспериментатором. В этом одна из причин огромного успеха его научной деятельности. Дж. Дж. Томсон за долгие годы своей научной деятельности твердо, хотя и бесосновательно, стоял на почве материализма и никогда ее не покидал.

Первые научные работы. Тематика первых научных работ Дж. Дж. Томсона были теория Максвелла и законы движения вихрей. Еще студентом (scholar) Тринити-колледжа Томсон печатает в 1880 г. в «Philosophical Magazine» статью «О максвелловской теории света», где для случая движущейся среды приходит к уравнениям, аналогичным уравнениям Максвелла для покоящейся среды, объясняет дисперсию света зависимостью диэлектрической постоянной тела от частоты световых колебаний и показывает, что из максвелловской теории вытекают формулы Френеля для отраженной и преломленной волны — независимо от решения последнего вопроса, уже данного в то время Лорентцем. В этой работе проявляется стремление Дж. Дж. Томсона найти возможно большее число подтверждений теории Максвелла, которую в те годы еще относили к разряду гипотез, и развить эту теорию для всевозможных случаев.

В следующем, 1881 г. Томсон дает объяснение опытов Крукса и Гольдштейна с катодными лучами на основе теории Максвелла. Вместе с тем в этой работе — «Об электрических и магнитных эффектах, происходящих при движении назлектризованных тел», — Дж. Дж. Томсон первый ставит вопрос об изменении инертной массы тела вследствие наличия в нем электрического заряда и вычисляет этот прирост массы. Томсон предсказывает здесь факт, обнаруженный экспериментально много позднее в опытах Кауфмана с отклонением весьма быстрых катодных лучей (β -лучей) в электрическом и магнитном поле, и закладывает первый камень в учение об эквивалентности массы и энергии.

К представлениям об эквивалентности массы и энергии и зависимости массы от скорости Дж. Дж. Томсон пришел, исходя из представлений об эфире и силовых трубках. Позднее, после открытия электрона и неразрывной связи между электрическими зарядами и частицами веществ, Томсон стал представлять себе массу тела как массу окружающего его эфира, увлекаемого при движении тела силовыми трубками электрического поля, неразрывно связанными с частицами тела. После открытия радиоактивных веществ, непрерывно выделяющих большое количество энергии, Томсон приходит к заключению, что атом радия, обладая большим избытком энергии, должен обладать и избытком массы. Томсон хочет определить, увеличивается ли при этом и вес радия, т. е. хочет решить коренной вопрос: является ли всякая инертная масса также и массой тяготеющей.

Мало известные опыты Томсона, связанные с этим вопросом, описаны Томсоном в докладе на американском конгрессе электриков в 1904 г. и в речи «Материя и эфир», в которой изложена вся его концепция инертной массы.

Впоследствии идея Томсона была осуществлена другими исследователями, и тяготеющая масса оказалась равной массе инертной. Эквивалентность энергии и массы была особенно подчеркнута и внедрена в сознание физиков теорией относительности Эйнштейна и обычно характеризуется как большое достижение этой теории. Вполне допустимо поставить вопрос, не потому ли Дж. Дж. Томсон так слабо реагировал в своих работах на теорию Эйнштейна, что это достижение новой теории не представляло для Томсона ничего нового и самый факт был с его точки зрения давно ясен и понятен?

Результаты первой серии работ Томсона по определению отношения v Максвелла, принятых все с той же целью превратить гипотезу Максвелла в доказанную экспериментально теорию, опубликованы Томсоном в 1884 г.; v найдено им равным $2,963 \cdot 10^{10}$ cm/sec. Теория Максвелла требовала, чтобы это отношение было равно скорости, а для последней тогда было найдено значение, более близкое к $3 \cdot 10^{10}$. Поэтому Дж. Дж. Томсон впоследствии возвращается к определению v , совершенствует метод и в 1890 г. совместно с Сирле (G. F. Searle) получает результат $v = 2,9955 \cdot 10^{10}$ cm/sec, что представляет собой уже хорошее подтверждение теории Максвелла. 1887 г. — год экспериментального осуществления Герцем электромагнитных волн, год торжества теории Максвелла. Существование электромагнитных волн — лучшее подтверждение теории Максвелла, но до опытов Герца эти волны не удавалось обнаружить, хотя попытки производились во многих местах, в том числе и в Кавендишской лаборатории. После удаchi опытов Герца теорию Максвелла признали даже наиболее скептически настроенные умы. Содержание теоретических курсов по теории света круто изменяется. Еще год назад господствовавшая в германских университетах теория упругого эфира изгоняется. Этот успех теории основателя и первого директора Кавендишской лаборатории живо в ней воспринимается и по словам Томсона вызывает горячий энтузиазм среди молодого поколения ее работников, а также целый поток работ с электромагнитными волнами во всех углах лаборатории («on all over the building»).

Дж. Дж. Томсон, большой энтузиаст максвелловской теории, не остался в стороне от этого течения. В 1888 г. он уже демонстрировал волны Герца на лекциях, а в 1889—1890 гг. им опубликован ряд работ по электромагнитным волнам и колебаниям. Из них особое внимание обращают на себя сравнительное определение диэлектрической постоянной стекла ϵ (при быстрых колебаниях ϵ было найдено равным $2,7$ $n = \sqrt{\epsilon} = 1,65$; при медленных колебаниях ϵ было найдено равным 12) и работа, в которой Томсон, возвращаясь к излюбленной им области электрических разрядов в газах, привлекает законы распространения электрических волн к объяснению явлений слоистого разряда.

Вихревые атомы, силовые трубки Фарадея. Первые работы Дж. Дж. Томсона по теории вихрей (статья 1881 г.) завершаются в 1883 г. уже упомянутой монографией «Движение вихревых колец». В 1885 г. Томсон совместно с Ньюваллом проводит экспериментальное исследование над вихревыми кольцами. Результаты этого исследования имели большое влияние на направление многих последующих работ Томсона. Убедившись в устойчивости вихревых колец и установив законы их взаимодействия, Дж. Дж. Томсон становится на точку зрения гипотезы Вильяма Томсона, считавшего атомы вихревыми кольцами в эфире. Он развивает математическую сторону этой теории (1885) и настолько убежден в ее истинности, что кладет представление о вихревых атомах в основу своих первых работ по электрическому разряду (1884 и 1886) и смело берется за истолкование химических реакций в газе на основе той же гипотезы («On the Chemical Combination of Gases» 1884).

Не менее, чем движение вихрей, молодого Дж. Дж. Том-

⁵ «Nature» 118, 879, 1926.

⁶ Там же, 882, 1926.

сона интересует другая теоретическая тема о применении общих принципов механики к физическим и физико-химическим явлениям. По этому вопросу он печатает с 1885 по 1887 г. ряд работ «Philosophical Transactions» («философские трактаты») и «Proceedings» («Известия») Лондонского королевского общества, читает специальный курс лекций в Кавендишской лаборатории в 1886 г. и издает в 1888 г. книгу «Приложение динамики к физике и химии»⁷.

Силовые трубки Фарадея. В 1891 г. Томсон занимается вопросом «Об описании свойств электрического поля при помощи трубок электрической индукции», т. е. при помощи силовых трубок Фарадея. К силовым трубкам Томсон впоследствии возвращается не раз. Почти через столетия, в последние годы жизни, они становятся в центре теоретических изысканий Томсона. В работе 1891 г. его концепция такова: электрические заряды связаны с атомами; атомы связаны друг с другом силовыми трубками, оканчивающимися на зарядах; свободные электрические заряды («свободное электричество») могут появляться только одновременно с появлением свободных атомов; при исчезновении свободного электричества должно происходить то или иное химическое соединение.

В 1893 г. Дж. Дж. Томсон издает книгу «Новейшие исследования в области электричества и магнетизма»⁸. Эта книга, по мысли Дж. Дж. Томсона, должна служить продолжением трактата Клерка Максвелла по электричеству и магнетизму. В ней собрано все, что было сделано в этой области после Максвелла до 1893 г., и развито в математической форме учение о силовых трубках Фарадея.

Разряды в газах. Определение $\frac{e}{m}$ катодных лучей.

Работы Дж. Дж. Томсона в области газового разряда в этот период очень многочисленны и разноосторонни. Исходя из уже упомянутых выше представлений о связи между зарядами и атомами, Томсон приходит к мысли, что прохождение электрического тока через газ не должно быть связано с электризацией целых молекул, а непременно с их диссоциацией на свободные атомы («Об электризации воздуха» и «О связи между реакцией химического соединения и разрядом электричества через газы», 1894, «О связи между атомами и переносимыми ими электрическими зарядами», 1895).

Конечно, не все детали этих многочисленных работ сохранили свое значение, не все выводы можно признать теперь приемлемыми. Много было у Томсона блужданий в области газового разряда, но, несмотря на это, даже и они часто показывают необычайную смелость мысли.

На природу катодных лучей до Томсона существовали две различных точки зрения: английские физики считали их потоком быстро движущихся частиц; немецкие физики утверждали, что, несмотря на отклонение их в магнитном поле, катодные лучи представляют собой какие-то особого рода волны в эфире. Этих физиков не убедили даже опыты Перрена, показавшего, что катодные лучи заряжают отрицательным электричеством тела, на которые эти лучи падают. Движение отрицательных зарядов, по их мнению, могло и не быть непосредственно связано с вызывающими люминесценцию стекла катодными лучами.

Чтобы устранить все возражения и внести полную ясность в вопрос, Томсон прежде всего повторил опыты Перрена, но только он направлял катодные лучи на электроскоп после отклонения их в магнитном поле. Электроскоп заряжался после того, как на него попадало создаваемое катодными лучами и отклоняемое магнитным полем пятнышко флуоресценции, по которому определялся путь катодных лучей. Этим было доказано, что отрицательные заряды не являются чем-то посторонним, распространяющимся независимо от катодных лучей, а неразрывно их сопровождают и составляют их неизменную сущность.

Чтобы определить отношение заряда частиц в катодных лучах к их массе, Томсон применил метод, в котором $\frac{e}{mv}$ определялось по отклонению пучка катодных лучей в магнитном поле, а v — путем компенсации отклонения в магнитном поле отклонением того же пучка в электрическом поле. В магнитном поле на движущуюся со скоростью v заряженную частицу действует (перпендикулярно к направлению движения частицы и к направлению магнитного поля) сила evH , где e — заряд частицы, H — напряженность магнитного поля. Электрическое поле напряженности E действует на заряженную частицу с силой eE . При совместном действии магнитного и электрического поля, направленных перпендику-

лярно друг к другу и перпендикулярно к направлению движения пучка катодных лучей, последний не будет вовсе испытывать отклонения, если $evH = eE$. В этом случае

$$v = \frac{E}{H}.$$

Это простое и изящное решение задачи привело к неожиданным для самого Томсона результатам. Опыты, опубликованные им в 1897 г., показали, что для частиц, несущих электрические заряды в катодных лучах, $\frac{e}{m}$ по крайней мере

в 1000 раз больше, чем для атома водорода при электролизе. Чтобы объяснить этот результат, надо было объяснить, что или масса «катодной частицы» в 1000 раз меньше массы атома водорода, или заряд ее в 1000 раз больше заряда атома водорода при электролизе, или, наконец, что e больше, а m меньше, чем в случае электролиза.

«Корпускулы». Анализируя эти результаты, Дж. Дж. Томсон отказывается от своей прежней точки зрения и сразу делает очень смелый шаг. Он приходит к заключению, что в катодных лучах мы имеем дело с частицами («корпускулами»), размеры и масса которых гораздо меньше, чем размеры и масса атома. Первое его сообщение об этом, сделанное на заседании Лондонского королевского общества 30 апреля 1897 г., оценивается как событие чрезвычайной важности в истории физики.

Определение $\frac{e}{m}$ для катодных лучей было вскоре повторено Кауфманом и Ленардом. Они полностью подтвердили результаты Томсона. Но все же высказывания Дж. Дж. Томсона о существовании частиц меньших, чем атом, и о сложной структуре атома являлись еще только гипотезой. Чтобы проверить ее достоверность, надо было определить величину заряда корпускулы, и Дж. Дж. Томсон за это взялся. Разработанный им для этой цели метод Томсон применил сперва к определению заряда частиц, образуемых при ионизации газа рентгеновскими лучами (работа опубликована в 1898 г.), а затем к корпускулам с таким же

отношением $\frac{e}{m}$, как и в случае катодных лучей. Томсон остроумно использовал в этой работе предложенный Вильсоном метод получения капелек тумана на заряженных частицах при быстром (адиабатическом) расширении газа, насыщенного парами воды.

В результате Томсон убедился, что корпускулы действительно имеют массу по крайней мере в 1000 раз меньшую, чем масса атома водорода⁹. Томсон в той же работе опреде-

лил $\frac{e}{m}$ и для корпускул, выходящих в вакууме из раскаленной угольной нити, и опять нашел то же значение отношения $\frac{e}{m}$. Сообщая об этих результатах в статье, опубликованной в «Philosophical Magazine» в 1899 г., Томсон тут же излагает свою новую точку зрения на процесс положительной ионизации атомов, как на отрыв электрона от атома, и на образование отрицательно заряженного атома, как на присоединение электрона к нейтральному атому. Масса положительно заряженного атома меньше массы нейтрального на величину массы корпускулы-электрона; масса отрицательно заряженного — настолько же больше. Оторвать дополнительно вторую корпускулу от атома труднее, чем первую. Атом состоит из корпускул и чего-то другого, связанного с положительным зарядом и удерживающего отрицательно заряженные корпускулы-электроны в равновесии.

С этими представлениями о строении вещества мы теперь знакомы со школьной скамьи, но 41 год назад, когда их впервые высказал в столь ясной форме Томсон, они шли вразрез с твердо установившимися убеждениями о неизменности, неделимости и неделимости атомов.

Дж. Дж. Томсон стал тотчас же развивать дальше картину строения вещества. Он объяснил наличием электронов в металле причину электропроводности и ряда других свойств металлов. В 1900 г. на Всемирном конгрессе физиков в Париже Дж. Дж. Томсон делает доклад о своих

опытах по определению $\frac{e}{m}$ в корпускул и об электронной теории металлов, одним из создателей которой он являлся.

Лучи Рентгена были открыты в 1895 г. Томсон живо откликнулся на это событие. Он сразу же ставит вопрос о природе рентгеновских лучей и предпринимает ряд опытов для проверки различных предположений о ней. В 1896 г. он исследует, не поляризуются ли рентгеновские лучи при прохождении через турмалиновую пластинку; открывает, что

⁹ В настоящее время это отношение принимается равным 1840 (с точностью до нескольких единиц).

⁷ „Applications of Dynamics to Physics and Chemistry“, London, 1888.

⁸ „Note on recent researches in electricity and magnetism. Intended as a sequel to prof. Clerk Maxwell's Treatise on Electricity and Magnetism“, Oxford, 1893.

они рассеивают заряд наэлектризованной пластинки, помещенной в воздухе; показывает, что облученные ими диэлектрики приобретают способность проводить электрический ток; наконец, вместе с Резерфордом, тогда практикантом Кавендишской лаборатории, Томсон открывает ионизацию газов рентгеновскими лучами.

В 1898 г. в статье «Теория взаимной связи между катодными и рентгеновскими лучами» («A Theory of the Connection between Cathode and Röntgen Rays») Томсон дает объяснение возникновению рентгеновских лучей при падении катодных лучей на твердые тела; это объяснение остается справедливым и поныне в отношении так называемого белого рентгеновского излучения: внезапная остановка или, выражаясь точнее, быстрое торможение электрона при ударе о тело приводит к излучению коротких электромагнитных импульсов, представляющих собой рентгеновское излучение. В следующем году выходит совместный обзор по рентгеновским лучам, составленный Рентгеном, Стоксом и Дж. Дж. Томсоном¹⁰.

Ионизация газов рентгеновскими лучами значительно расширяла возможности исследования явлений прохождения электрического тока через ионизованный газ. Томсон и его ученики широко воспользовались этой возможностью. Число работ Томсона по вопросам газового разряда увеличивается. В то же время он продолжает интересоваться следовавшими в те годы одно за другим капитальными открытиями в области физики и в 1902 г. включается в работу по радиоактивности.

Теория атома. Работая над разнообразными проблемами, Томсон продолжает глубоко изучать основные вопросы строения вещества. Постепенно оформляется его теория атома. Он исследует устойчивость и периоды колебаний атома, состоящего из облака положительного заряда, внутрь которого вкраплены в определенном числе правильно и симметрично расположенные электроны (1909); Томсон рассчитывает также эффект, производимый магнитным полем на колебания электронов в такой модели атома.

Томсон изучает результаты исследования фотоэффекта, не считаясь с введенным уже тогда Планком и Эйнштейном понятием о световых квантах $h\nu$, и на свой лад приходит к выводу, что энергия света не распределяется в пространстве равномерно, а элементарные количества энергии разделены сравнительно большими промежутками, которые он для некоторых случаев и подсчитывает¹¹. Здесь начинаются расхождения воззрений Дж. Дж. Томсона с квантовой теорией, впоследствии еще более углубившиеся. В эти же годы Томсон делает попытки объяснить всемирное тяготение, исходя из корпускулярной теории материи.

