

# ЭЛЕКТРИЧЕСТВО



ГОСЭНЕРГОИЗДАТ

7

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Доктор техн. наук, проф. **Г. Н. Петров** (редактор), академик **А. И. Берг**,  
доктор техн. наук, проф. **Ю. В. Буткевич**, доктор техн. наук **А. А. Глазунов**,  
член-корр. АН СССР **М. П. Костенко**, академик **В. Ф. Митневич**, канд. техн.  
наук **И. А. Сыромятников**, член-корр. АН СССР **М. А. Шателен**

Адрес редакции: Москва, Б. Черкасский пер., д. № 2, тел. К-4-24-80.  
Адрес для телеграмм: Москва Электричество  
Адрес для корреспонденции: Москва, Главный почтамт, почтовый  
ящик № 648

# Задачи эксплуатации в области электроавтоматики и релейной защиты

Кандидат техн. наук И. А. СЫРОМЯТНИКОВ

В области электроавтоматики и релейной защиты мы в последние годы добились больших успехов. Особо следует отметить работы по повышению устойчивости параллельной работы систем и надежности электроснабжения потребителей. Эти успехи явились

прямым результатом массового внедрения электроавтоматики и усовершенствования релейной защиты.

При разработке этих мероприятий Технический отдел МЭС использовал опыт передовых энергосистем и предложения отдельных специалистов. Одновременно пришлось выдержать напряженную борьбу с некоторыми специалистами, предлагавшими для повышения устойчивости параллельной работы и надежности электроснабжения потребителей ряд сложных и неправильных мероприятий: автоматическую разгрузку по напряжению, отключающую потребителей при понижении напряжения; замену всех существующих выключателей на быстродействующие; установку на всех генераторах защиты от выпадения из синхронизма; установку мгновенных делительных защит по соображениям сохранения динамической устойчивости и т. п. Опыт эксплуатации подтвердил правильность и эффективность предложенных мероприятий, рекомендованных Техническим отделом МЭС в противоаварийных циркулярах № 1 и 2. Основные ошибки этих специалистов и технических руководителей некоторых систем Министерства электростанций заключались в недооценке таких простых, но весьма эффективных средств, как автоматическое регулирование возбуждения и автоматическая разгрузка по частоте.

В вопросах разработки мероприятий, направленных к улучшению работы энергосистем, советские энергетики нашли и применили ряд решений, выгодно отличающихся от тех, которые используются за рубежом.

*Советская энергетика достигла больших успехов в области электроавтоматики и релейной защиты. Эти успехи явились результатом массового внедрения опыта передовых энергосистем и работы советских специалистов по изысканию простых и эффективных схем автоматики и релейной защиты. В статье, являющейся изложением доклада автора на научной сессии ВНИТОЭ по автоматике (Ленинград, 1949), изложены те мероприятия, которые обеспечили повышение надежности работы энергосистем и электроустановок промышленных предприятий и освещены дальнейшие задачи эксплуатации в области электроавтоматики и релейной защиты.*

Реконструкция релейной защиты, автоматический ввод резерва источников питания, секционирование, применение самозапуска асинхронных двигателей, в том числе и с фазным ротором, и другие мероприятия обеспечили надежность работы установок собственного

расхода электрических станций.

Такие мероприятия, как массовое внедрение автоматического регулирования возбуждения синхронных машин, автоматическая разгрузка по частоте, усовершенствование релейной защиты, автоматическое трехфазное и однофазное повторное включение воздушных линий электропередачи значительно повысили устойчивость параллельной работы систем и надежность электроснабжения потребителей.

В результате проведенной реконструкции релейной защиты асинхронных и синхронных двигателей и сети в нескольких электроустановках крупных потребителей значительно повысилась надежность работы и прекратились массовые отключения двигателей у этих потребителей при понижении напряжения в сети. Несмотря на большую важность этих усовершенствований как для потребителей, так и для энергосистем, этот опыт не нашел широкого распространения. До сих пор имеют место отключения двигателей от мгновенной защиты вследствие повышения напряжения и неправильно настроенной максимальной защиты. Нужно вместе с тем отметить, что реконструкция релейной защиты потребителей весьма проста и заключается практически в ликвидации мгновенной защиты минимального напряжения или установки на ней выдержки времени порядка 4—10 сек и внедрение максимальных мгновенных защит, отстроенных от пусковых токов на всех двигателях.

Первый опыт массового применения форсировки возбуждения на генераторах и внедрение

самозапуска асинхронных двигателей потребителей был проведен в системе Азэнерго до войны.