К тому же блестящему периоду научной деятельности Томсона относятся и появление в свет двух его замечательных книг: «Электричество и материя»¹² и «Корпускулярная теория вещества»¹³. Первая книга отражает воззрения Дж. Дж. Томсона на сущность электрического поля и результаты работ автора по определению $\frac{e}{m}$, по раскрытию природы носителей отрицательных и положительных электрических зарядов и «природы единицы, из которой построены атомы».

Вторая книга устанавливает, что свойства атомов, построенных по Томсону, во многих отношениях представляют сходство со свойствами химических элементов; здесь содержится ряд мыслей, позднее более подробно развитых Томсоном в книге «Электрон в химии» (1923).

Установив, что при малых давлениях газа носителями отрицательного электрического заряда являются электроны, Томсон постепенно начинает исследовать природу носителей положительных зарядов — положительных ионов — и действия, производимые потоками этих частиц. В 1905 г. вышла в свет его работа «Опыты с канальными лучами».

«Метод парабол». Целый ряд работ последующих лет носит короткие названия: «Положительные лучи», или «Лучи положительного электричества». В 1910 г. Томсон начинает применять новый метод для исследования положительных лучей, а именно: он переходит к применению фотографической пластинки вместо флуоресцирующего экрана. В следующем, 1911 г. он еще более совершенствует технику исследования положительных заряженных частиц и вырабатывает свой знаменитый «метод парабол».

¹⁰ Röntgen Rays. „Harpers Scientific Memoirs“, № 3, New York, 1899.

¹¹ Статья „On the Ionization of Gases by Ultra — Violet Light and on the Evidence as to Structure of Light afforded by its Electrical Effects“. Proc. Cambr. Phil. Soc. 14, 417—424, 1907.

¹² „Electricity and Matter“ изд. 1-е, Cambridge, 1903, русский перевод 5-го англ. изд. (New Haven, 1924), М.—Л. 1928.

¹³ „Corpuscular Theory of Matter“, London, 1907, русский перевод издания Mathesis, 1910.

Под действием, соответственным образом направленных, магнитного и электрического полей положительно заряженные частицы описывают пути, которые оставляют на помещенной под некоторым углом к направлению их движения фотографической пластинке следы в виде парабол. Расчет показывает, что частицы, обладающие разной скоростью, но одним и тем же отношением заряда к массе $\frac{e}{m}$, дают различные точки одной и той же параболы. Частицы с различным $\frac{e}{m}$ вычерчивают различные параболы. По положению каждой данной параболы можно определить $\frac{e}{m}$

для тех частиц, которым оно обязано своим происхождением. Этот метод является мощным орудием для исследования природы частиц, встречающихся в газовом разряде.

Продолжение работ по газовому разряду, электромагнетизму и теории атома. Как уже было указано выше, работы Томсона по явлениям газового разряда непрерывно продолжались наряду с другими работами. В 1898 г. он издал книгу «Разряд электричества через газы»¹⁴. В 1903 г. он выпустил на ту же тему новую книгу под названием «Проводимость электричества через газы» («Conduction of Electricity through Gases»). Издание книги повторено в 1906 г., а в 1928 и 1933 гг. вышли I и II тт. третьего издания, в котором соавтором Дж. Дж. Томсона является его сын, физик Г. П. Томсон (G. P. Thomson).

Из отдельных работ Томсона по газовому разряду за период от открытия электрона и до 1915 г. следует отметить следующие: подсчет поля в газе при прохождении через него тока (1894); статью «Генезис ионов в электрическом разряде в газах» (ионизация толчком, 1900); работы, указывающие на возникновение весьма мягких рентгеновских или весьма коротковолновых ультрафиолетовых лучей внутри объема газа, в котором происходит разряд; разбор вопроса об условиях, при которых происходит рекомбинация положительных и отрицательных ионов в газе (процесс, обратный процессу ионизации), и подсчет скорости, с которой происходит эта рекомбинация (1905).

Томсона весьма интересовало явление слоистого разряда. Он неоднократно к нему возвращается, ставит новые опыты по определению напряженности поля E в различных точках разряда (путем наблюдений отклонения в поле разряда пучка катодных лучей, направленных перпендикулярно к оси разрядной трубки) и обнаруживает специфический ход E в отдельных «стратах» (светящихся полосках) слоистого разряда, повторяющийся периодически от страты к страте (1908, 1909).

Томсон развивает также теорию движения ионов в газе под действием электрического поля (подвижность ионов) (1909) и дает объяснение большой подвижности отрицательных ионов при малых давлениях газа. По мнению Томсона, при движении отрицательных ионов через газ и постоянных столкновениях их с молекулами газа происходит распадение отрицательного иона на нейтральную молекулу и электрон, а затем вновь образование отрицательного иона при присоединении электрона к другой молекуле (1915).

В тот же период расцвета своей научной деятельности, период, ознаменованный рядом блестящих экспериментальных работ и открытий, сопровождавшихся и коренной ломкой представлений об атоме, Дж. Дж. Томсон продолжал попытку построить на базе учения о вихрях общую картину физических явлений, исходя из представления об эфире как о вещественной среде и о силовых трубках Фарадея как о некоей физической реальности.

В 1903 г. в статье «О динамике электрического поля» Томсон потенциальную энергию электрического поля трактует как кинетическую энергию движущегося эфира. В 1910 г. в работе «О теории строения электрического поля и об ее приложении к рентгеновским лучам и к свету» Томсон приписывает силовым трубкам определенную сложную структуру.

Об этом же трактует и статья 1912 г. «Унифицированная теория света». Те же воззрения Томсона излагаются и в ряде обзорных докладов, где он приводит их наряду с изложением современных ему успехов физики. Некоторые из этих докладов переведены на русский язык (например, «Материя, энергия и эфир», речь, произнесенная на съезде Британской ассоциации в Виннипеге в 1909 г.¹⁵).

Первая империалистическая война нарушила развитие работ Томсона. Научная работа в возглавляемой им лаборатории

¹⁴ „The Discharge of Electricity through Gases“, London 1898.

¹⁵ Изд. 2-е, Петроград, 1914.

была прервана, некоторые сотрудники были отправлены на фронт, другие — в специальные лаборатории, работавшие на оборону. Да и сама Кавендишская лаборатория, а также и ее мастерские, необходимые для проведения экспериментальных исследований, работали только на оборону. Этот перерыв в работе привел к глубокому перелому в научной деятельности Дж. Дж. Томсона, чему способствовали также назначение его Master'ом Тринити-колледжа и связанный с этим отказ от кафедры и от поста директора Кавендишской лаборатории.

Послевоенные экспериментальные работы Томсона проводятся исключительно по отдельным вопросам электрических разрядов в газах. Его попрежнему интересует слоистый разряд (1922, 1930). Он выполняет весьма обстоятельное исследование высокочастотного кольцевого разряда (1928) и дает ему объяснение, одержавшее в настоящее время верх, которое в кратких словах можно свести к тому, что этот разряд представляет собой аналогию «токов Фуко» в газе. Томсон еще раз возвращается к коротковолновым световым излучениям, имеющим место в разряде (1926, 1927), и указывает на них, как на ранее не учтенный важный фактор в разрядных явлениях; некоторые детали этих последних работ не получили еще должной оценки и ждут дальнейшего продолжения. Томсон развивает дальше теорию разряда, в частности теорию катодного падения и глеющего свечения (1926, 1930). Он обращает внимание на электрические колебания и ряд других приводящихся явлений, имеющих место в разряде.

В теоретических исследованиях послевоенного периода научной деятельности Дж. Дж. Томсон, во-первых, занят следствиями, вытекающими из его теории атома. Результаты этих работ изложены им, кроме ряда специальных статей, в серии докладов, прочитанных в 1923 г. в Филадельфии в Франклиновском институте и напечатанных в журнале этого института, а также отдельной книгой, озаглавленной «Электрон в химии»¹⁶. Дж. Дж. Томсон игнорирует в этой книге теорию атома Бора, несмотря на все успехи последней за десять лет ее существования.

Теория Бора с ее динамическим равновесием электронов много полнее и лучше отражает реальную действительность, чем теория Томсона, придерживающаяся статической картины с электронами, лишь колеблющимися около положения равновесия. Тем не менее, благодаря тем зернам истины, которые имеются в теории Томсона, ему удается объяснить целый ряд явлений из области химии и многие соотношения между химическим составом тел и их физическими свойствами. Основная мысль всей книги выражена Томсоном в предисловии в таких словах: «Электрон является доминирующим фактором в тех явлениях, которыми наиболее занимаются химики, а следовательно, электрон должен быть доминирующим фактором в химической теории, и нужно искать объяснения химическим явлениям, пользуясь представлениями теории электронов».

«По ту сторону электрона». Второй раздел вопросов, которыми занялся Дж. Дж. Томсон в рассматриваемый период, носит очень глубокий характер. Работы Девиссона и Джермера и вслед за ними и сына Дж. Дж. Томсона, Г. П. Томсона, принесли открытие, а затем подтверждение волновой природы электрона. Оказалось, что при встрече пучка электронов с атомами кристалла электроны ведут себя не как заряженные corpusculы, а следуют таким же путем, как и рентгеновские лучи. Это чрезвычайно важное экспериментальное открытие нашло живой отклик в сознании Томсона. Но при работе над этим существеннейшим вопросом Дж. Дж. Томсон остается верен себе. Он оставляет в стороне «библиографию», а вместе с ней и теорию Де-Бройля, из которой можно было предсказать наблюдаемые явления, и не считается с начавшей тогда усиленно развиваться волновой механикой.

Томсон идет своей собственной дорогой. Раз обнаружены новые явления, не укладывающиеся в им же созданное представление об электроне-corpuscule, значит электрон представляет собой нечто гораздо более сложное. Томсон, преодолевший в свое время метафизическое представление о неделимости и неизменности атома, не боится отказаться и от нового фетиша — неделимости и неизменности электрона. Мысль о том, что такой шаг может оказаться необходимым, была у него и раньше. Один из его докладов, напечатанный в 1926 г. (за год до открытия дифракции электронов), заканчивается фразой, что кроме тех областей, в которых уже протекает работа физиков, им предстоит завоевать еще другие новые миры, а именно те, из которых построены электроны и протоны.

Новая точка зрения Томсона на электрон и на электронные волны, изложенная им в ряде статей, напечатанных

в 1928 и 1929 гг. в «Philosophical Magazine»¹⁷, а также в докладе «По ту сторону электрона», изданном отдельной брошюрой¹⁸, сводится в основных чертах и очень схематично к следующему: электрон состоит из ядра или керна, являющегося местом начала силовых трубок; этот керн окружен средой из мелких частичек размером много меньше электрона; движение электрона вызывает появление волн в этой среде, причем скорость распространения волн зависит от длины волны (сверхдисперсная среда, аналогия — распространение электромагнитных волн в верхних слоях атмосферы, в слое Хевисайда).

«Электронным волнам» посвящена последняя из известных нам работ Дж. Дж. Томсона, напечатанная в первом выпуске «Philosophical Magazine» за 1939 г.¹⁹

В теоретической части этой работы Томсон увязывает свою теорию электрона с результатами работ своего сына Г. П. Томсона по дифракции электронов, а именно с тем, что произведение из длины волны на скорость электрона есть величина постоянная. (В современной физике это непринуж

денно следует из равенства Де-Бройля $\lambda = \frac{h}{mv}$.) Изложен-

ные теоретические рассуждения приводят восьмидесятидвух-летнего Томсона к постановке новых опытов по исследованию методом парабол пучка электронов, прошедших через газ. Результаты этих экспериментов подтверждают потерю электроном при каждом ионизирующем столкновении с частичкой газа одного и того же количества энергии, соответствующего ионизационному потенциалу данного газа. Работа содержит также ряд замечаний и рассуждений, касающихся разряда в газах при очень малых давлениях. В этой последней работе Дж. Дж. Томсона содержится большое количество ссылок на работы, проведенные им в самые различные периоды его долгой жизни.

Новые представления Томсона об электроне не нашли отклика и развития в трудах других физиков. Это произошло потому, что Томсон слишком оторвался от достижений современной теоретической физики и не перебрал к ней мостика от своих представлений. А другие не смогли или не пожелали пойти ему навстречу. Но любой ученый, твердо и сознательно стоящий на почве диалектического материализма, должен понять, что тот шаг, который пытался сделать Томсон, является необходимым этапом в развитии наших представлений о материи.

«...природа бесконечна,— говорит Ленин,— как бесконечна и мельчайшая частица ее (и электрон в том числе)...»²⁰. «Электрон также неисчерпаем как и атом, природа бесконечна...»²¹. Это, конечно, не значит, что в качестве правильного отображения действительности восторжествует именно картина электрона, набросанная Томсоном. Но за этим выдающимся физиком-мыслителем навсегда останется заслуга, что он первый из физиков осознал необходимость и неизбежность углубления в область, лежащую «по ту сторону электрона».

Третий раздел теоретических работ, относящийся к последнему периоду деятельности Дж. Дж. Томсона, является продолжением его исследований по вопросам строения электрического поля. Эти работы Томсон, как мы видели, не оставлял в течение всей своей научной деятельности. Они вытекают из воззрений Фарадея и Маковелла, на которых воспитался Дж. Дж. Томсон, и тесно связаны с его первыми работами о вихрях и с его динамическими представлениями о природе потенциальной и кинетической энергии. Развитие до крайнего предела унаследованное от Рейнольдса стремление идти в теоретическом мышлении своей дорогой привело Томсона и в этих работах к разрыву с современными теориями физики.

В изданной в 1934 г. книге «Размышления и воспоминания» Дж. Дж. Томсон полностью отвергает работы Эйнштейна по теории относительности и придает лишь очень ограниченное значение теории атома Бора, сыгравшей, как известно, большую роль в развитии теоретической и экспериментальной физики. Дж. Дж. Томсону удается, развивая теорию силовых трубок Фарадея, объяснить лишь отдельные факты и отдельные стороны вновь открытых явлений. Он не может охватить единой теорией все громадное разнообразие вновь накопленных экспериментальных фактов.

¹⁷ «Philosophical Magazine» 5, 191—198, 6, 1254—1281, 1928; 8, 7, 1073—1092, 1929.

¹⁸ «Beyond the Electron» Cambridge, 1928. Русский перевод. Изд. Гос. Тимирязевского научно-исследовательского института изучения и пропаганды естествознания с точки зрения диалектического материализма, М., 1930.

¹⁹ «Philosophical Magazine», 27, 1—32.

²⁰ Ленин, Соч., т. XIII, стр. 255.

²¹ Там же, стр. 215.

¹⁶ «The Electron in Chemistry», русский перевод, М—Л. 1927.

В противоположность той блестящей эпохе, когда он изучал природу частиц, переносящих электрические заряды в газовом разряде, и пришел к открытию электрона, когда он закладывал фундамент современной теории атома, проверяя каждый шаг постановкой остроумно придуманных опытов, Томсон ничего не сообщает в этот период о какой-либо экспериментальной проверке им своих положений и выводов по «строению» электрического поля.

В то время как и теория относительности, и теория Бора, и волновая механика «предсказали» длинный ряд новых фактов, послужили путеводной нитью для их обнаружения, — развитая Томсоном за последний период его работы теория поля не привела к открытию новых фактов. При этом нельзя не вспомнить, что в начале его деятельности общие идеи той же теории, не связанные с детальными структурно-механическими построениями картины силовых трубок, привели Томсона к предсказанию зависимости массы от скорости.

Первая известная нам статья Томсона после перерыва, вызванного империалистической войной (если не считать небольшой заметки 1918 г.), носит название «О происхождении спектров и о законе Планка». Здесь Томсон пытается обойтись без трудно приемлемых постулатов теории Бора. Сложное строение, которое он приписывает в этой работе электрическим и магнитным силовым полям в атоме, приводит к теории атома, «фантастической» с точки зрения реферирующего эту работу в «Physikalische Berichte» физика-экспериментатора Зеелигера. «Работа, без сомнения, содержит в отдельных пунктах целый ряд замечательных мыслей, — говорит Зеелигер, — хотя нет желания подписаться под нею в целом». Эти слова характерны для отношения многих физиков к этим работам Томсона. К той же серии работ относятся статьи «Масса, энергия, излучение» (1921), «Структура света» (1925) ²².

Дальнейшие работы и доклады Дж. Дж. Томсона на ту же тему переплетаются с работами о строении электрона — кельвиновское чтение 1926 г., Механика электрического поля», статья «Об отношении электронных волн к световым квантам и закону Планка» (1930), две статьи «О моделях электрического поля и фотона» (1934), статья «О природе света» в «Nature» (1936).

Эфир, по представлению Дж. Дж. Томсона, является особым родом газом, состоящим из мельчайших частиц. Фотоны или световые кванты, которые являются носителями энергии

светового излучения, суть вихревые кольца в эфире. Их соотношение со световыми волнами такое же, как соотношение электрона-корпускулы с электронными волнами. Выше уже говорилось о разрыве этой теории, созданной Дж. Дж. Томсоном в одиночку, с современной теоретической физикой, развиваемой дальше рядом ученых, в том числе такими крупными представителями науки, как Зоммерфельд, Бор, Гейзенберг, Шредингер, Дирак, и их учениками. Томсон в этот период уже не руководил более молодыми научными силами и, повидимому, в значительной мере потерял общение с ними.