Громадная работа по внедрению устройств автоматического регулирования возбуждения во многих энергосистемах была выполнена во время войны работниками эксплуатации и ОРГРЭС. Часть энергосистем внедрила это простое весьма эффективное мероприятие только в последние годы, что свидетельствует о том, что руководители этих энергосистем недооценивали, не придавали этому вопросу должного значения. В дальнейшем необходимо все синхронные машины, как уже установленные, так и вновь монтируемые, обеспечить устройствами автоматического регулирования возбуждения.

Большая работа была выполнена в энергосистемах по усовершенствованию релейной защиты, главным образом, в направлении ускорения ее действия при коротких замыканиях и по внедрению устройств электроавтоматики. В то же время следует отметить, что с объемом внедрения некоторых видов электроавтоматики положение явно неудовлетворительное. Например, во многих системах нет автоматической разгрузки по частоте или она установлена на совершенно недостаточном количестве фидеров по мощности, в результате чего имеют место случаи полного развала некоторых энергосистем. Необходимо в кратчайшее время во всех энергосистемах установить эти устройства в количестве, обеспечивающем сохранение устойчивой работы при аварийных отключениях генерирующей мощности. Недостаточно удовлетворительно обстоит также дело с внедрением автоматического повторного включения линий электропередачи (АПВ). Есть системы, где практически эта работа только начинается.

В первую очередь следует возможно быстрее внедрить давно известные мероприятия, проверенные опытом эксплуатации, во всех энергосистемах и электроустановках потребителей. Учитывая их особую важность, кратко перечислим их.

1. Синхронные машины (генераторы, компенсаторы и двигатели) должны иметь устройства автоматического регулирования возбуждения с обязательным использованием потолочного возбуждения возбуждателей.

2. Энергосистемы должны быть оснащены устройствами автоматической разгрузки по частоте, установленными на таком количестве фидеров, кратковременное отключение которых позволяло бы сохранить устойчивость параллельной работы системы при аварийных отключениях генерирующей мощности.

3. Воздушные линии электропередачи, а также смешанные кабельные линии, питающие большое число подстанций, должны быть оборудованы АПВ с самовозвратом. Пофазное АПВ должно применяться на всех линиях, где применима длительная работа по двум фазам с использованием земли в качестве обратного провода, а на линиях с двухсторонним питанием, где не прохо-

дит трехфазное, АПВ с улавливанием момента синхронизма.

В связи с выпуском воздушных выключателей область применения трехфазных быстродействующих АПВ на линиях с двухсторонним питанием, безусловно, расширится. Таким образом, применение различных типов АПВ должно рассматриваться в следующей последовательности: простое трехфазное АПВ, трехфазное с проверкой синхронизма, трехфазное с улавливанием момента синхронизма, быстродействующее и трехфазное АПВ. Кроме того, пофазное АПВ должно применяться на всех линиях, допускающих длительную работу по двум фазам.

4. Источники питания собственного расхода должны иметь рационально выполненный автоматический ввод резерва (АВР).

5. Ответственные асинхронные двигатели собственных нужд электростанции и потребителей должны иметь защиты, обеспечивающие их самозапуск после отключения коротких замыканий или при переключении на резервный источник питания. Защиту следует осуществить при помощи одного реле.

Защита минимального напряжения с небольшой выдержкой времени, порядка 0,5 сек., должна применяться только для отключения неотвечественных двигателей для обеспечения самозапуска ответственных.

6. Синхронные двигатели должны иметь устройства форсировки возбуждения и максимальную защиту, действующую мгновенно при коротких замыканиях, и максимальную зависящую с выдержкой времени, действующую при выпадении двигателя из синхронизма, а также защиту минимального напряжения, отстроенную по времени от резервных защит и во всяком случае с выдержкой не менее 5 сек.

7. На нереактивированных фидерах, отходящих с шин станции и крупных районных подстанций, следует предусмотреть мгновенную отсечку, настроенную таким образом, чтобы во короткие замыкания отключались бы мгновенно при напряжениях на шинах меньше 50% от нормального рабочего напряжения. При этом следует применять сочетание отсечки с АПВ. АВР и в случае необходимости допускать неэффективное действие защиты. Основная сеть высокого напряжения должна быть оборудована быстродействующими защитами.

8. Для максимальной защиты двигателей фидеров, как правило, необходимо использовать однорелейные схемы.

**Вопросы автоматики.** Метод самосинхронизации для включения генераторов на параллельную работу имеют большие преимущества перед применяемым в настоящее время способом тонкой синхронизации. Метод заключается в том, что генератор разворачивается примерно до нормальной скорости и включается в сеть без возбуждения. Затем, непосредственно после включения, подается возбуждение и генератор через 1-2 сек. втягивается в синхронизм. При этом методе исключается возможность ошибочного вклю-

чения генераторов с большим углом расхождения фаз, ускоряется процесс включения, что особенно важно при аварийном положении в системе, и возможно осуществить простую и надежную автоматизацию.

Метод самосинхронизации может применяться для гидро- и турбогенераторов, присоединенных через трансформаторы, независимо от их мощности, а также в целом ряде случаев и для генераторов, работающих на общие шины. Для синхронных компенсаторов, установленных в эксплуатации и имеющих разгонные двигатели, следует также применять включение по описанному методу.

Самосинхронизация дает возможность применить АПВ для электростанции, связанной с системой линией электропередачи. При отключении линии производится отключение гашения поля генераторов и при установившемся числе оборотов производится включение линии вместе с генератором с последующим включением автомата гашения поля. Это значительно повысит надежность работы таких электростанций.

Для компенсаторов и двигателей следует широко применять прямой или реакторный пуск с приключенным возбудителем. При этой схеме весьма просто осуществляется полная автоматизация пуска и останова, а в случае необходимости и телеуправление. При такой схеме синхронный компенсатор или двигатель ничем не отличается от асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором. Нужно решительно отказываться от сложных схем, которые были предложены иностранными фирмами для того, чтобы увеличить количества аппаратуры.

В схемах автоматики гидростанций нужно отказаться от ряда усложнений, предложенных заводами необоснованно. Например, нужно применять глухое торможение и отказаться в ряде случаев от устройств разгрузки пята.

Автоматическое регулирование возбуждения синхронных машин имеет громадное значение для устойчивости параллельной работы систем. Оно должно применяться на всех синхронных машинах. Наиболее пригодным для целей автоматического регулирования возбуждения является компаундирование, разработанное Институтом электротехники АН УССР (Л. В. Цукерник). Компаундирование по своим показателям не уступает электронному регулятору напряжения, а по надежности превосходит его, так как не имеет электронных ламп, не связано с посторонним источником питания и т. п. Устройство компаундирования должно поставляться комплектом заводом «Электросила». При разработке вопроса возбуждения синхронных машин следует учитывать следующие основные требования: потолок возбудителя должен быть не меньше двойного номинального напряжения возбуждения генератора, минимально возможная постоянная времени возбудителя, регулятор возбуждения должен быть прост и надежен при наладке и в эксплуатации.

Большие работы, выполненные за последнее время в ЦНИЭЛ МЭС, показали, что турбогенераторы с массивными роторами при потере возбуждения могут в очень многих случаях безопасно нести активную нагрузку, и поэтому вопрос о необходимости блокировки между выключателем и автоматом гашения поля должен быть пересмотрен. Вопрос этот правильно может быть решен на основе массовых испытаний генераторов при работе без возбуждения, которые следует провести в системах.

**Защита.** Изучение опыта эксплуатации показывает, что назрела необходимость в проведении ряда радикальных мероприятий в области релейной защиты. Эти меры диктуются, с одной стороны, неудовлетворительными показателями работы ряда защит, с другой стороны, следует учесть общее повышение технической культуры и широкое внедрение новых методов эксплуатации, так, например, массовое испытание повышенным напряжением электрооборудования, внедрение дугогасящих устройств и др.

Дифференциальная защита трансформаторов и генераторов. До самого последнего времени не было простой и надежной дифференциальной защиты трансформаторов. Основное затруднение заключалось в отстройке от бросков намагничивающего тока при включениях на холостой ход. Применяемые реле для дифференциальной защиты не удовлетворяли предъявляемым к ним требованиям. Особенно нужно отметить реле HDD фирмы GE, которое является примером весьма дорогого, сложного и плохого решения этого вопроса.

В результате большой работы, проведенной в Советском Союзе, удалось найти простое решение вопроса отстройки дифференциальной защиты трансформаторов от бросков тока намагничивания, применив вспомогательные быстронасыщающиеся трансформаторы тока.

Быстронасыщающиеся трансформаторы тока были впервые предложены еще в 1938 г. В 1945—1946 гг. проводилась работа по применению этих трансформаторов И. Д. Кутявиным в Томском индустриальном институте, но она не была доведена до конца. В ЦНИЭЛ МЭС в результате большой работы удалось показать и обосновать действительно высокую эффективность применения быстронасыщающихся трансформаторов в дифференциальной защите и не только трансформаторов, но и генераторов. Институт выпустил серию реле с быстронасыщающимися трансформатором и дал метод их расчета.

Возможно применение для защиты трансформаторов реле с тормозными катушками в сочетании с быстронасыщающимися трансформаторами в виде отдельных органов или совмещенными (в случае простого решения). Следует указать, что нет никакой необходимости в выполнении чувствительной, но сложной дифференциальной защиты.