Дж. Дж. Томсон во всей своей научной работе несомненно стоял, хотя и стихийно, на материалистической точке зрения. В исследованиях Томсона, относящихся к блестящему периоду его научной деятельности, можно установить и наличие стихийного диалектического подхода к разрешению ряда вопросов: отказ от представлений о неизменности и неделимости атома, смелые поиски новой модели атома. Мы подчеркнули эту же черту в отношении стремления Дж. Дж. Томсона проникнуть в строение электрона. То же можно сказать и о стремлении проникнуть в «строение» электрического поля, основанном на убеждении, что уравнения поля не представляют собой последнего слова, что и здесь для исследования открывается целый неисчерпаемый мир. Замечательно также стремление Томсона стереть грань, искусственно воздвигнутую метафизическим естествознанием между физикой и химией («Электрон в химии»).

Но развивая новые представления, Томсон пытался их обосновать положениями метафизического материализма. Для него существовала только одна форма движения материи — механическая. Ведь всю свою жизнь он продолжал стремиться к «приложению принципов динамики к физике», и нельзя отрицать, что все явления — постоянного электрического поля и до световых квант и электронных волн — он хочет свести к явлениям механическим, в то время как природа бесконечна и неисчерпаема.

Вот почему стремления Дж. Дж. Томсона проникнуть по ту сторону электрона и электромагнитного поля остались бесплодными, но рассеянные в них «замечательные мысли» все еще ждут своего приложения и развития. Последнее может быть плодотворно осуществлено лишь на основе диалектического материализма. А для этого нужно, чтобы в среде физиков это мировоззрение стало вполне осознанным. Неудача последних теоретических попыток Томсона для нас поучительна, и мы должны сделать из нее соответствующие выводы. Но эта неудача не должна затмевать перед нами всей его деятельности и не должна умалять в наших глазах значение Джозефа Джона Томсона как одного из крупнейших физиков конца XIX и начала XX века,

²² Русский перевод этой статьи, а также статья «Материя и эфир» напечатаны в виде приложения к цитированному выше русскому изданию книги Дж. Дж. Томсона «Электричество и эфир».

БИБЛИОГРАФИЯ

НАГЛЯДНЫЕ ТАБЛИЦЫ „РЕЛЕ и ЗАЩИТЫ“

В. К. СПИРИДОНОВ. Наглядные таблицы „Реле и защита“. Под редакцией Деткова Г. Г. Госэнергоиздат. Москва. Объем 12 таблиц, 1940, тираж 8000 экз. Цена 24 руб.

Выпуск альбома наглядных таблиц по релейной защите следует приветствовать. Уже самая мысль показа и популяризации реле в таком издании является ценной. Известно, что как бы хорошо ни были описаны реле в каталогах и учебниках, рисунок всегда помогает лучше усвоить то, что ускользает от читателя при изучении текста. Со стороны формы нужно отметить, что рецензируемый альбом выполнен хорошо. Исполнение рисунков цветными красками не только оживляет это издание, но и поясняет конструктивную часть реле.

Переходя к рассмотрению содержания альбома, необходимо отметить, что план создания его составлен удачно и в большой мере отражает особенности конструктивного выполнения реле и детали основных кинематических узлов. Помещенные в альбом конструкции охватывают основные типы реле производства ХЭМЗ, с учетом новых модификаций.

Полно и хорошо показаны в альбоме конструкции отдельных реле: реле максимального тока типа ЭТ-60, ИТ-80, промежуточного реле, блинкера и т. п.

К сожалению, принципы действия реле показаны недостаточно полно: не приведены хотя бы в самом элементарном виде векторные диаграммы. Между тем известно, что именно

с принципом действия реле широкие круги читателей недостаточно хорошо знакомы. Кроме того, не везде приведены характеристики реле и принципиальные схемы их присоединения, а также вовсе не указаны основные параметры реле. К числу важных типов реле, не вошедших в альбом, но имеющих большое практическое значение, можно отнести реле кодového типа (серии ЭП-400), реле токовое балансное, реле минимального импеданса (ИИ-III) и др. Кроме того, желательно было бы иметь в альбоме рисунки комплектных реле, например КР-121.

По мере выпуска заводом ХЭМЗ новых типов реле необходимо пополнять альбом соответствующими таблицами с подробной иллюстрацией принципов действия реле.

Альбом «Реле и защита», несмотря на некоторые недостатки, в целом является ценным и полезным изданием.

Благодаря хорошему внешнему оформлению таблиц альбом может служить для широкого круга читателей ценным пособием по релейному делу.

Инж. Я. М. СМОРОДИНСКИЙ

и инж. Г. И. АТАБЕКОВ

„Теплоэлектропроект“

Книга посвящена вопросам испытаний и оценке изоляционных материалов.

В первой части дается краткая классификация изоляционных материалов и методов их испытаний. Вторая часть содержит указания по обработке и подготовке различных изоляционных материалов к испытаниям.

Подробно описаны устройства для испытания пластичности нетвердых и искусственных материалов («Olsen—Bakelite Fließprüfer») и даются результаты соответствующих испытаний различных масс. Приводятся указания, касающиеся методики испытания текучести твердых искусственных смол и пластмасс, и результаты отдельных испытаний.

Далее следует основной раздел этой части книги, посвященный методам физических и химических испытаний.

Раздел электрических испытаний разработан достаточно подробно. Сначала даются общие указания относительно подготовки образцов к испытаниям, приводится интересная сводная таблица (табл. 6), которая говорит о том, какими электродом нужно пользоваться при определении электрической пробивной прочности и удельного сопротивления различных изоляционных материалов и, наконец, приводится описание устройства различных видов электродов.

При описании методов испытаний дается ряд указаний из немецких, английских, американских, французских и прочих норм. Очень интересно описание расположения электродов при измерении поверхностного сопротивления изоляции, принятого французскими нормами. В книге можно встретить все известные методы измерения объемного сопротивления изоляции с ценными описаниями устройства электродов для проведения этих испытаний. Здесь же описываются усовершенствованные омметры и другие переносные приборы.

Большое внимание в книге уделено измерению емкости, коэффициентов затухания и в особенности угла потерь. Помимо нормальной и расширенной схемы моста Шеринга, рассматривается ряд интересных мостовых схем; при этом приводится перечень основной литературы по этим измерениям и даются указания о техническом выполнении мостов переменного тока (различные схемы моста Шеринга, мост для измерения емкости и сопротивления и т. д.).

Отдельная глава книги посвящена электрическим испытаниям изоляционных материалов при высоких частотах (схема Ronde u. Schlegelmilch, схема Hartshorn и т. д.).

Следует отметить приведенные в книге выдержки из норм и предписаний различных стран (Америки, Англии, Франции, Швеции и т. д.), относящиеся к методам испытаний электрической прочности.

В книге имеются также указания, касающиеся испытаний дугостойкости изоляционных материалов, измерений различных электрических характеристик в зависимости от температуры, давления, влажности и т. д. Интересен параграф о статической обработке полученных результатов измерений.

Следующий раздел посвящен механическим испытаниям: измерение толщин, уд. веса, пористости, испытания на разрыв, на сжатие, на твердость, на скалывание и изгибы и т. д. В этой части заслуживают внимания описания универсального устройства для испытаний на растяжение, сжатие и изгиб, а также описания новейших прессов для испытания на разрыв керамических материалов, машин для испытания изоляционных материалов на изгиб, твердость и т. п. Кроме того, в этом же разделе даются ценные указания о размерах и форме образцов, которые для этих испытаний приняты в различных странах соответствующими нормами.

Значительный интерес представляют термические испытания и в первую очередь устройства для определения микроскопическим путем теплового коэффициента расширения и приспособление для определения теплопроводности изолирующих материалов.

Весьма интересно описание методов определения теплоустойчивости изоляционных материалов, которые приняты в различных странах, а также испытания при переменном и длительном воздействии тепла. Следует отметить также приведенные результаты изменения различных механических характеристик ряда изоляционных материалов после длительного воздействия тепла.

В конце этой части книги описаны омические и химические методы испытаний. Интересно описание установки для определения коэффициента абсорбции и глянцеваемости поверхности. Среди химических методов испытаний необходимо отметить определение водопоглощаемости и воздействий водяного пара и т. д.

Третий раздел книги посвящен оценке качества изоляционных материалов. Здесь большой интерес представляет табличный материал с электрическими и механическими характеристиками различных изоляционных материалов.

Книга издана хорошо, все чертежи и схемы даны с большой отчетливостью и наглядностью.

Нужно, однако, отметить, что книга не охватывает полностью испытаний всех изоляционных материалов. Так, в ней нет описаний испытаний волокнистых изоляционных материалов, кабельных бумаг, эмалевой и лаковой изоляции, пропиточных и заливочных масс и т. д.

Повышение требований к качеству продукции заставило вкратце пересмотреть существующие стандарты и в особенности методику испытания. Более критический подход и анализ стандартов показал, что значительная часть их подлежит серьезной переработке, главным образом, в части методики испытаний.

В свете этого положения рецензируемая книга может быть рекомендована для перевода или для использования при составлении аналогичной книги на русском языке.

Надобность в подобной книге велика.

Доц. В. А. ПРИВЕЗЕНЦЕВ
Завод „Москабель“

К. ШМИДЕЛЬ. Испытания электрических счетчиков. Schmiedel, K. Die Prüfung der Elektrizitäts-Zähler. Messeinrichtungen, Messmethoden und Schaltungen. 3 völlig bearb. Aufl. Berlin, J. Springer, 1940, 179 S. 160 Abb.¹

Книга содержит описание методов и аппаратуры для проверки, регулировки и исследования электрических счетчиков и рассчитана на читателя, уже знакомого с устройством и принципами действия самих счетчиков. В книге систематизировано значительное количество сведений, которые можно найти только в специальных журналах и научных трудах, мало доступных для большинства читателей.

Книга весьма ценна для руководящего технического персонала, занимающегося вопросами эксплуатации, изготовления и исследования счетчиков.

Простота, ясность изложения, отсутствие сложных математических выводов, большое количество отличных чертежей и рисунков делают книгу доступной и интересной не только специалисту-инженеру, но также и технику или опытному регулировщику и поверителю счетчиков.

Третье издание настоящей книги полностью переработано по сравнению с предыдущими. Описание оборудования, приспособлений и методов, которые уже широко известны и приводятся почти в каждой книге по счетчикам, автором совсем не даются или изложены очень кратко; вместо этого

читатель получает возможность ознакомиться с последними достижениями техники поверки и испытания счетчиков.

Так например, в книге изложены основные сведения по вопросам стабилизации и автоматического регулирования тока и напряжения; описаны принципы устройства и методы применения Gleichlast—Prüfzähler, обеспечивающего точность поверки порядка 0,1%. Также новинкой для большинства читателей будет способ регулировки трехфазных счетчиков с применением реле асимметрии нагрузки. Около 20 стр. книги отведено вопросам измерения вращающих моментов и трения в счетчиках, причем описаны малоизвестные, но весьма оригинальные методы. Этот раздел книги представляет большой интерес не только для работников по электрическим счетчикам, но будет весьма полезен для широкого круга лиц, занимающихся вопросами построения и исследования точных измерительных механизмов и реле в тех случаях, когда возникает необходимость в измерении малых сил вращающих и тормозящих моментов.

В книге даны обширные указания на журналы и специальные труды, что позволяет читателю обратиться к первоисточникам по тем вопросам, которые в книге изложены кратко или только упомянуты.

¹ Рецензия представлена Государственной научной библиотекой.

ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

Гидроэлектростроительство в США. *Power*, стр. 78—79, № 9, 1940; *Mechan. Eng.* стр. 661—662, № 9, 1940; *El. World*, стр. 9 (1239) № 17, 1940; *El. West*, стр. 62—64, т. 85, № 2, 1940; *El. West*, стр. 70, т. 85, № 4, 1940.

Последние пять лет (1936—1940) характеризуются значительным подъемом кривой развития гидроэнергетики в США (см. рисунок). Суммарная установленная мощность водяных турбин на всех станциях (общего пользования и промышленных) возросла за этот период на 3 млн. л. с. и составляла на 1940 г. 19 млн. л. с., а учитывая мощности, находящиеся в постройке, — около 21 млн. л. с. ($\frac{1}{4}$ возможных к использованию потенциальных гидроэнергетических ресурсов страны).

Объектами гидростроительства электрокомпаний и промышленных предприятий за эти годы являются, главным образом, установки средней и небольшой мощности. Например, из числа около 60 новых установок, введенных или строящихся в 1939—1940 гг., половина падает на небольшие мощности (до 1000 kW) и примерно четвертая часть на установки от 1000 до 5000 kW.

Подавляющая часть новой гидравлической мощности приходится на долю крупных правительственных сооружений, связанных с комплексным использованием рек.

Проектная мощность 38 правительственных гЭС составляет 9,7 млн. л. с., из коих в 1940 г. находилось в работе — 2,8 млн. л. с. и 2,1 млн. л. с. — в постройке.

Состояние строительства основных правительственных гидроэлектростанций (с проектной мощностью от 100 тыс. л. с. и выше) иллюстрируют данные, приведенные в таблице.

Пуск первой очереди самой крупной в США по проектной мощности гЭС Grand Coulee намечен в 1941 г. В 1943 г. должна вступить в работу гидроцентральный Shasta.

Строительство правительственных гидроэлектростанций непосредственно связано с задачами обороны страны, в частности, с развитием электромеханических производств.

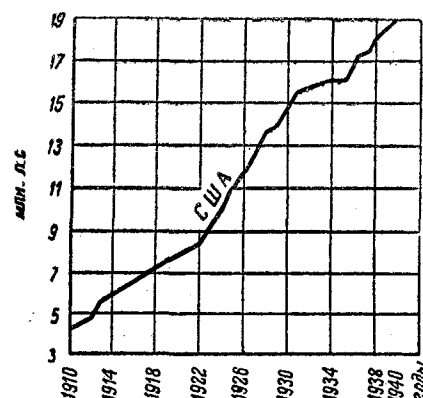
В этом отношении важную роль должны сыграть мощные гидроэлектростанции на р. Колумбии (штат Вашингтон) с их дешевой гидроэнергией (себестоимость обеспеченной энергии станции Grand Coulee обойдется от 0,165 до 0,2 центов, а сезонной энергии — около 0,1 цента).

Государственный колледж в Вашингтоне проводит исследовательскую работу в целях изучения возможностей раз-

вития на базе местных природных ресурсов отраслей электрометаллургической и электрохимической промышленности (легкие металлы, сплавы, электролитический марганец, электролитический цинк, карбид кальция и т. д.).

В частности, проводятся экспериментальные исследования по производству из местного магнезита магния — металла, который приобретает все возрастающее значение в авиационной промышленности и машиностроении. Крупные запасы магнезита, содержащие от 15 до 28% магния, имеются в штатах Вашингтон и Айдахо.

Динамика суммарной мощности гидроэлектростанций в США



Начало использованию энергии станции Bonneville и Grand Coulee для производства алюминия положено сооружением Американской алюминиевой компанией в Ванкувере (штат Вашингтон) завода, потребная мощность которого в первые годы работы составит 32 MW, а при полном развитии производства — 65 MW.

Бокситы будут ввозиться из Голландской Гвианы (Южная Америка), Новая компания — Pacific Carbide and Alloys Co строит близ Портленда (штат Вашингтон) завод карбид кальция, который будет получать энергию от гЭС Bonneville.

Существенное значение в электроснабжении отраслей военной промышленности имеют и гидроэлектростанции, находящиеся в ведении TVA (администрация по использованию р. Теннесси). Об этом свидетельствуют, например, заключенные

Название станций	Река	Ш т а т	Мощность в тыс. л. с.			
			проектная	1-я очередь	в работе	в постройке
Grand Coulee	Колумбия	Вашингтон	2 742	478	—	478
Bonneville			729	137	285	148
Shasta	Сакраменто	Калифорния	522	419	—	419
Parker Dam	Колорадо	Аризона и Калифорния	160	120	—	120
Boulder Dam		Аризона и Невада	1 835	522	1 212	115
Colorado — Big — Thompson	Колорадо—Биг—Томпсон	Колорадо	135	—	—	—
Fort Peck	Миссури	Монтана	150	70	—	70
Pensaco'a Dam	Гранд	Оклахома	100	80	—	80
Kentucky	Теннесси	Теннесси	220	—	—	—
Pickwick	"	"	330	110	110	55
Wilson	"	"	610	260	260	70
Wheeler	"	"	360	90	90	90
Guntersville	"	Алабама	136	102	102	—
Chickamauga	"	Теннесси	144	108	108	—
Watts Bar	"	"	210	126	—	126
Fort Loudoun	"	"	140	105	—	—
Hiwassee	Хивасси	"	160	80	80	—
Norris	Клинич	"	132	132	132	—
Santee — Cooper	Сантис	Ю. Каролина	213	173	—	173
19 станций мощностью менее 100 тыс. л. с.	—	—	681	576	388	197
Всего	—	—	9 709	3 688	2 767	2 141

этой организацией договора на снабжение энергией предприятий Американской алюминиевой компании (законтрактованная мощность в 65 MW) и алюминиевого завода Reynolds Metal Company (законтрактовано 20 MW обеспеченной мощности и 40 MW — сезонной). TVA намечает постройку завода синтетического аммиака производительностью 150 т в сутки.