Необходимо также пересмотреть мощность трансформаторов, на которых устанавливается газовая защита. Во всяком случае для трансфор-

матора до 1000 кВА она не должна устанавливаться. Для трансформаторов средней мощности в целом ряде случаев она должна действовать на сигнал, например, на подстанциях, имеющих дежурный персонал.

Дифференциальная продольная и поперечная защита генераторов должна выполняться только при помощи мгновенных токовых реле с быстронасыщающимся трансформатором (без торможения). Реле с тормозными катушками применять не следует, так как установившийся ток небаланса мал. Реле с торможением целесообразно применять только там, где при установившемся коротком замыкании токи небаланса могут быть сравнительно большими, например, на трансформаторах. На генераторах токи небаланса при установившемся режиме короткого замыкания составляют всего лишь несколько миллиампер.

Надо отметить, что не следует усложнять защиту для получения высокой чувствительности. Ток трогания дифференциальных защит может быть больше номинального и должен лимитироваться лишь надежной работой защиты при коротких замыканиях.

Поперечная дифференциальная защита должна применяться только на генераторах, имеющих выведенные заводом параллельные ветви.

**Защита двигателей.** Наблюдаются сравнительно многочисленные отключения асинхронных и синхронных двигателей при понижениях напряжения, вызванных короткими замыканиями в сети, а также отключение асинхронных двигателей при кратковременных перерывах в питании электроэнергии, обусловленных действием АПВ и АВР.

В большинстве случаев эти отключения совершенно излишни и вызваны защитой минимального напряжения с мгновенной или с небольшой выдержкой времени и неправильно настроенной максимальной защитой, установленной на двигателях. Основная ошибка заключается в том, что в одной максимальной защите совмещается защита от коротких замыканий и защита от перегрузки. В результате чего защита с током трогания, близким к номинальному току двигателя, имеет малую выдержку времени. Все это приводит к тому, что короткие замыкания отключаются не мгновенно, а с выдержкой времени. Вследствие того, что скорость двигателей за время короткого замыкания значительно снижается, то и после восстановления напряжения двигатели отключаются защитой от токов самозапуска. Кроме того, двигатели, имеющие мгновенную защиту минимального напряжения или с малой выдержкой времени, отключаются во время короткого замыкания.

Внимательное изучение явлений, происходящих в двигателях при нормальных режимах и неизбежно имеющих место в эксплуатации ненормальных режимов, весьма убедительно показало, что защита минимального напряжения совершенно не нужна для защиты самого двигателя. Ее назначением является отключение неот-

ветственных двигателей при коротких замыканиях для обеспечения самозапуска ответственных двигателей. Рассмотрим этот вопрос более подробно.

Во время работы двигатель неизбежно работает в различных ненормальных режимах, от которых его не предохраняет ни одна из существующих защит, в том числе и защита минимального напряжения, а в то же время опыт эксплуатации показывает, что двигатели вполне надежно работают при этих режимах. Перечислим эти режимы.

1. При любом коротком замыкании в сети каждый двигатель посылает к месту короткого замыкания переходной ток, по величине практически равный переходному току при включении двигателя на полное напряжение и выведенном пусковом устройстве.

2. Двигатель при технологической перегрузке может перейти за максимальный момент, и если перегрузка не будет устранена, а такие случаи, безусловно, могут иметь место, — двигатель остановится и будет потреблять полный пусковой ток.

3. Каждый двигатель обязан выдерживать кратковременные перегрузки при работе с моментом, близким к максимальному. Для асинхронных двигателей ток будет при этом равен примерно 70% от тока при неподвижном роторе.

4. Все двигатели в эксплуатации неизбежно подвергаются перегрузке не только по технологическим причинам, что было рассмотрено выше, а также вследствие потребления повышенных токов при восстановлении напряжения после отключения неполного или удаленного короткого замыкания, когда напряжение было несколько больше уставки защиты минимального напряжения.

5. Синхронный двигатель при выпадении из синхронизма обязан выдерживать токи, протекающие при наличии возбуждения. Эти токи значительно превосходят токи при пуске двигателя на полное напряжение с выведенным пусковым устройством.

Ни в одном из рассмотренных выше примеров защита минимального напряжения не может предотвратить протекания по обмоткам двигателя повышенных токов. Таким образом, следует, что все двигатели, в том числе и асинхронные с фазным ротором и синхронные, обязаны выдерживать пусковые токи при включении на полное напряжение сети с выведенными пусковыми устройствами. Допустимая длительность протекания этих токов определяется не соображениями динамической устойчивости обмоток, а предельно допустимым нагревом.

Каковы же могут быть токи, которых так опасаются сторонники защиты минимального напряжения при самозапусках двигателя и при восстановлении напряжения после отключения короткого замыкания в реальных условиях?

При рассмотрении явлений, происходящих при самозапуске, оказывается, что восстанавливаемое напряжение практически никогда не может быть выше номинального напряжения дви-

гателей. В самом деле, асинхронные двигатели, снизившие скорость за время короткого замыкания, при восстановлении напряжения имеют весьма небольшое значение сопротивления и поэтому будет иметь место потеря напряжения в сопротивлениях, включенных между источником питания и двигателями, и ток при самозапуске всегда будет меньше, чем пусковой ток при номинальном напряжении.

Не нужно забывать характерную особенность асинхронных двигателей, заключающуюся в том, что уже при небольшом снижении скорости сопротивление их резко падает. Например, при скольжениях порядка 0,1—0,2 сопротивление двигателя почти равно сопротивлению при неподвижном роторе. Вследствие весьма малой величины восстанавливающего напряжения приходится отключать ряд менее ответственных двигателей с тем, чтобы можно было обеспечить самозапуск ответственных двигателей.

Вопросы определения мощности неотключаемых двигателей по условию самозапуска достаточно хорошо разработаны в Советском Союзе как в случае питания их от сети, так и при питании от генераторов. Допустимость самозапуска проверена долголетней эксплуатацией на электростанциях Министерства электростанций. И нужно удивляться тому, что до сих пор многие специалисты считают самозапуск опасным явлением. Теперь есть основания к широкому внедрению самозапуска для ответственных двигателей промышленных предприятий.

Трудно учесть все случаи, которые встречаются в практике. Целесообразно поступить следующим образом. Все двигатели разбить на три группы: группа наиболее ответственных двигателей имеет защиту от перегрузки, действующую на сигнал или с выдержкой времени 10—15—20 сек; вторая группа двигателей, менее ответственных, имеет выдержку времени 2—5 сек. или 5—10 сек, в зависимости от характера прихода. На неотвеченных двигателях устанавливается защита минимального напряжения с выдержкой времени около 0,5 сек. Тогда при коротких замыканиях, которые будут отключены быстродействующей защитой, например, отсечкой, все двигатели — ответственные и неотвеченные — остаются в работе, так как действие отсечки вместе с выключателем составляет около 0,25 сек. Если же будет иметь место отключение короткого замыкания с выдержкой времени, то все неотвеченные двигатели отключаются защитой минимального напряжения с выдержкой 0,5 сек., а все оставшиеся могут быть обеспечены самозапуском. Таким образом, в зависимости от длительности короткого замыкания будут оставаться в работе или все двигатели или только наиболее ответственные.

Для двигателей первой группы — наиболее ответственных и имеющих обслуживающий квалифицированный персонал, можно ограничиться только защитой от коротких замыканий, отстроенной от пусковых токов. Такая схема принята

на многих электростанциях министерства для двигателей собственных нужд электростанций.

Для примера можно привести опыт работы двигателей после реконструкции защиты.

На одной тэц на циркуляционных насосах были установлены синхронные двигатели на напряжение 3 кв. После пуска тэц она два раза останавливалась полностью даже при коротких замыканиях за реактированными фидерами 10 кв вследствие отключения этих двигателей защитой минимального напряжения. После того как защита минимального напряжения была переведена на сигнал, прекратились отключения двигателей. На той же тэц была впоследствии выполнена форсировка возбуждения. Испытания, которые были проведены с этими двигателями, показали, что форсировка возбуждения значительно повышает устойчивость их работы.

На одном химическом заводе также имели место массовые отключения двигателей (6—7 в год) при понижениях напряжения, вызванных короткими замыканиями в сети. После того как установили выдержку времени 4 сек. на защите минимального напряжения и ввели устройство форсировки возбуждения, случаи отключений стали единичными — одно, два за несколько лет.

После реконструкции защиты на Кузнецком металлургическом комбинате устойчивость работы двигателей значительно повысилась. К сожалению, реконструкция защиты не была доведена до конца вследствие необоснованных опасений некоторых работников комбината.

Число предприятий, на которых проведена реконструкция защиты двигателей, совершенно недостаточно. Надо добиться того, чтобы все ответственные двигатели как асинхронные, так и синхронные имели бы такую защиту, которая обеспечила бы их надежную работу при коротких замыканиях.

Защиты от замыкания на землю. В защиту от замыканий на землю следует внести целый ряд изменений. Существующая практика создания искусственного тока замыкания на землю в целом ряде случаев является неправильной.