В. И. МИХАЙЛОВ

M. S. Bitner. Гидроэлектрические установки на ирригационных сооружениях Colorado—Big Thompson. *The Reclamation Era*, стр. 267—269, № 9, 1940.

В США осуществляется грандиозная схема переброски стока верховьев р. Колорадо в соседний бассейн р. Биг-Томпсон в целях ирригации и энергетики. Схема предусматривает подачу в год 395 млн. м³ воды по непрерывному тоннелю исключительной протяженности — длиной 21 км и диаметром 10 м, который должен пересечь с запада на восток гребень Скалистых Гор на высоте около 2,5 км над уровнем моря. На восточном склоне 3 резервуара общей емкостью 293 млн. м³ должны запастись поступающую воду для орошения 250 тыс. га засушливых земель.

Схема предусматривает сооружение 7 гЭС общей мощностью 100 MW с годовой выработкой 360 000 MWh и 332 000 MWh сезонной энергии для обслуживания ирригационной системы и снабжения муниципальных потребителей, для сельской электрификации, а также для разработки местных месторождений бедных руд.

На западном склоне в 1938 г. начато сооружение приплотинной гЭС Грин Маунтэн № 5, которая оборудуется двумя агрегатами. Последние состоят из вертикальной спиральной турбины Френсиса мощностью 15 000 л. с., делающей 257 об/мин, при расчетном напоре 61,5 м, и трехфазного генератора подвешенного типа мощностью 12 MVA.

ГЭС предназначена питать ирригационные насосные установки. Из числа 5 гЭС западного склона, использующих суммарный напор 850 м, в первую очередь на перепаде 230 м сооружается гЭС № 1, которая должна быть оборудована двумя агрегатами, мощностью каждый 15 MVA. Позже предусматривается сооружение гЭС № 2 мощностью 50 MVA, при напоре 363 м и гЭС № 4 мощностью 16 MVA, на перепаде в 167 м.

Строительство тоннеля, основного сооружения этой оригинальной схемы, начатое в 1940 г., может быть закончено не ранее чем через 5—6 лет.

Канд. техн. наук Н. А. КАРАУЛОВ

ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ТЯГА

W. Storrer. Эксплуатация троллейбусов в Rheinthal (Швейцария). *Wasser und Energiewirtschaft*, стр. 63—67, № 5/6 1940.

Троллейбусная линия в Rheinthal занимает особое место среди прочих троллейбусных предприятий Швейцарии.

Отличительной особенностью новой троллейбусной линии в Rheinthal является применение, впервые для троллейбусных контактных сетей, напряжения 1000 V. В дальнейшем предполагается довести напряжение в контактном проводе до 1500 V.

Контактная сеть новой троллейбусной линии имеет подвижную эластичную подвеску швейцарского типа, нашедшую за последнее время широкое распространение на ряде троллейбусных предприятий Швейцарии. Зигзагообразное направление контактного провода, являющееся отличительной особенностью новой подвески, обеспечивает смягчение динамических толчков и улучшает температурную компенсацию контактной сети. На новой троллейбусной линии эксплуатируются 5 одноэтажных двухосных троллейбусов.

Для отвода статических разрядов и прочих остаточных напряжений кузова к земле, передние шины троллейбуса выполнены из электропроводящей резины. Токосприемники троллейбуса оборудованы полуавтоматическим устройством, позволяющим производить опускание штанг из кабины водителя.

Характерной особенностью контроллера управления, pedalного типа, является отсутствие жесткой фиксации отдельных позиций контроллера. Троллейбус оборудован реостатным, пневматическим и противотокатным тормозом (при

работе последнего двигателя замыкаются тазкоротко с одно-временным включением пневматического торможения).

Управление выходными дверьми троллейбуса осуществляется автоматически самими пассажирами, посредством контактного коврика.

Инж. Ю. М. ГАЛОНЕН

E. Holtgreve. Автоматическое управление троллейбусами. *Verkehrstechnik*, стр. 328—330, Heft 22, 1940.

В реферируемой статье рассматривается принцип действия и эксплуатационный опыт автоматического управления троллейбусами с электрооборудованием SSW.

Автоматическое управление троллейбусами по схеме SSW осуществляется с помощью кулачкового контроллера с приводом от серводвигателя. Водитель нажатием педали производит включение линейного контактора и заводит пружину обратного натяжения педали; все остальные манипуляции производятся независимо от скорости прохождения педалями пути от начального до конечного положения.

По достижении последних ступеней последовательного, параллельного соединения или позиций ослабленного поля серводвигатель автоматически останавливается с помощью электромагнитного тормоза короткого замыкания.

Скорость вращения барабана контроллера, т. е. скорость прохождения пусковых позиций, определяется токовым реле (реле ускорения). При пусковом токе ниже нормального значения, что имеет место при повторном пуске находящегося в движении троллейбуса, время прохождения всех позиций контроллера составляет 5 сек. В этом случае якорь токового реле остается в состоянии покоя. При нормальном пусковом токе рабочее время контроллера ограничивается 7,5 сек, а при пусковом токе больше нормального, например, при повторном пуске троллейбуса, находящегося на подъеме, время пуска повышается до 10 сек.

Описываемая схема позволяет водителю задерживаться на любой позиции контроллера в течение необходимого промежутка времени (время нахождения на реостатных позициях ограничивается только нагревом пусковых сопротивлений). Остановка действия серводвигателя достигается легким отпуском ходовой педали. Такого рода управление скорее относится к полуавтоматическому управлению и чрезвычайно удобно для городских условий движения.

Существенным преимуществом автоматического управления является спокойный ход, при почти полном отсутствии толчков, ощущаемых пассажирами.

Обычно в доводах противников автоматического управления указывается на то, что автоматическое управление не допускает свободного выбора ускорений. Этот довод, однако, не относится к описываемой схеме полуавтоматического управления.

В заключение автор указывает, что за последнее время находят широкое распространение схемы с многоступенчатым коллекторным контроллером с пусковой аппаратурой, приводимой в действие непосредственно от ходовой педали. Автоматическое управление троллейбусом с успехом может быть применено и к схемам многоступенчатого коллекторного пуска.

Инж. Ю. М. ГАЛОНЕН

Смазка контактного провода. *Ry El. Eng.*, стр. 195—197 № 10, 1940.

Эксперименты по смазке пантографов и контактной сети графитом, на пригородном участке электрической железной дороги в Чикаго, начались еще в 1933 г. В результате в 1934 г., в качестве стандарта, дорога приняла графитовую смесь «Dixon's 1924», применение которой увеличило срок службы пантографа с 14 700 км пробега в 1933 г., до 76 500 км в 1939 г.

Перед наложением графитовой смеси поверхность пантографа очищается от масла и жира, а затем покрывается малым количеством разведенной четыреххлористой углеродом или бензиновыми растворителями смеси, после чего пантограф сушится. Во избежание риска возникновения пожаров желательно употреблять смесь из 60% четыреххлористого углерода и 40% растворителя.

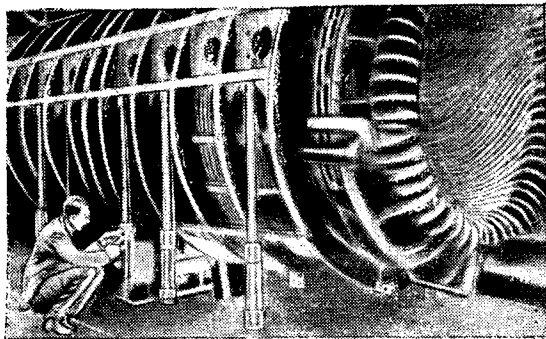
После сушки первого слоя в канавку пантографа закладывают графит «1924» в виде пасты, вновь сушат и вновь покрывают тонким слоем графитовой смеси.

Инж. М. Д. ТРЕЙВАС

С. М. Laffaon, В. А. Rose. Вибрация двойной частоты турбогенераторов. *El. World*, стр. 92, № 12, 1940; *El. Eng.*, стр. Tr. 30—33, № 1, 1940.

Ротор и статор любого двухполюсного турбогенератора имеют вибрацию, частота которой в два раза больше частоты генерируемого переменного тока. Причина этой вибрации заключается в особенности конструкции двухполюсных турбогенераторов.

Как известно, ротор такой машины имеет по обе стороны глубокие пазы для размещения обмотки возбуждения. В результате механическая жесткость ротора в двух главных его осях различна, что обуславливает изменяющийся статический прогиб вала. Поскольку прогиб ротора достигает максимума дважды за каждый оборот, то данная вибрация имеет двойную частоту.



Эластичная подвеска активного железа статора.

Неравномерные магнитные силы, действующие на железо статора в двух главных его осях, заставляют ярмо статора искажаться и принимать форму эллипсиса, малая ось которого совпадает с максимумом магнитной индукции в воздушном зазоре. Максимум индукции перемещается вместе с ротором и, следовательно, синхронно с ним перемещается искажение статора. В результате каждая точка железа статора совершает вибрационные движения, частота которых также равна двойной частоте вращения.

Вибрация двойной частоты статора и ротора приобретает практически заметную величину у турбогенераторов мощностью 20 000 kVA и выше.

Вибрационные силы двойной частоты передаются механически связанным частям — подшипникам, фундаменту и стационным конструкциям и вызывают нежелательную вибрацию их и шум. Вибрация особенно сказывается, когда частота ее кратна резонансной частоте агрегата.

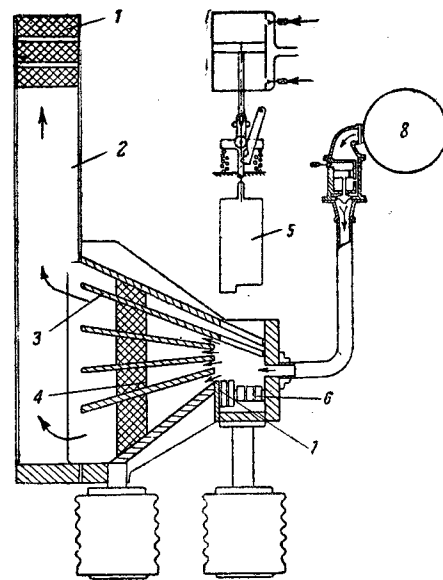
Для устранения описанного дефекта двухполюсных турбогенераторов Американская фирма Westinghouse применяет следующие мероприятия. 1. Для выравнивания механической жесткости тела ротора на его полюсах прорезают узкие поперечные канавки, что облегчает проведение балансировки ротора и делает его работу спокойной и практически исключает вибрацию двойной частоты. 2. Для уменьшения вибрации двойной частоты железа статора необходимо уменьшить магнитную индукцию в воздушном зазоре и увеличить механическую жесткость ярма. Однако для того чтобы указанными мероприятиями снизить вибрацию двойной частоты на 50%, пришлось бы стоимость машины повысить на 75%. Несомненно, что такое дорогое мероприятие не могло найти практического применения, поэтому фирма Westinghouse, учитывая, что наличие вибрации двойной частоты незначительно влияет на работу и продолжительность жизни машины, не принимает мер к ее уменьшению, а лишь ограничивает зону ее распространения. С этой целью крепление активного железа статора к раме производится помощью эластичных подвесок, представленных на рисунке.

Инж. Н. П. ГАЛОЧКИН

ВЫСОКОВОЛЬТНЫЕ ВЫКЛЮЧАТЕЛИ

D. C. Prince, H. E. Strang и др. Выключатели с воздушным дутьем. *El. Eng.*, стр. Tr. 510—517 и стр. Tr. 522—527, № 9, 1940.

Усилившийся в последнее время в Америке спрос на масляные выключатели заставил ГЭС всесторонне исследовать вопрос о воздушных выключателях. Исследование европейских воздушных выключателей показало, что они имеют недостаточную для Америки мощность и не могут работать



1 — выхлопной глушитель; 2 — изолирующий материал; 3 — перегородки для дуги; 4 — охлаждающие пластины; 5 — подвижный контакт; 6 — главный неподвижный контакт; 7 — неподвижный искровой контакт; 8 — баллон с воздухом

при принятых в Америке скоростях восстановления напряжения¹.

Увеличение мощности выключателя и увеличение допустимой скорости восстановления напряжения можно получить несколькими путями: увеличением давления, увеличением диаметра дутьевого отверстия, увеличением числа разрывов, шунтированием дуги сопротивлением, применением газогенерирующих материалов. Весь вопрос заключается, главным образом, в экономичности того или другого решения. Авторы приходят к заключению, что при гашении дуги играет роль не столько ее охлаждение, сколько замещение ионизированных продуктов горения дуги клином из свежей изолирующей среды. Поперечное дутье дает в этом отношении преимущество перед продольным. Кроме того, в новых выключателях используются для усиления дутья перегородки из газообразующего изолирующего материала. Действие этого газообразования настолько велико, что при больших разрывных токах его достаточно для разрыва дуги даже без дутья сжатым воздухом.

На рисунке дан разрез выключателя и привода. Гашение дуги происходит обычно уже в первом, нижнем, отделении камеры гашения, при первом же переходе тока через нуль. Остальные перегородки служат для увеличения коэффициента запаса, на случай неблагоприятных условий гашения. Рабочее давление воздуха 10 ат. Контакты обдуваются также и при включении, что значительно уменьшает износ контактов.

Инж. Л. Б. БРОУДЕ

L. R. Ludwig, R. H. Nau и др. Новые высоковольтные деионные выключатели. *El. Eng.*, стр. Tr. 518—522 и стр. Tr. 528—533, № 9, 1940.

В реферируемых статьях рассматриваются новые выключатели фирмы Westinghouse: магнитный деионный воздушный выключатель на 2,5—5 kV и пневматический выключатель на 15 kV. В обоих выключателях охлаждающие пластины выполнены из негазирующего изоляционного материала.

В выключателе до 5 kV и до 150 MVA электронное дутье получается при помощи сильного магнитного поля, загоняющего дугу в узкие прорезы в охлаждающих пластинах.

Так как старые воздушные деионные выключатели Вестингауза не обеспечивают необходимых в Америке больших разрывных мощностей, то фирма, на основании европейского опыта, занялась проектированием новых воздушных сухих выключателей на генераторные напряжения. Один выключатель для разрывной мощности до 700 MVA использует для дутья газы, образующиеся из борной кислоты под влиянием вспомогательной дуги, быстро вращающейся под действием

¹ Речь идет здесь, очевидно, только о выключателях АЕГ и не принимаются во внимание выключатели ВВС с добавочными сопротивлениями, а также выключатели с поперечным дутьем и с добавочными сопротивлениями. (Прим. реф.)

магнитного поля. Однако износ газирующих обкладок камеры оказался настолько велик, что вряд ли можно рассчитывать на практическое значение этого выключателя.

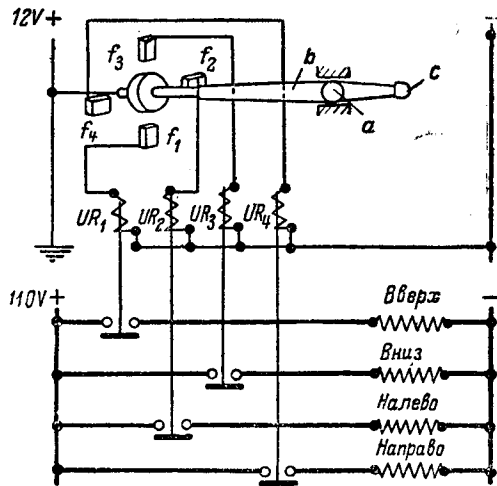
Другой выключатель, для мощностей до 1500 MVA, при генераторном напряжении использует, как и у ГЭС, поперечное дутье сжатым воздухом при давлении в 10 ат. Камера гашения также снабжена перегородками, которые, однако, не газируют. Выхлопной трубы не имеется, так как охлаждение и расширение газов происходит внутри самой искрогасительной камеры благодаря ряду экранов с отверстиями. Общая конфигурация выключателя весьма близко напоминает выключатели ВВС.

Инж. Л. Б. БРОУДЕ

АВТОМАТИКА И РЕЛЕ

Н. Döring. Копировальные фрезерные станки, управляемые следящим пальцем. *Е. и М., стр. 269—274, Heft 25/26, 1940.*

Автоматические копировальные фрезерные станки с управлением следящим пальцем получают все более широкое распространение в различных областях техники, благодаря их надежности и точности в работе. Станки фирмы Collet & Engelhard с электрооборудованием SSW имеют следящий палец, выполненный по системе Келлера, которая подробно описывается в реферируемой статье. Следящий за моделью контактный палец через реле управляет тремя реверсивными магнитными катушками, которые в свою очередь, через



Принципиальная электрическая схема включения следящего пальца

приводы и ходовые винты, направляют резец по изделию в точном соответствии с конфигурацией модели в трех ее измерениях. Соответственно этому двигатели могут сообщать супортам машин три направления движения: вертикальное, продольное, горизонтальное и поперечное. Для каждого из этих движений имеется свой агрегат, состоящий из реле, магнитной катушки, привода и двигателя.