Массовое внедрение профилактических испытаний изоляции генераторов и другого электрооборудования позволяет ставить вопрос об отказе от защиты от замыкания на землю для генераторов, действующей на отключение, в тех случаях, когда ток замыкания на землю не превышает 5 а. При токах замыкания на землю: превосходящих 5 а, защита от замыкания на землю для генераторов должна работать на отключение. Рекомендуются использовать для защиты емкостные токи при их значениях до 20—30 а. При больших токах необходимо устанавливать компенсирующие катушки.

Ток замыкания на землю не должен превосходить 50 а потому, что тогда возможно будет избежать междофазных замыканий при заземлениях в кабелях. В качестве защиты от замыкания на землю должна применяться только токовая защита при помощи чувствительных реле

завода МЭП или ЦНИЭЛ. От установки сложных ваттметровых защит следует отказаться.

Для мощных генераторов, работающих блоком с трансформатором, у которых в ряде случаев емкостной ток превосходит 5 а, следует рассмотреть возможность установки компенсирующих катушек. Это позволит отказаться от защиты от замыкания на землю и в этих случаях.

Имеется перспектива более широкого использования реле ЦНИЭЛ. Оно обладает весьма высокой чувствительностью, которая позволяет осуществить простую защиту от замыкания на землю генераторов, работающих на шины, и фидеров с использованием сравнительно небольших емкостных токов порядка 10 а для генераторов и 2—3 а для фидеров. Защита выполняется с помощью специальных трансформаторов, устанавливаемых на каждом кабеле, к вторичным обмоткам которых, соединенным параллельно, подключается реле ЦНИЭЛ.

Чувствительность защиты при применении трансформаторов из обычной стали и с обычным реле получается порядка 10 а, а при применении пермаллоя и реле ЦНИЭЛ от 2 до 3 а.

Разработанное реле без подвижных элементов представляет собой магнитный усилитель с обратной связью, поставленный в релейный режим. Теоретическая возможность использования указанного принципа известна из литературы. Попытка применения указанного принципа к максимальной токовой защите фидеров с приводом КАМ была сделана ранее в ЭНИН АН СССР. Разработка реле в ЭНИН АН СССР начиналась в 1944 г. но, к сожалению, не была доведена до конца. ЦНИЭЛ впервые решила применить указанный принцип к защите генератора от замыканий на землю. Работа увенчалась успехом, и к началу 1948 г. была закончена.

Вопросы защиты от замыкания на землю в сетях 35 кВ и ниже следует рассмотреть несколько подробнее.

В Советском Союзе практически все эти сети работают с изолированной нейтралью. Это дает возможность работать с землей в сети с тем, чтобы можно было найти поврежденный фидер, обеспечить потребителя по возможности резервным питанием или, по крайней мере, подготовить и затем отключить фидер для ремонта.

Опыт эксплуатации показывает, что в сетях, где регулярно и качественно проводятся профилактические испытания и ремонты, работа с землей не сопровождается пробоями на землю в других фазах. Несмотря на явную целесообразность допускать на некоторое время работу с землей многие энергосистемы идут по линии наименьшего сопротивления, устанавливая защиту от замыканий на землю, действующую на отключение. Такая практика является вредной. Поэтому сети с незаземленной нейтралью не должны иметь защиту от замыкания на землю, действующую на отключение. Защита от замыкания на землю может действовать и на отключение

только в тех случаях, когда это не вызывает обесточения потребителей.

Повышение надежности работы цепей вторичной коммутации. Для уменьшения случаев появления земли в цепях вторичной коммутации следует широко применять испытание этих цепей повышенным напряжением переменного или постоянного тока во время капитальных ремонтов. Испытания, проведенные лабораторией Цетрорэлектросетей на одной из подстанций после монтажа дали возможность выявить большое количество слабых мест в кабелях и аппаратуре, причем испытание мегомметром показывало на вполне удовлетворительное состояние изоляции.

Следует отметить, что применение различных «усовершенствованных» схем измерения сопротивления изоляции, предложенных различными организациями и отдельными специалистами, практически дает очень мало. Это объясняется тем, что пробой изоляции в очень многих случаях происходит без предварительного снижения сопротивления изоляции.

**Эксплуатация электроавтоматики и релейной защиты и вопросы производства.** Анализ работы устройств электроавтоматики и релейной защиты показывает, что значительная часть случаев неправильной работы этих устройств обусловлена низким уровнем эксплуатации: недостаточная техническая грамотность и плохая техническая дисциплинированность персонала; отсутствие единых программ и инструкции по проверке устройств защиты и электроавтоматики; отсутствие стандартных бланков протоколов испытаний, отпечатанных типографским способом; отсутствие испытательной аппаратуры и измерительных приборов; недостаточный обмен опытом и использование опыта передовых систем.

Низкое качество релейной аппаратуры и повреждение ее во время транспортировки вследствие плохой упаковки приводит к тому, что эксплуатационный персонал вынужден самым тщательным образом проверять аппаратуру, полученную с завода, а подчас и производить капитальный ремонт ее.

Персонал релейных служб непроизводительно загружается составлением бланков протоколов и изготовлением кустарным путем монтажной аппаратуры.

Улучшение эксплуатации не должно идти в направлении увеличения числа проверок и испытаний, так как практика эксплуатации показывает, что объем испытаний и проверок может быть сокращен, а сроки между испытаниями и проверками удлинены.

Широко следует внедрять испытание защиты генераторов при неподвижном роторе при питании обмоток статора от постороннего источника пониженного напряжения.

Необходимо вести работу по упрощению схем сокращению числа реле, применяемых в устройствах релейной защиты и электроавтоматики.

Следует обратить внимание на имеющие место случаи необоснованной замены хорошо и на-



дежно работающих устройств на новые, не имеющие каких-либо особых преимуществ. Замену следует производить только в тех случаях, когда в результате достигаются значительные преимущества в эксплуатации. Например, демонтаж защиты от замыкания на землю, действующей на отключение, с одной стороны, повышает надежность электроснабжения потребителей и, с другой стороны, избавляет персонал от излишней аппаратуры, которую необходимо проверять и испытывать. Отказ от сложной схемы автоматики синхронного компенсатора при автотрансформаторном пуске и переход к автоматизированному реакторному пуску с обмоткой возбуждения компенсатора, замкнутой на якорь возбуждателя, уменьшает количество аппаратуры как в первичной коммутации, так и особенно в схеме автоматики при полной автоматизации пуска.

Замена ваттметровой защиты генератора от замыкания на землю, действующей от активного тока на токовую защиту, выполненную на емкостном токе, повышает надежность, уменьшает количество аппаратуры и весьма значительно упрощает испытание и проверку защиты во время капитальных ремонтов. Отказ от автоматических синхронизаторов и применение самосинхронизации избавляет от сложной аппаратуры и в то же время ускоряет включение генераторов в сеть, что особенно важно при аварийном положении в системе.

Весьма большое значение имеет правильное направление работ в области релейной защиты и электроавтоматики. При разработке новых устройств основное внимание должно быть обращено на надежность работы и простоту. Особенно важны простые решения в схемах электроавтоматики и релейной защиты. Только простое решение, есть инженерное решение. Стремление многих специалистов к сложным схемам является неправильным.

При прочих равных условиях предпочтение следует отдавать устройствам, не содержащим электронные лампы приборам с низким сроком службы. С этой точки зрения устройства компандирования с корректором без подвижных частей и электронных ламп эксплуатационно значительно удобнее, чем, например, электронный регулятор напряжения или компандирование с электронным корректором. По тем же соображениям фильтры токов различных последовательностей с использованием только активных и индуктивных сопротивлений предпочтительнее фильтров, имеющих конденсаторы: пробой конденсатора практически более вероятен, чем повреждение активного или индуктивного сопротивления.

Заводы, изготавливающие реле и монтажную арматуру, должны принять самые решительные

меры к обеспечению наших энергосистем высококачественными реле и вспомогательной арматурой в достаточном количестве. Особенное внимание следует обратить на реле типа ЭВ, имеющие ряд дефектов.

Следует организовать серийный выпуск быстроедействующих реле мощности, новых реле времени, поляризованных реле, чувствительных токовых реле для земляных защит генераторов, реле для дифференциальной защиты генераторов и трансформаторов с быстронасыщающимися трансформаторами, устройств АПВ разных типов, зажимов, переключателей и другой монтажной арматуры, устройств для проверки защит и т. п.

Должны быть разработаны упрощенные высокочастотные защиты для сети 35 кВ.

Особое внимание должно быть уделено вопросам защиты длинных и сильно загруженных линий электропередачи.

Производственная база Министерства электропромышленности должна быть расширена. Необходима организация нового завода для изготовления устройств релейной защиты и автоматики.

**Заключение.** Необходимо в дальнейшем вести работу в направлении упрощения существующих схем электроавтоматики и релейной защиты. Надо смело отказываться от ряда «перестраховочных» требований, которые усложняют схемы автоматики и затрудняют ее внедрение. Нерешительность в вопросах внедрения новой техники рождает безответственность и приводит к развитию аварий по вине персонала.

По соображениям сохранения динамической устойчивости, нужно отказаться от всякого рода излишних усложнений схем первичной коммутации, релейной защиты и автоматики. Следует в самое ближайшее время внедрить во всех энергосистемах простые проверенные устройства электроавтоматики, обратив особое внимание на весьма эффективные мероприятия, как автоматическое регулирование возбуждения синхронных машин, автоматы разгрузки по частоте, включение генераторов по методу самосинхронизации, реконструкция релейной защиты электроустановок потребителей и в первую очередь двигателей и т. д. Нужно переходить к простым схемам пуска асинхронных и синхронных двигателей, отказываясь от сложных и никому ненужных схем, усложняющих эксплуатацию.