Палец и резец укреплены в общей шпиндельной бабке, благодаря чему резец принудительно совершает точно те же движения, что и палец.

Шпиндель пальца сидит в гильзе на шариковой опоре. Задний конец его, как видно из рисунка, имеет контактное кольцо с четырьмя контактами f_1 — f_4 . В неподвижном состоянии шпиндель прижат установочным болтом и пружиной к тем двум контактам, которые должны быть включены, в соответствии с желаемым направлением резания. Установочный болт может переставляться вместе с опорным кольцом, могущим поворачиваться на 360° . Эту перестановку оператор осуществляет посредством гибкого вала и конического колеса.

Если, например, включены контакты f_4 и f_3 , то через реле UR_4 и UR_3 резцу сообщается горизонтальное движение вправо и вертикальное движение вниз. В момент прикосновения головки пальца к модели вследствие отклонения шпинделя b , контакт f_3 отключается, в то время как f_4 остается включенным, поэтому резец будет двигаться только вправо. Если обрабатывается прямоугольное изделие, то по достижении правого края изделия включаются контакты f_3 и f_2 , вследствие чего подача будет происходить вниз и влево, и т. д.

Области применения автоматических копировальных станков крайне разнообразны; в реферируемой статье приводятся, в частности, примеры выполнения станков для изготовления гребных винтов.

Инж. А. Г. ГАЛАНОВ

Стабилизатор напряжения. „Германская техника“, стр. 417, № 10, 1940.

В статье описан стабилизатор напряжения, действующий практически безинерционно и представляющий собой ионную лампу, наполненную смесью благородных газов; несколько цепей разряда, встроенных в лампу, позволяют применять ее в качестве делителя напряжения.

Стабилизаторы этого типа успешно применяются при сравнительно небольших мощностях (до 100 W), обеспечивая высокую точность стабилизации напряжения: так колебания напряжения за стабилизатором составляют только $1/17$ от колебаний напряжения сети. При изменении нагрузки, от хо-

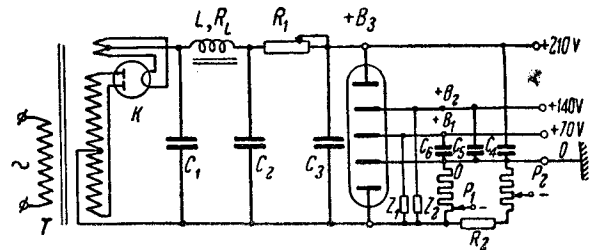


Схема стабилизатора напряжения

лостого хода до максимальной, напряжение изменяется на 2%. Стабилизаторы строятся на нагрузку от 20 до 250 mA. Подключение к сети производится через дополнительное сопротивление, в качестве которого в ряде случаев может быть использовано железо-водородное сопротивление; при этом напряжение стабилизируется более чем в 100 раз. Это, однако, относится только к медленным изменениям напряжения, так как применение железо-водородного сопротивления приводит к инертности стабилизации.

Описываемые стабилизаторы могут применяться как на постоянном, так и переменном токе в самых разнообразных случаях, перечисленных в реферируемой статье. В качестве примера на рисунке приводится схема стабилизации напряжения для питания анодных и сеточных цепей электронных ламп. Потенциометры P_1 и P_2 позволяют получить два независимых, произвольно регулируемых напряжения; от клемм B_1 , B_2 , B_3 можно получать напряжения в 70, 140, 210 V.

Инж. В. А. ВЕНИКОВ

К. Lohausen. О возможностях быстрой регулировки температуры. *Elektrowärme, стр. 171—176, № 10, 1940.*

При обычных способах электрического нагрева, при термической обработке применяются малые плотности энергии и такое медленное повышение температуры изделия, что для регулирования температуры вполне достаточными являются периоды в 15—20 сек, обеспечиваемые регуляторами с термoelementами и с падающей дужкой.

В тех случаях, когда передача тепла от изделия к воспринимающему органу происходит, главным образом, при помощи излучения, то в зависимости от теплоемкости воспринимающего органа, происходит запаздывание показаний на 10—50 сек, а при скачкообразном изменении температуры — даже до 30—150 сек. Поэтому при помощи термoelementов и термометров, основанных на тепловом расширении, возможна регулировка только медленно протекающих процессов.

При быстром нагревании высокочастотными токами или пропусканием тока через нагреваемое изделие для регулирования процесса применяется или точная дозировка тепла по времени или же в качестве чувствительного органа применяются фотоэлементы. Последние практически безинерционны, однако, чувствительность их весьма мала в пределах от 750 до 1000° и, кроме того, значительно меняется во времени, иногда до нескольких процентов в течение нескольких часов. Усилительные лампы также искажают регулировку.

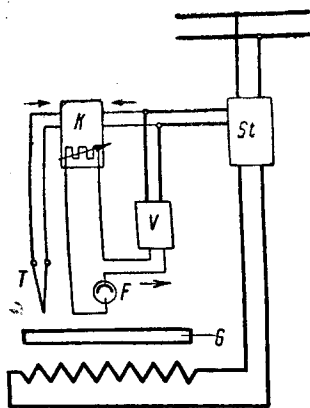


Схема автоматической градуировки

G — нагреваемое изделие, F — фотоприбор, T — термоэлемент, V — усилитель, St — регулирующий прибор, K — сравнивающий прибор

Наиболее точной регулировки можно достичь, если при помощи вращающейся шайбы, одна половина которой прозрачна, другая же представляет собою зеркало, попеременно посылать в фотоприбор лучи от нагреваемого изделия и от излучающей нормы. Точность регулировки, получающаяся при этом, достигает, при температуре в 800°C , около $\pm 1,5^{\circ}$.

Инж. Л. Б. БРОУДЕ

ИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

R. Heintz. Изоляция и влажность. *Zeitschr. f. Fernmeldetechnik*, стр. 33—39, № 3, 1940.

В статье подробно рассматривается вопрос о гигроскопичности органических диэлектриков и о влиянии влажности на электрические свойства последних. На основании ряда численных примеров и характеристик автор приходит к следующим основным выводам:

1. Почти всякий органический диэлектрик поглощает влагу, причем количество поглощенной влаги определяется развитием поверхности и молекулярным строением материала, а также его химической природой.
2. Поглощаемая диэлектриком влага ухудшает его электрические свойства, причем степень ухудшения определяется не только количеством поглощенной воды, но также ее распределением в толще материала и механизмом ее внедрения в материал.

Наиболее чувствительной к влаге электрической характеристикой обычно является сопротивление изоляции, измеренное при постоянном токе, однако, автор указывает, что для резины проводимость, измеренная при тональной частоте, оказывается более надежным критерием для оценки степени гигроскопичности.

Пропитка волокнистых материалов не защищает их от действия влаги. Лучший результат дает заливка компаундом или нанесение на поверхность изделия защитного слоя компаунда. Вместе с тем все применяемые на практике компаунды в большей или меньшей степени оказываются влагопроницаемыми. Влагопроницаемость автор рекомендует оценивать коэффициентом диффузии влажности, представляющим собой количество влаги (в g), проходящее за 1 h через 1 cm^2 поверхности испытываемого материала толщиной 1 cm при разности давлений 1 mm рт. ст. Для различных компаундов величина коэффициента диффузии может колебаться в пределах от 10^{-8} до 10^{-10} . Наименьшее значение коэффициента диффузии имеет «горный воск» (озокерит).

Канд. техн. наук В. Т. РЕННЕ

F. Obenhaus, F. Steyer. Применение специальных керамических масс с высокой диэлектрической постоянной для повышения разрядных напряжений. *ETZ*, стр. 793—795, Heft 35, 1940.

Автором были поставлены опыты по выяснению влияния (при напряжении с частотой 50 Hz) диэлектрической постоянной опорного изолятора на его разрядное напряжение в воздухе и масле.

Опыты показали, что для изоляторов из калита ($\epsilon = 6,5$) при искровом промежутке в 100 mm пробой в воздухе про-

исходил при 48 kV, а под маслом при 130 kV. Для изоляторов из конденса ($\epsilon = 75$) пробивное напряжение в воздухе повышалось до 65 kV, а пробой под маслом наступал при 190 kV. Для сравнения следует отметить, что пробой воздуха, при опытах для искрового промежутка в 100 mm, наступает при 80 kV, а пробой масла — при 115 kV.

Испытания проводились при различных искровых промежутках.

При разряде под маслом внесение в искровой промежуток изолятора вызывает повышение разрядного напряжения, причем тем большее, чем больше его диэлектрическая постоянная. Частично это вызывается удлинением пути разряда, а в большей степени уменьшением градиента электрического поля у верхнего электрода. Перекрытие под маслом происходило только при изоляторах из калита, а для изоляторов из конденсата при длине изоляторов большей 150 mm. Более короткие изоляторы из конденса пробивались вдоль оси. После того как массивный изолятор из конденса был заменен колонкой из последовательно включенных плоских конденсаторов, из того же материала, пробой прекратился, но разрядное напряжение оказалось не выше, чем пробивное массивных стержней. Посредством более благоприятного устройства краев обкладок, вероятно, можно еще более повысить разрядное напряжение, так как разряды начинались с краев обкладок.

На воздухе внесение опорного изолятора в искровой промежуток не повысило, а понизило разрядное напряжение устройства.

Это происходит потому, что улучшение электрического поля, вызываемое внесением изолятора с большой диэлектрической постоянной, меньше искажения, вызываемого осаждающейся на поверхности изолятора влагой.

Инж. Е. В. КАЛИНИН

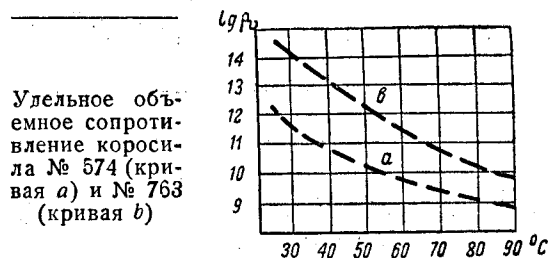
F. K. Schödenfeld, A. W. Brown, L. S. Brous. Современное развитие получения и применения коросила. *Ind. and Eng. Chem.*, стр. 964, № 8, 1939.

Коросил (Koroseal) пластифицированный полимер хлорвинила, введенный фирмой Goodrich (Akron, Ohio, USA), получает за последнее время все большее значение в качестве антикоррозийного, конструктивного и электроизоляционного материала.

Свойства коросила в очень большой степени зависят от содержания пластификатора (трикрезилфосфата) и наполнителей.

Примерный состав коросила из числа наиболее употребительных: поливинилхлорида 100, трикрезилфосфата 89, наполнителя 60 частей по объему.

Электрические свойства коросила иллюстрируются рисунком.



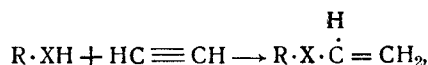
Удельное объемное сопротивление коросила № 574 (кривая a) и № 763 (кривая b)

Коросил обладает исключительной химической стойкостью по отношению к кислороду и озону и другим химическим реагентам. Растворение или набухание материала вызывают органические растворители, содержащие хлор, нитрогруппу или аминогруппу, а также алифатические и ароматические кетоны. Бензин и другие углеводороды не растворяют поливинилхлорид, но растворяют пластификатор и делают материал более твердым. Опыты по проверке старения коросила методом Бирера и Гира подтверждают особую стойкость материала к окислению.

Коросил применяется в кабельной технике, в химической промышленности, для покрытия трубопроводов, баков и во многих других случаях. Коросил может прессоваться, выдавливаться, получаться в виде лент, листов, трубок, стержней и др.; он может быть прозрачным, окрашенным в любой цвет и т. п. Раствор коросила под названием королака (Korolac) широко применяется для антикоррозийных покрытий и в других случаях. Особо сильно пластифицированный коросил — так называемый корогель (Korogel).

Канд. техн. наук Б. М. ТАРЕЕВ

Полимеры и смешанные полимеры виниловых соединений, например, винилхлорида, винилацетата, стирола, акриловых эстеров, акрилонитрила, винилацетата и винилалкоголя уже получили исключительно широкое применение в промышленности. В настоящее время германская фирма I. G. Farbenindustrie A. G. разработала новый ряд виниловых производных, получаемых по общей схеме



где R — некоторый радикал, а X означает O, —NH—, —NR—, S —CO— и т. п. Важнейшие представители этой группы веществ — виниловые эфиры и виниламины, по большей части легкие полимеризующие и имеющие весьма ценные технические характеристики.

Основные показатели материалов, относящихся к группе поливинилэфиров, приводятся в таблице.

Наименование материала	Плотность D_{20}^{20} D_{4}^{20}	ϵ при 50 Hz	ρ_v B $\Omega \cdot cm$	$tg \delta$ при 50 Hz
Поливинилметилэфир	1,015	3,5	$5,10^{12}$	$1,10^{-3}$
Поливинилатилэфир	0,96	3,0	$6,10^{13}$	$2,10^{-3}$
Поливинилизобутилэфир	0,91	2,2	$1,10^{14}$	$1,10^{-3}$

Особо интересна возможность использования поливинилэфиров в качестве добавок к минеральным маслам, применяемых для пропитки бумажной изоляции силовых электрических кабелей с целью повышения вязкости этих масел (вместо добавки канифоли).

Канд. техн. наук Б. М. ТАРЕЕВ

H. Roelig. Буна в кабельной технике. *Kautschuk*, стр. 26—33, № 3, 1940.

Описываются результаты подробных испытаний кабелей, изолированных резиной на основе синтетических каучуков Buna S и Buna SS и для сравнения резиной на основе натурального каучука. Ограничимся приведением лишь наиболее характерных цифр, характеризующих большую теплоустойчивость буна S и в особенности буна SS.

Характеристика	Натуральный каучук	Буна S	Буна SS
Сопrotивление изоляции кабеля в $M\Omega \cdot km$:			
а) до теплового старения	950	350	400
б) после старения при доступе воздуха при 100° С в течение 12 недель	600	1 000	4 000
Прочность резины на разрыв в kg/cm^2 :			
а) до старения	103	52	88
б) после старения	92	57	92

Канд. техн. наук Б. М. ТАРЕЕВ

ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

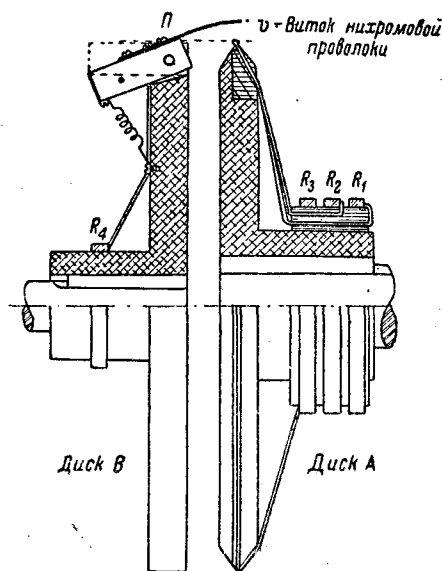
Е. В. Kurtz. Измерение угла δ синхронных машин. *GER*, стр. 406—409, № 10, 1940.

В реферируемой статье дается описание нового способа измерения угла δ . Предлагаемый способ, будучи весьма прост и удобен при калибровке, выгодно отличается от других способов, например, стробоскопического (наиболее точного из существующих), давая возможность отсчитывать угол δ по электрическому прибору, а не по шкале на валу машины и, что особенно важно, дает возможность получить запись обычным осциллографическим путем на одной осцил-

лограмме с другими электрическими величинами. Измерение угла δ производится при помощи вспомогательного синхронного реактивного двигателя, приключенного к шинам напряжения, угловой сдвиг которого надлежит измерить.

На валу двигателя помещен диск В, а на валу синхронной машины диск А. Рисунок показывает взаимное расположение дисков.

На периферии диска А укреплен виток нихромовой проволоки (г); концы витка при помощи колец R_1 , R_2 и щеток



присоединены к аккумулятору. Гальванометр (или шлейф осциллографа) присоединяется при помощи щеток к кольцам R_3 , R_4 . Кольцо R_4 соединено с укрепленным на диске ползунком П, прижимающимся под действием центробежной силы к витку г, укрепленному на диске А.

Кольцо R_3 присоединено к витку г; точка присоединения определяется при начальной регулировке установкой на наибольшую чувствительность. При синхронном вращении дисков А и В и постоянной силе тока в витке г падение напряжения (ΔV), измеряемое гальванометром, будет постоянно, величина его будет зависеть от начальной регулировки.

При изменении угла δ диск А перемещается относительно диска В, и ΔV , измеряемое гальванометром, будет меняться пропорционально изменению угла.

Таким образом гальванометр, проградуированный в электрических градусах, будет иметь равномерную шкалу.

В статье дается подробное описание регулировки и калибровки прибора и приводятся снятые осциллограммы.

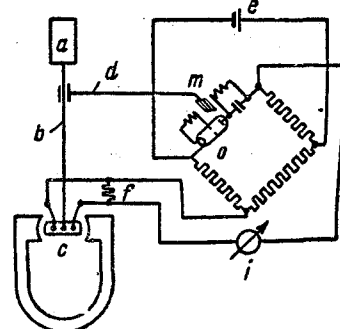
Инж. В. А. ВЕНИКОВ

L. Brandenburger. и S. John. Компенсатор вращающего момента для телеизмерений при помощи постоянного тока. *Siemens Zeitschr.*, стр. 93—98, № 3, 1940.

В реферируемой статье описана разработанная авторами новая схема преобразования вращающего момента любого измерительного прибора в пропорциональный этому моменту постоянный ток. Принципиальная схема преобразователя показана на рисунке.

На одной оси с любым измерительным прибором а (показания которого необходимо передать на расстояние, записать с помощью обычного регистрирующего прибора постоянного тока или использовать для приведения в действие автоматического регулятора) установлен прибор с подвижной катушкой с, катушка которого включена последовательно с измерительным прибором постоянного тока (показывающим, регистрирующим или регулирующим) в диагональ моста.

На одной оси b с измерительным прибором а и прибором с подвижной катушкой с укреплен легкий указатель d.



Принципиальная схема преобразователя

несущий на конце экран из алюминиевой фольги m . Последний находится в зазоре между анодной и сеточной катушками высокочастотного лампового генератора o , который включен в одно из плеч моста. Три остальных плеча состоят из постоянных сопротивлений, подбором которых можно достичь равновесия моста (т. е. нулевого значения показаний прибора i , при любом значении вращающего момента, создаваемого прибором a).

При любом изменении этого вращающего момента угол поворота оси b , а следовательно, и указателя d меняется. Поэтому меняется и связь между катушками лампового генератора o (которая зависит от положения экрана m), а следовательно, и постоянная составляющая анодного тока лампы. В результате равновесие моста нарушается и в его диагонали возникает ток, направленный так, что проходя через катушку прибора c , он создает вращающий момент, компенсирующий изменение вращающего момента прибора a .

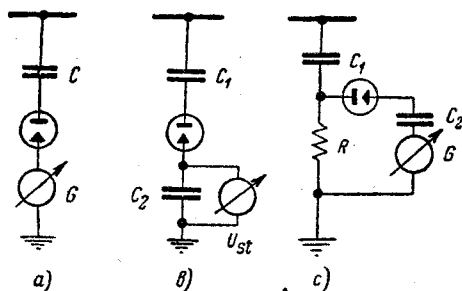
В статье подробно разработано применение этой схемы для измерения изменений частоты в пределах от 49,1 до 50,1 Hz с точностью до 0,006% от 50 Hz.

Инж. А. И. ФРОЙМАН

K. Debus и E. Hüter. Определение характерных параметров импульсной волны посредством стрелочных измерительных приборов. ETZ, стр. 797—802, Heft 35, 1940.

Измерение амплитуды может производиться по схемам, представленным на рисунке, где конденсатор заряжается на фронте волны через кенотрон (схема a).

Если измерить заряд конденсатора, например, баллистическим гальванометром (обмотка которого защищена от витковых перенапряжений конденсатором), то можно найти амплитуду волны из выражения $U = Q/C$.



В схеме b напряжение, до которого заряжается конденсатор, непосредственно измеряется статическим вольтметром.

Измерение длины фронта может быть произведено по схеме c . При малом напряжении на сопротивлении, по сравнению с напряжением на конденсаторе:

$$i_{c1} = C_1 \frac{dU}{dt}; \quad U_R = RC_1 \frac{dU}{dt}.$$

В момент наибольшей крутизны напряжения падение напряжения на сопротивлении R составит $U_{Rm} = RC_1 \left(\frac{dU}{dt} \right)$.

До этого значения напряжения заряжается конденсатор C_2 . Напряжение измеряется непосредственно, или посредством измерения гальванометром количества электричества, затраченного на зарядку конденсатора. Отклонение гальванометра α пропорционально U_{Rm} ; $\alpha = kU_{Rm} = kRC \left(\frac{dU}{dt} \right)_m$.

$$\text{Длина фронта } T_s \approx \frac{U}{\left(\frac{dU}{dt} \right)_m} = \frac{1}{\alpha} \cdot kURC_1.$$

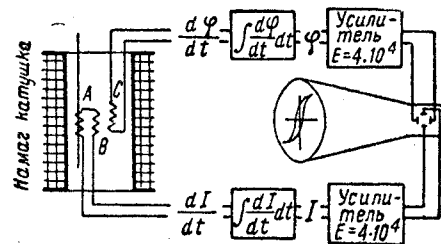
Все предложенные схемы автор проверял съемкой осциллограмм, причем оказалось, что параметры волны, рассчитанные по показаниям приборов, совпадают с действительными параметрами с большой точностью (порядка нескольких процентов).

Инж. Е. В. КАЛИНИН

F. Förster. Прибор для быстрого определения магнитных величин. ETZ, стр. 1036, Heft 46, 1940; Zeitschr. f. Metallkunde, стр. 184—190, № 6, 1940.

Существующие методы измерения магнитных величин требуют значительного времени; автором предлагается при-

бор, устраняющий эти недостатки. Прибор позволяет определять величину насыщения остаточного намагничивания, коэрцитивной силы, а также начальную проницаемость и магнетострикцию. Принципиальная схема прибора приведена на рисунке. Намагничивающая катушка питается переменным током частотой 50 Hz. В ней находятся 3 измерительных катушки A , B и C . При прохождении через намагничивающую катушку тока, определяемого выражением $I \sin \omega t$, в ней возникает переменное магнитное поле, изменяющееся согласно выражению $H \sin \omega t$. В катушке C наводится напряжение E , изменяющееся пропорционально полю по закону $E_1 = k dH/dt$, где k —постоянная катушки. Измерительные катушки A и B , имеющие одинаковые данные, включены



навстречу друг другу. При введении в одну из них ферромагнитного образца, на их концах возникает э. д. с. $E_2 = D dI/dt$, где D —постоянная, определяемая из сечения испытуемого образца. Эти обе величины путем подбора соответствующих емкостей и сопротивлений интегрируются электрическим путем. После интегрирования H и I напряжения, пропорциональные им, усиливаются и подаются на отклоняющие пластинки катодной трубки. Таким образом на флуоресцирующем экране трубки получается устойчивое изображение петли гистерезиса. Вводя в катушки A и B эталонный и исследуемый образцы, автор предлагает производить испытание на однородность образцов по фигурам, получающимся на экране трубки. При полном сходстве образцов на экране трубки получается прямая линия. Этим же «дифференциальным» методом можно вести непрерывный контроль качества проволоки. Петля гистерезиса у материалов с положительной магнетострикцией, как например Fe, при растяжении поднимается, а с отрицательной, как Ni, опускается. С помощью этого прибора можно испытывать как магнотвердые материалы ($H_{\max} \sim 0,001$ Oe), так и магнитотвердые материалы ($H_{\max} \sim 2000$ Oe).

Инж. П. П. ХРАМОВ

СВЕТОТЕХНИКА

S. Hahnel. Светомаскировка электростанций. AEG-Mitt., стр. 161—163, № 7—8, 1940.

Автор перечисляет известные из литературы методы светомаскировки и указывает на мероприятия, которые целесообразно применять на электростанциях в военное время.

Освещение котельных, машинных зал и насосных станций рекомендуется осуществлять светильниками, дающими направленные пучки света. Сети общего освещения считаются целесообразным снабжать устройствами общего затемнения (потенциал-регуляторами для снижения напряжения). Наряду с этим отмечается целесообразность применения газосветных ламп синего свечения, переносных (ручных и штативных) ламп, а также люминесцентного освещения.

Для щитов управления и т. д. рекомендуется закрытие всех световых отверстий и переход на круглосветное электрическое освещение. Подсобные помещения и мастерские также переводить на искусственное освещение.

Для пунктов управления, не требующих постоянного наблюдения, признается целесообразным применение переносных ламп.

Для устройств, расположенных на открытом воздухе, и наружного освещения рекомендуется применение маломощных ламп (в закрытых сверху светильниках) и переносных ламп.

Инж. А. И. ФРОЙМАН

M. Fahsbender, R. Slauer. Применение флуоресцирующих ламп для домашнего освещения. Illum. Eng., стр. 659, 691, № 8, 1940.

Для большинства современных газоразрядных ламп, несмотря на высокую светоотдачу, цветность излучения огра-

ничивала области их применения. С появлением флуоресцирующих ламп положение коренным образом меняется.

Высокая световая экономичность флуоресцирующих ламп «дневного» и «белого» света делает их способными конкурировать с лампами накаливания на более широком участке осветительной техники, чем это имело место в отношении других типов газосветных ламп.

Вся последняя американская светотехническая литература полна описанием флуоресцирующих ламп, анализом их характеристик и рассмотрением выполненных с ними осветительных установок. Ни один из типов газоразрядных ламп не получил такого быстрого и мощного развития, как флуоресцирующие лампы, выпуск которых в настоящее время в США исчисляется уже миллионами.

При замене ламп накаливания флуоресцирующими — авторы выясняли ряд вопросов: удовлетворяют ли осветительным целям спектральные характеристики «белых» ламп и «дневного света», флуоресцирующих ламп; в какой мере важна для домашнего освещения низкая температура ламп; что можно ожидать от смешения света ламп с естественным дневным светом или с лампами накаливания; в какой степени трубчатая форма и размеры ламп способствуют или ограничивают их применение; является ли стробоскопический эффект препятствием к использованию ламп и какие возможности представляются в отношении декоративного домашнего освещения.

Для исследования всех этих вопросов был освещен флуоресцирующими лампами ряд жилых и служебных комнат и в течение нескольких месяцев проводились наблюдения. При анализе освещения принимались во внимание не только элементы чисто зрительной работы, но эстетические и субъективные впечатления, которые не могут быть определены какими-либо нормами.

В статье даются подробные схемы расположения ламп, описание светильников и анализируется цветопередача окраски внутренности помещений в зависимости от применения той или другой лампы.

После подробного анализа положительных и отрицательных сторон флуоресцирующих ламп авторы в заключение указывают, что, несмотря на многие положительные качества ламп, внедрение их в быт в настоящее время будет ограничено специальным применением. Условия, которые создали флуоресцирующим лампам успех в промышленности и торговле, существенно отличны от тех, которые возникают при решении разнообразного круга вопросов домашнего освещения.

Канд. техн. наук Р. Г. ИЗВЕКОВ

РАЗНОЕ

С. Bathe. Искровые промежутки для защиты сельскохозяйственных трансформаторов. *El. World*, стр. 60—61, № 14, 1940.

В штате Оклахома (США) открытыми искровыми промежутками было оборудовано 530 однофазных и трехфазных трансформаторов 7,2/0,12—0,24 kV и 7,2/12,5 kV. Сеть имела многократно заземленный общий нулевой провод. За одиннадцать месяцев произошел только один случай повреждения трансформатора, имевшего искровой промежуток 87,5 мм вместо принятых 62,5 мм. Для сравнения работы искровых промежутков с грозовыми разрядниками проводилась запись отключений на линиях, оборудованных теми и другими, при плотности трансформаторов 2 шт. на милю (1,6 км). Число отключений на линиях, защищенных искровыми промежутками, составило 0,87 на км в год, а на защищенных разрядниками 0,32 на км в год. Большое число отключений при одном искровом промежутке вызывалось птицами.

Чтобы избежать этих отключений, был разработан двойной искровой промежуток, защищенный от птиц. Первая конструкция его состояла из наружного промежутка и второго промежутка в фибробакелитовой трубке между двумя медными электродами диаметром 4,7 мм. В 1938 г. такими искровыми промежутками было оборудовано 350 трансформаторов. Аварии от замыкания промежутка птицами прекратились, однако обнаружилось, что при малых токах 30—40 А, время отключения которых составляет 1,0—2,5 сек, медные электроды обгорают и промежуток между ними увеличи-

вается. С целью устранения этого недостатка была разработана конструкция, в которой между двумя латунными электродами диаметром 6,3 мм, помещена фибровая вставка с целью 1 мм длиной 25 мм, являющейся внутренним промежутком. Внешний промежуток длиной 25 мм, как и в первой конструкции, образуется стержнем, вставленным в верхнюю часть фибробакелитовой трубки, и выводом трансформатора. Лабораторные испытания показали, что пробивной промежуток выдерживает, без обгорания электродов и образования отверстий в фибровой вставке, пятнадцать разрядов при токе 32 А 6900 В.

В марте 1940 г. сто искровых промежутков были установлены в эксплуатацию.

Автор считает, что хотя еще необходимо провести ряд дополнительных исследований данной конструкции искрового промежутка, но уже сейчас можно считать проблему надежной защиты от молнии распределительных сельскохозяйственных трансформаторов приближающейся к своему удовлетворительному решению.

Канд. с.-х. наук Н. А. БУДЗКО

Н. Freiburger. Перемещение дуги в распределительном устройстве. *ETZ*, стр. 865—869, Heft 38, 1940.

Дуга, возникающая в распределительном устройстве, перемещается обычно вдоль шин и проводов со скоростью от 10 до 100 м/сек. На своем пути дуга оставляет на шинах, голловках изоляторов, болтах и других металлических частях, находящихся под напряжением, незначительные следы оплавления. Дойдя же до препятствия, например, до проходного изолятора в бетонной перегородке, останавливается и производит здесь большие разрушения.

Обычно, чтобы не дать возникшей дуге распространиться на другие части распределительного устройства, между камерами и между отдельными частями камер устраиваются перегородки с проходными изоляторами. Однако эти перегородки удорожают распределительное устройство и делают его менее наглядным.

Так как во время быстрого перемещения вдоль шин дуга является совершенно безвредной, то нет особенных причин для ее задержки в месте возникновения и было бы целесообразнее направить ее в специальную добавочную камеру, где она могла бы продолжать гореть, не причиняя вреда ценным частям распределительного устройства, пока не будет отключена обычным способом. Для выяснения возможности решения этой задачи были проделаны опыты с отрезками шин и проводов, а также с моделями камер, давшие следующие результаты.

При обычном расстоянии между шинами в 250 мм горизонтальное движение дуги начинается примерно от 1000 А. Наличие обычных изоляторов с чугунными головками увеличивает этот предел приблизительно вдвое. Вертикальное перемещение дуги вверх начинается при 500 А, вниз — при 2000 А. Перегородка, в которую вставлена шина, если про свет между нею и шиной больше 0,8 мм, пропускает дугу дальше. Перегородки между шинами из пресшпана, стекла и т. п. разрушаются через некоторое время. При опытах в распределительном устройстве, с перегородками и с перекрытием над шинами, дуга, возникающая на шинах, в следующей же камере или, самое большее, через камеру спускалась вниз, в ответвление. Однако, если у начала камеры поставить отражающие стенки, то удается дугу пропустить дальше. Пристроенные к шинам рога и загнутые вверх отрезки шин, служащие для отклонения дуги, оказываются недействительными, если над ними не устроить в перекрытии отверстия шириной в 30—50 см, в которые дуга и устремляется¹.

Полученные экспериментальные данные еще недостаточны для полного обезвреживания дуги, однако можно надеяться, что дальнейшая работа в этом направлении может привести к желаемому результату.

Инж. Л. Б. БРОУДЕ

¹ Перемещение дуги вдоль шин может быть весьма надежно приостановлено покрытием шин изоляцией, как это делается обычно в Америке. Для направления же дуги в желательную сторону необходимо снять изоляцию с той части шин, куда желательно направить дугу (Прим. реф.).

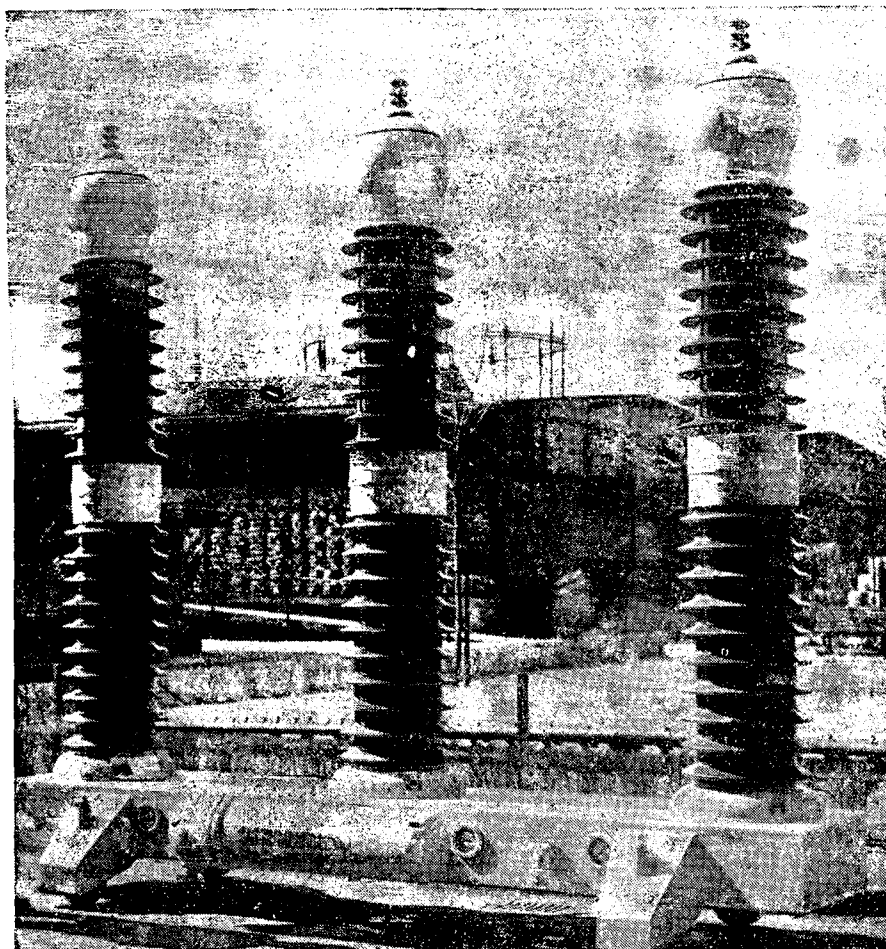


10 ЛЕТ

исследовательской, конструкторской и производственной работы привели от первого экспансионного выключателя к его современным конструкциям для открытых и закрытых станций. Мы строим

ЭКСПАНСИОННЫЕ ВЫКЛЮЧАТЕЛИ

до наивысших напряжений и всех разрывных мощностей. Свыше 35 000 экспансионных выключателей Сименса оправдали себя в эксплуатации.



Экспансионный выключатель 110 kV для открытой установки

С запросами просим обращаться по адресу

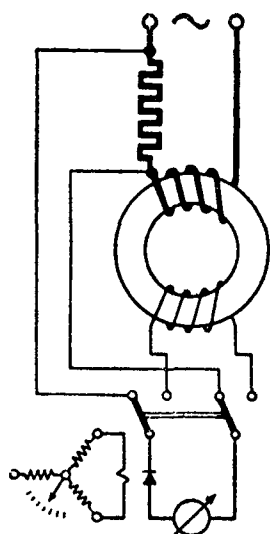
SIEMENS-SCHUCKERTWERKE AG · TECHNISCHES BÜRO OST
BERLIN-SIEMENSSTADT

Zs47

Выписка заграничных товаров может последовать лишь на основании действующих в СССР правил о монополии внешней торговли.

SIEMENS

ФЕРРОМЕТРЫ



ОСНОВНАЯ СХЕМА

Шунт

Первичная обмотка

Образец стали

Вторичная обмотка

Переключатель

Вибрационный выпрямитель
с регулятором фазы

Гальванометр со световым
отсчетом

Определение магнитных характеристик посредством переменного тока промышленной частоты, даже на самых мелких образцах

Точное и надежное измерение всех величин и соотношений на всем протяжении измерения

Быстрое проведение всех измерений

Непосредственное вычерчивание кривых прибором, регистрирующим по координатной системе

*Требуйте от нас высылки технической документации Msa 070
и обращайтесь за всеми справками по адресу*

SIEMENS & HALSKE AG • TECHNISCHES BÜRO OST • BERLIN-SIEMENSSTADT

Msa 070

Выписка заграничных товаров может последовать лишь на основании действующих в СССР правил о монополии внешней торговли.

Вологодская областная универсальная научная библиотека

www.booksite.ru

Точечная сварка тонких деталей и чувствительных материалов.

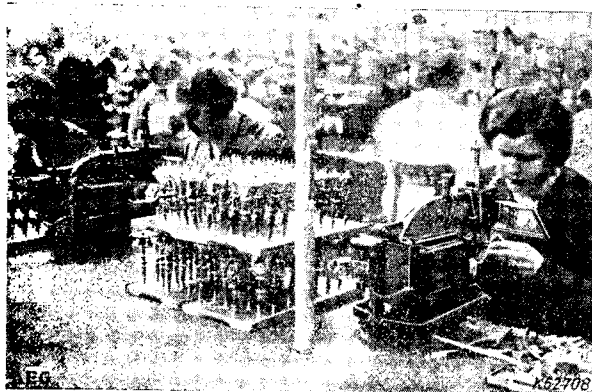
Сообщение фирмы AEG.

Очень часто ставится задача произвести соединение тонких проволок или листов вплоть до толщины фольги, причем часто дело идет также о материале весьма высокой чувствительности. Наиболее целесообразным способом соединения является в этом случае точечная электрическая сварка; она выполняется быстро, чисто и вполне экономично; но, что самое главное, она дает при выборе правильной машины безусловную гарантию в безупречном и надежном соединении деталей.

В качестве специальной машины для точечной сварки подобных материалов фирмой AEG разработана малая точечносварочная машина с управлением от преобразователя тока типа PH 1 (фиг. 1). При достаточно большой энергии эта машина допускает осуществление кратких времен сварки, необходимых при работе с тонкими и чувствительными материалами, чтобы предотвратить прожиг и изменение структуры.

Большое количество этих машин работает уже годами весьма надежно в самых разнообразных заводах и лабораториях. Ее можно в частности найти в мастерских, занимающихся изготовлением электрических приборов. Например детали радио-аппаратов и аппаратов связи подвергаются точечной сварке. У электрических сопротивлений тонкие проволоки сопротивления привариваются к соединительным зажимам, а у предохранителей тонкие серебряные проволоки — к головкам из латуни. Точечносварочная машина PH 1 применяется также при изготовлении радиоламп. В них производятся соединения нитей накала, решеток и т. п. (фиг. 2) до вставки всей системы в стеклянную или металлическую колбу.

Точно также на заводах измерительных приборов и при изготовлении термоэлементов и иных электрических частей малая точечносварочная машина оказывается весьма полезной. Она сваривает сталь, никель, медь, латунь, легкие металлы и нержавеющей сталь V 2 A. В зависимости от материала могут свариваться проволоки диаметром до 2×1 мм или листового материала толщиной до $2 \times 0,5$ мм, как высший предел. Сталь V 2 A перерабатывается в частности в зуборачебных лабораториях. При сварке подобной нержавеющей стали особенно важно, чтобы теплота не доходила до поверхности материала, дабы в месте сварки не происходило явлений коррозии. Также и в промышленности изящных изделий эта машина



Фиг. 1. Малая точечносварочная машина PH 1 фирмы AEG на одной фабрике радиоаппаратов.

может всесторонне применяться для выполнения соединительных работ. В тех случаях, когда хороший внешний вид места сварки особенно важен, является также очень ценным ограничение распространения тепла.

В комплектную сварочную установку входит точечносварочная машина PH 1 и распределительное устройство переменного тока WS 10.

Распределительное устройство переменного тока предназначается для регулирования сварочного тока. Оно дает возможность выдерживать короткие сварочные времена, необходимые для обработки тонких деталей и чувствительных материалов. Распределительная установка работает таким образом, что только одна полуволна или часть ее используется на сварку одной точки. Установка имеет только одну преобразовательную трубку, вставленную в подводе тока к однофазному трансформатору сварочной машины. Проход тока преграждается отрицательным напряжением решетки и открывается снятием этого напряжения на длину полуволны. Таким образом проход тока может продолжаться в предельном случае только во время одной полуволны, т. е. $\frac{1}{100}$ сек. Момент разблокирования решетки, т. е. начало протекания сварочного тока, может сдвигаться, так что сварочное время ограничивается некоторой частью полуволны, в зависимости от толщины и рода материала. Одновременно с регулировкой времени сварки определяется величина сварочной энергии. Эта регулировка осуществляется бесступенчато при помощи регулятора на распределительной установке. Количество ступеней регулирования у трансформатора может быть уменьшено, так как сдвиг момента зажигания используется для регулирования тока.

Чтобы вообще иметь возможность осуществлять сварку за такой короткий промежуток времени, необходимо применять соответственно большую силу тока. Поэтому пришлось разработать и специальную сварочную машину, которая, в противоположность обычным типам, может давать такую большую силу тока при относительно низкой длительной мощности. Сварочная машина PH 1 имеет поэтому только один трансформатор длительной мощности только в 1 kVA, напряжение же остается тем же, что у трансформатора мощности в 100 kVA. Остальная конструкция отличается весьма мало от обычных машин. Верхняя электродная головка движется в вертикальных направляющих при помощи помещенного на задней стороне машины рычага. Смотря по местным условиям, для обслуживания этого рычага необходимо на месте изготовить особое устройство, например педаль с проволоочным тросом. Форма свариваемых изделий может быть весьма разнообразной, так как электроды могут соответственно меняться. Острые электродов ставятся вообще вертикально; однако они могут или оба вместе или каждое порознь вставляться и с наклоном вперед (фиг. 2). Кроме того могут применяться коленчатые острия или электроды специальной формы. Полезный вылет может быть увеличен со 100 до 150 мм. Для обработки тонких изделий важна также весьма большая чувствительность при нажиме электрода, которая в машине PH 1 может изменяться винтом бесступенчато в пределах от 1 до 14 кг.



Фиг. 2. Изготовление радиоламп помощью малой точечносварочной машины PH 1.

Несмотря на высокую мощность потребления, доходящее в предельном случае до 20 kVA за одну полуволну, малая точечносварочная машина PH 1 может присоединяться к обычной осветительной сети при помощи предохранителя Тардо. Присоединительный кабель и сетевой выключатель должны быть рассчитаны на мощность в 2 kVA. Трансформатор разработан для присоединения к напряжению в 200 V при 50 Hz. При других напряжениях перед трансформатором должен быть еще включен автотрансформатор.

Выписка заграничных товаров может последовать лишь на основании действующих в СССР правил о монополии внешней торговли.

N. V. NEDERLANDSCHE KABELFABRIEK

DELFT (Голландия)

■■■■

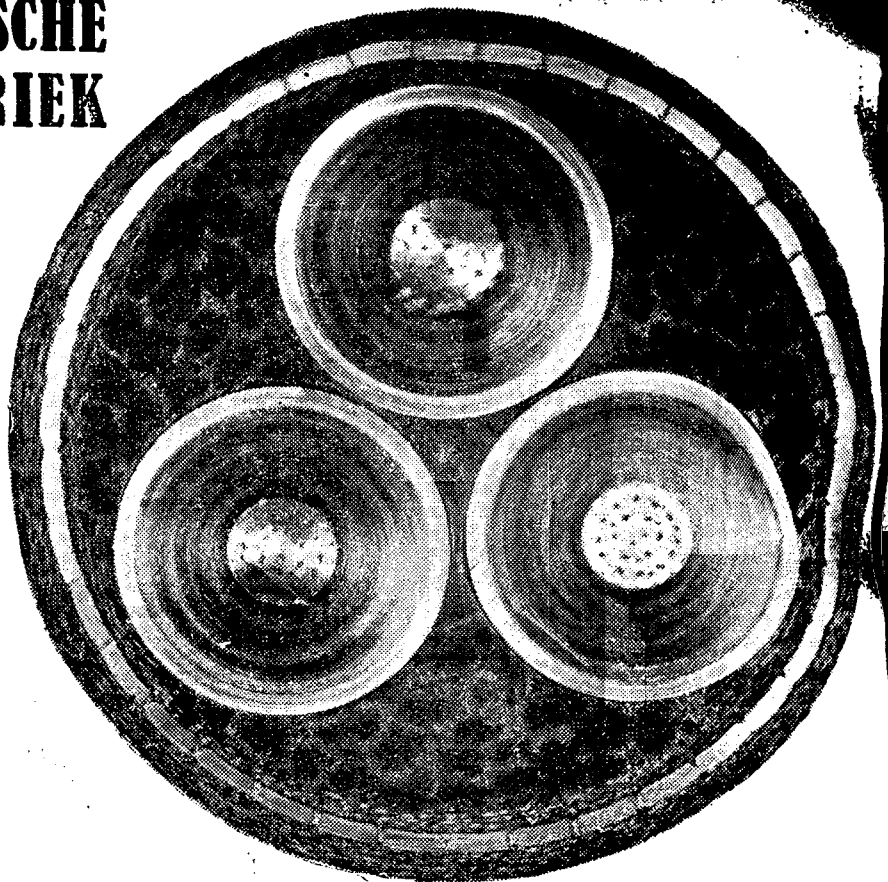
ПРОИЗВОДИТ:

Подземные электрические
кабели высокого и низкого
напряжения с бумажной
изоляцией

Подземные телефонные и
сигнализационные кабели

Подводные кабели

Неизолированную проволоку
и неизолированные кабели
из электролитическ. меди



898

Электроизмерительные ПРИБОРЫ

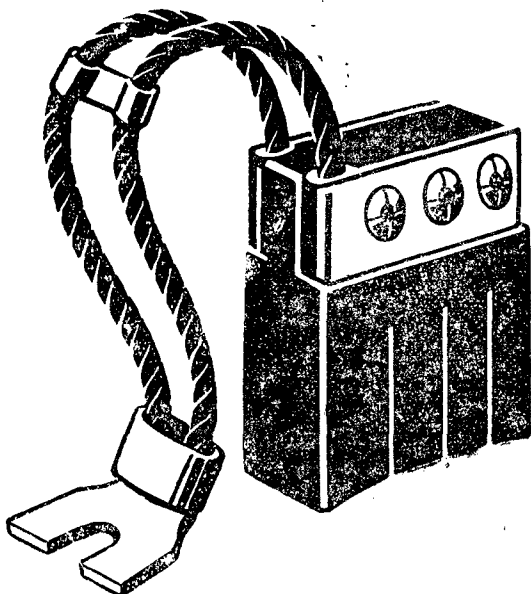
для сильноточной техники, техники связи,
лабораторий и испытательных станций



Felten & Guilleaume Carlswerk AG, Köln-Mülheim



RINGSDORFF



УГОЛЬНЫЕ ЩЕТКИ

НАША ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ ПРОГРАММА
ОХВАТЫВАЕТ ЩЕТКИ ИЗ ТВЕРДОГО, ГРА-
ФИТНОГО, БРОНЗОВОГО И ОБЛАГОРО-
ЖЕННОГО УГЛЯ РАЗЛИЧНЕЙШЕГО КА-
ЧЕСТВА. МЫ ИМЕЕМ, БЛАГОДАРЯ ЭТОМУ,
ВОЗМОЖНОСТЬ ПОСТАВИТЬ НА ЛЮБУЮ
МАШИНУ ПОДХОДЯЩИЕ К НЕЙ ЩЕТКИ.

6760

RINGSDORFF-WERKE KG · MENLEM-RHEIN (Германия)

Изоляция для высоких и наивысших напряжений

Конденсаторные проходные изоляторы, опорные
изоляторы, конденсаторы связи для высоко-
частотной телефонии, конденсаторы для ударных
испытательных установок, проходные изоляторы
для сборных машин и проч.

SCHERB & SCHWER K.G., vorm. Jaroslaw

BERLIN-WEISSENSEE

ГЕРМАНИЯ

6772

ИЗ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ПРОГРАММЫ ТРОИСДОРФСКОГО ЗАВОДА ПЛАСТМАСС

ТРОЛИТАКС

высококачественный картон всех классов для штамповки и конструкционных целей. Специальные сорта для телефоностроения и телеграфии. ТРОЛИТАКС выносит высокие механические и электрические нагрузки и температуры до 110°. Он может также употребляться в галитых маслом конструкциях. Постоянное применение в аппарато-, машино- и электростроении. ТРОЛИТАКС представляет собой превосходный материал для производства радиоаппаратов и любых чувствительных электроприборов.

МИПОЛАМ

новый изоляционный материал для электротехнической промышленности! Миполам поставляется в виде пластмассы для изоляции кабелей и проводов, а равно в виде твердых пластин и фольги для изоляционных целей, в виде профилей, трубок, кабельных проходов и т. д.

ТРОЛИТАН И ПОЛЛОПАС

стандартная немецкая пластмасса. Большой выбор наполнителей обеспечивает высокие коэффициенты изоляции. Несмотря на ограниченный объем цветовых возможностей, все же очень значительный ассортимент. Фенопластмасса Тролитан для любых электротехнических прессованных частей темной окраски, аминопластмасса Поллопас для красивых прессованных изделий различных цветов.

ТРОЛИТУЛ

первоклассный немецкий материал для литья под давлением. Производство мелких изоляционных деталей для радиопромышленности и телепередачи. Высокие диэлектрические свойства и способность задерживать токи на поверхности изоляции делают Тролитул незаменимым материалом во многих областях электропромышленности.

Требуйте наши проспекты!

VENDITOR Kunststoff-Verkaufsgesellschaft mbH., Troisdorf, Bez. Köln

6771

Ленты из медной ткани — Ленты из медных жил

из тонкой проволоки в 0,05
или 0,07 мм \varnothing для производ-
ства угольных щеток и дру-
гих подвижных проводников тока



Эмалированные медные провода

для обмотки — тончайшие в 0,02 мм \varnothing
для электроизмерительных приборов

Покрытые цветным лаком провода и жилы «Леврон»

в виде вводных и выводных концов

Проводящие медные ткани

в качестве проводников для производства
телефонных шнуров

Жилы «Диамант»

в качестве ходовых тросов для привода
скал у радиоаппаратов

Leonische Drahtwerke A.G.
Nürnberg (Германия)

6770

МАСЛЯНЫЕ ХОЛОДИЛЬНИКИ ГЕРИНГА

для любого назначения
с водяным или воздушным охлаждением.

Модели:

- с спиральной трубкой
- с параллельными стенками
- с масляными трубками и т. п.

Кроме того:

- Установки для очистки и для регенера-
ции масла
- Вакуумные пропиточные установки
- Вакуумные сушильные шкафы
- Маслоподогреватели

Уже сотни наших установок поставлены до
сих пор в СССР!

Требуйте наши подробные проспекты!

Aktiengesellschaft
A. Hering, Nürnberg 2
(Abhofach) Германия

6764

Переносные измерительные приборы

для ПРАКТИКИ

для УСТАНОВОЧНЫХ
РАБОТ

для РЕВИЗИИ

Удобные сундучные измерительные приборы
класса 0.5



METRAWATT A.G. · NÜRNBERG - O
Фабрика электр. измерительных аппаратов

Выписка заграничных товаров может последовать лишь на основании действующих в СССР правил о монополии внешней торговли.

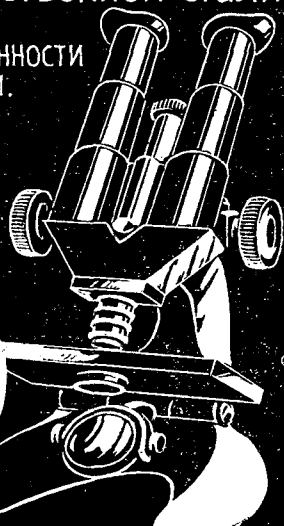
Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

ПРЕЦИЗИОННЫЕ МЕЛКИЕ ДЕТАЛИ

Из "высококачественной стали"

для
часовой промышленности
и точной механики.

для
оптических и
электрических
измерительных
приборов



В
микроскопически
точном
выполнении

SCHUMAG
AACHEN
Германия

Быстроходные оплеточные машины ГОРНА

для любого вида оплетки проводов
и кабелей любым материалом, от
асбеста до железной проволоки.
Наивысшая надежность в работе,
наивысшая производительность при
постоянной работе. Зарекомендо-
ваны многолетней практикой.

До сих пор поставлено свыше 10.000 быстро-
ходных оплеточных машин к полному удо-
влетворению моих клиентов.

Горизонтальные оплеточные
машины, ткацкие станки для
бензиновых рукавов.



Guido Horn
Berlin-Weißensee XII



6775

INREKLAMA

Moskau, Kusnezki Most, 18

INREKLAMA

ist die einzige Annehmestelle ausländi-
scher Industriereklaamen für die ge-
samte in der UdSSR erscheinende
Fachpresse.

INREKLAMA

hat Vertretungen in allen Ländern.

INREKLAMA

besitzt in Deutschland eine einzige
rechtmässige Firma A. GÖBEL —
Berlin — Wilmersdorf, Hohenzollern-
damm 193 (Ecke Pfalzburgerstrasse)
Telefon 86 33 15.

STEMAG

СИПА Н

представляет собой керамический материал,
отличающийся исключительно малым тепло-
вым расширением и чрезвычайно пригодный
для

**высокочастотных колебательных кон-
туров**, которые должны быть нечув-
ствительны по отношению к колеба-
ниям температуры (напр. стержни кату-
шек, цилиндры, опорные плиты и дру-
гие фасонные детали)

фасонных деталей для общетехниче-
ских целей — в первую очередь в ка-
честве заменителей металлических де-
талей, подвергающихся сильным коле-
баниям температуры (напр. гильзы для
волновой защиты, переключательные
кулачки)

Возможна обработка поверхностей глази-
ровкой и полировкой, а равно наплавкой ме-
таллических проводников тока.

Steatit-Magnesia Aktiengesellschaft
Werk I Lauf (Pegnitz)

6759

БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩИЕ ПРЕССЫ для пластических масс модель НРК

с патентованным индивидуальным гидравлическим приводом



Быстродействующие прессы НРК применяются в настоящее время во всех промышленных странах, причем во многих предприятиях установлены целые серии таких прессов. Их успех обусловлен не только их исключительной производительностью и надежностью в эксплуатации, вызванные их конструктивными особенностями но и разносторонней возможностью их применения. Быстродействующие прессы НРК пригодны для прессования всевозможного сырья различными способами. Они допускают экономически-рациональное производство сложнейших деталей, даже из трудно поддающегося обработке сырья. Благодаря наличию специальных приспособлений, как-то автоматического, легко регулируемого замедлителя хода пресса, гидравлического выбрасывателя и т. д.: работа этого пресса отвечает самым суровым требованиям. Быстродействующие прессы НРК удовлетворяют Вас при обработке всевозможного сырья различными способами, как производительностью так и качеством выработанных изделий.

Требуйте посылку Вам нашего проспекта № 92

HAHN & KOLB · STUTTGART ГАН и КОЛЬБ · ШТУТГАРТ

6755

Выписка заграничных товаров может последовать лишь на основании действующих в СССР правил о монополии внешней торговли.

Rosenthal

поставляет из лучшего
Твердого фарфора:

ИЗОЛЯТОРЫ для высокого и низкого напряжений
любого рода, а также специальных типов для наивысших
напряжений и загрязнения

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ, высокоомные,
сопротивления, сопротивления для радио, потенциометры, специальные сопротивления

**ВЫСОКОЧАСТОТНЫЕ ИЗОЛЯЦИОННЫЕ
МАТЕРИАЛЫ**

ФАРФОРОВЫЕ РАДИАТОРЫ

ТРУБКИ ИЗ ТВЕРДОГО ФАРФОРА
для проводки жидкостей

**КЕРАМИЧЕСКИЕ СПЕЦИАЛЬ-
НЫЕ ИЗДЕЛИЯ ДЛЯ ТЕХНИ-
ЧЕСКИХ ЦЕЛЕЙ**, в част-
ности для химической
промышленности, кра-
силен и пивоварен-
ных заводов

Требуйте наши
подробные
прейску-
ранты

6774

ROSENTHAL - ISOLATOREN

G . M . B . H

SELB / BAYERISCHE OSTMARK (ГЕРМАНИЯ)

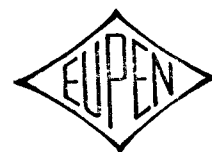
6774

Выписка зарубежных товаров может последовать лишь на основании действующих в СССР правил о монополии внешней торговли.

Вологодская областная универсальная научная библиотека

www.booksite.ru

п. 53 г.



Слаботочные кабели

для телефонии, телеграфии, сигнализации,
радиопередачи и телевидения

Сильноточные кабели

для высокого и низкого напряжений
для любого назначения

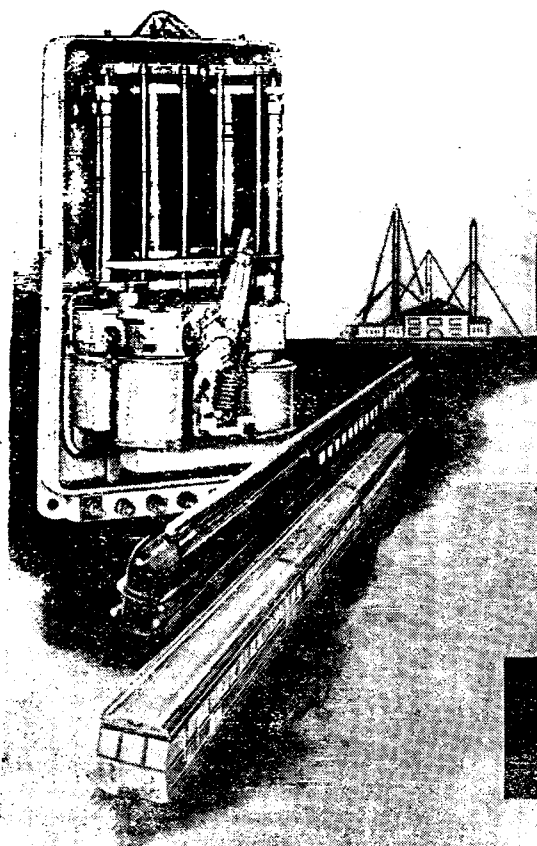
ИЗОЛИРОВОЧНЫЕ ПРОВОДА ЛЮБОГО РОДА

КАБЕЛЬНАЯ ГАРНИТУРА ИЗОЛЯЦИОННЫЕ ТРУБКИ

6778

KABEL-UND GUMMIWERKE A.G.
EUPEN Германия

1535



Пинтчевские регуляторы давления углей благодаря своей высокой скорости регулировки принадлежат к классу скоростных регуляторов и конструируются с точностью регулировки до $\pm 0,1\%$. Достигнутая в результате особой конструкции большая изменяемость в сопротивлении угольных стержней обеспечивает очень широкий диапазон регулировки. Искровые перебои исключаются, так как регулировка осуществляется бесконтактно. При правильном учете поставленных задач регулировки срок службы даже без специального наблюдения практически неограничен.

Пинтчевские регуляторы давления углей применяются для любых задач регулировки в электротехнике. Германские государственные жел. дороги строят их уже более 15 лет в качестве стандартных регуляторов освещения поездов. Германская государственная почта применяет для своих усилительных установок исключительно регуляторы Пинтча, а их употребление в многочисленных радиовещательных и приемочных установках в Германии и за границей может служить доказательством их надежности и бесперебойности в работе. До сих пор нами поставлено более 60 000 регуляторов!

4728

PINTSCH

JULIUS PINTSCH K G / BERLIN O 17

ГОСЭНЕРГОИЗДАТ

МОСКВА, пр. Владимирова, 4

(ФЕВРАЛЬ)

(ФЕВРАЛЬ)

ВЫШЛИ ИЗ ПЕЧАТИ

АРОНС Г. А. — Теплоиспользующие аппараты. Изд. 2-е, перераб. и дополненное. Утв. ГУУЗ НКЭС в качестве учебного пособия для энергетических вузов. М.—Л., Госэнергоиздат, 1941 г., стр. 367, ц. 11 р. 75 к. * переплете, тираж 5 000.

ЗУБОВ И. Н. и КОЗЛОВСКАЯ В. К. — Гидроэлектрические станции малой мощности. Популярный справочник по организации проектирования, строительства и эксплуатации (НКЭС СССР — Главгидроэнергострой. Гидроэнергосектор). М.—Л., Госэнергоиздат, 1941 г., стр. 225, ц. 10 руб. в перепл., тираж 5 000.

1, s-ДИАГРАММА МОЛБЕ ДЛЯ ВОДЯНОГО ПАРА по В. КОХУ. М.—Л., Госэнергоиздат, 1941 г., ц. 1 р. 25 к., тираж 25 000.

* **ИНСТРУКЦИЯ № АК-3193** по монтажу и уходу за тормозными магнитами трехфазного тока типа КМТ. (НКЭП — Главэлектромашпром). М.—Л., Госэнергоиздат, 1941 г., стр. 13, бесплатно, тираж 2 000.

* **ИНСТРУКЦИЯ № М-222** по монтажу и эксплуатации разъединителей для внутренних установок типа РВУ на 6—10—35 кв, 200—400—600—1 000—1 500 а (НКЭП — Главэлектромашпром). М.—Л., Госэнергоиздат, 1941 г., стр. 31, бесплатно, тираж 1 500.

* **ИНСТРУКЦИЯ** по оценке работы релейной защиты. (НКЭС СССР, Технический отдел). М.—Л., Госэнергоиздат, 1941 г., стр. 35, ц. 1 р. 25 к. в обл., тираж 2 250.

* **ИНСТРУКЦИЯ** по уходу, осмотру и ремонту крановых электродвигателей переменного тока серий КТ, КТО и КТК. (НКЭП — Главэлектромашпром) М.—Л., Госэнергоиздат, 1941 г., стр. 63, бесплатно, тираж 3 000.

* **ИНСТРУКЦИЯ** по эксплуатации машин для точечной сварки типа АТ-5. (НКЭП — Главэлектромашпром). М.—Л., Госэнергоиздат, 1941 г., стр. 7, бесплатно, тираж 1 500.

КАГАНОВ И. Л. — Инвертирование постоянного тока в трехфазный. Теория, расчет и экспериментальное исследование схем питания. (Труды Всес. электротехнического института. Вып. 48). М.—Л., Госэнергоиздат, 1941 г., стр. 151, ц. 6 руб. в обл., тираж 1 000.

* **КАТАЛОГ ТЕО № 5-а.** Тяговое электрооборудование. Электромагнитные линейные контакторы для трамваев, троллейбусов и промышленных электровозов. (НКЭП — Главэлектромашпром). М.—Л., Госэнергоиздат, 1941 г., стр. 15, ц. 2 р. 25 к. в обл., тираж 1 000.

МЕЛЕНТЬЕВ Л. А. — Вопросы энергоснабжения промышленных центров. М.—Л., Госэнергоиздат, 1941 г., стр. 199, ц. 8 р. 75 к. в обл., тираж 3 000.

* **НОРМАЛЬНЫЕ МОТОР-ГЕНЕРАТОРЫ** мощностью 0,85—88 квт при 1 560 синхронных оборотов в минуту. Вып. 1. Каталог. (НКЭП — Главэлектромашпром). М.—Л., Госэнергоиздат, 1941 г., стр. 16, ц. 1 р. 50 к. в обл., тираж 1 500.

РАДЦИГ В. А. — Выбор площадок для строительства электрических станций и производство изысканий. М.—Л., Госэнергоиздат, 1941 г., стр. 186, ц. 7 р. 75 к. в обл., тираж 2 500.

* **РУКОВОДЯЩИЕ УКАЗАНИЯ** по расчетам потоков распределения активных и реактивных мощностей и напряжений в сетях. (НКЭС СССР, технический отдел). М.—Л., Госэнергоиздат, 1941 г., стр. 53, ц. 3 р. 25 к. в обл., тираж 3 500.

* **СВОДНЫЙ КАТАЛОГ.** Раздел II, Синхронные машины. Вып. 1. Синхронные генераторы. Серия СГ. (НКЭП — Главэлектромашпром). М.—Л., Госэнергоиздат, 1941 г., стр. 3, ц. 50 коп., тираж 1 500.

* **СВОДНЫЙ КАТАЛОГ** электрооборудования. Раздел V. Крановая аппаратура. Вып. 1. Пускорегулирующие сопротивления. (НКЭП — Главэлектромашпром — ОБТИ). М.—Л., Госэнергоиздат, 1941 г., стр. 39, ц. 6 р. 50 к. в обл., тираж 1 500.

* **СВОДНЫЙ КАТАЛОГ.** Раздел V. Крановая аппаратура. Вып. 2. Командо-аппараты. (НКЭП — Главэлектромашпром). М.—Л., Госэнергоиздат, 1941 г., стр. 7, ц. 1 руб. в обл., тираж 1 500.

* **СВОДНЫЙ КАТАЛОГ** электрооборудования. Раздел XIV. Универсальные коллекторные электродвигатели. Вып. 1. Серия УМ. (НКЭП — Главэлектромашпром). М.—Л., Госэнергоиздат, 1941 г., стр. 4, ц. 35 коп., тираж 2 000.

СЛОНИМСКИЙ Л. Н. — Электрификация торфопредприятий, ч. II. Электрооборудование предприятий по добыче торфа. Утв. ГУУЗ НКЭС СССР в качестве учебного пособия для торфяных институтов. М.—Л., Госэнергоиздат, 1941 г., стр. 375, ц. 11 руб. в перепл., тираж 2 000.

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ СУШИЛЬНОЙ ТЕХНИКИ. Сборник под ред. проф. М. Ю. Лурье. Вып. 2. (НКЭС СССР. Всес. научно-исследов. теплотехнический институт им. Ф. Дзержинского). М.—Л., Госэнергоиздат, 1941 г., стр. 103, ц. 6 руб. в обл., тираж 2 000.

ФАЛЬКНЕР Н. И. — Электрические нагревательные приборы. Конструирование и расчет. М.—Л., Госэнергоиздат, 1941 г., стр. 319, ц. 12 руб. в перепл., тираж 4 000.

ФАСТОВСКИЙ В. Г. — Криптон и ксенон. (Труды Всес. электротехнического института, вып. 47). М.—Л., Госэнергоиздат, 1941 г., стр. 116, ц. 4 р. 50 к. в обл., тираж 1 000.

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ. (Труды Всес. электротехнического института. Вып. 46). М.—Л., Госэнергоиздат, 1941 г., стр. 109, ц. 4 р. 25 к. в обл., тираж 1 000.

ЭЛЕКТРОННЫЕ И ИОННЫЕ ПРИБОРЫ. Под ред. проф. Тимофеева П. В. (Труды Всес. электротехнического института, вып. 41). М.—Л., Госэнергоиздат, 1940 г., стр. 335, ц. 15 руб. в перепл., тираж 1 000.

Заказные издания, отмеченные звездочкой (*), издательство сдает непосредственно заказчикам; остальные издания поступают для продажи в книготорговую сеть. Само издательство никаких изданий не высылает.