Надежная работа наших систем в большой степени зависит от работников релейной защиты и автоматики. У нас есть все возможности, чтобы наша советская энергетика была самой лучшей в мире.

[30. 3. 1949]



# Влияние контактной сети электротяги однофазного тока на цепи связи и защитные мероприятия

Доктор техн. наук М. И. МИХАЙЛОВ

Центральный научно-исследовательский институт связи Министерства связи СССР

Энергия однофазного тока частотой в  $16\frac{2}{3}$  гц для питания электропоездов вырабатывается на станциях, откуда с помощью высоковольтных однофазных линий напряжением в 110 кВ передается к понизительным тяговым подстанциям, расположенным вдоль полотна железной дороги на расстоянии друг от друга в  $60 \div 70$  км (рис. 1). Однофазный переменный ток частотой в  $16\frac{2}{3}$  гц может быть также получен от преобразования трехфазного тока 50 гц на каждой тяговой подстанции с помощью мутаторов. Это приходится делать, если на тяговые подстанции подается энергия от общей высоковольтной сети промышленного тока.

На тяговых подстанциях напряжение 16 кВ от понизительных однофазных трансформаторов  $1600 \div 3200$  кВт подается между контактным проводом и рельсом.

Около контактной сети при подаче напряжения переменного тока между троллейным проводом и рельсами получается полностью несимметричное электрическое поле и в случае наличия на перегонах электропоездов частично несимметричное магнитное поле.

Согласно законам индукции во всех цепях линий связи, расположенных вдоль полотна же-

Автором исследованы вопросы, связанные с проблемой осуществления электрической проводной связи около электрифицированного полотна железных дорог однофазного переменного тока пониженной частоты. Результаты этой работы показали, что цепи связи окажутся под угрозой полного прекращения эксплуатации, если не принять своевременно соответствующих мероприятий. В статье излагается метод расчета, мешающего влияния электропоездов переменного тока, приводится количественная оценка влияния и сообщаются возможные методы защиты линии связи.

лезной дороги, будут индуцироваться напряжения и токи. Величина последних зависит от мощности электротяговых подстанций (линейных напряжений и токов в контактном проводе), от схемы питания контактной сети, от состояния и типа

рельсовых ниток, от проводимости земли и др.

**Определение опасного влияния контактной сети на цепи связи.** Опасность на проводах связи характеризуется максимальным напряжением провода по отношению к земле или индуктированной продольной э. д. с.

Известно [Л. 1], что напряжение и ток индукции в любой точке провода, подверженного влиянию, определяются уравнениями

$$\left. \begin{aligned} U_2 &= Ae^{-\gamma_1 x} + (U_{20} - A) \operatorname{ch} \gamma_2 x + Z_2 B \operatorname{sh} \gamma_2 x, \\ I_2 &= Be^{-\gamma_1 x} - B \operatorname{ch} \gamma_2 x - \frac{U_{20} - A}{Z_2} \operatorname{sh} \gamma_2 x, \end{aligned} \right\} (1)$$

где  $U_2$  и  $I_2$  — напряжение по отношению к земле и ток в проводе связи в точке, удаленной от начала цепи на  $x$  км;

$$\left. \begin{aligned} A &= \frac{\varepsilon \gamma_1 - JR}{\gamma_1^2 - \gamma_2^2}; & B &= \frac{\varepsilon Y - J_1}{\gamma_1^2 - \gamma_2^2}; \\ \varepsilon &= j\omega M_{12} I_{10}; & J &= j\omega C_{12} U_{10}; \\ \gamma_1 &= \sqrt{R_1 Y_1}; & \gamma_2 &= \sqrt{R_2 Y_2}; \\ R_1 &= R_1' + j\omega L_1; & Y_1 &= G_1 + j\omega C_1; \\ R_2 &= R_2' + j\omega L_2; & Y_2 &= G_2 + j\omega C_2; \end{aligned} \right\} (2)$$

$$Z_2 = \sqrt{\frac{R_2}{j\omega C_2}}$$

$U_{20}$  — напряжение в начале провода связи.

Эти уравнения дают возможность исследовать напряжение и ток вдоль линии для любого частного случая в зависимости от состояния провода (изолирован от земли, замкнут накоротко с землей или через любое сопротивление), подверженного влиянию, а также от характера влияния (электромагнитное или электростатическое, или то и другое вместе).

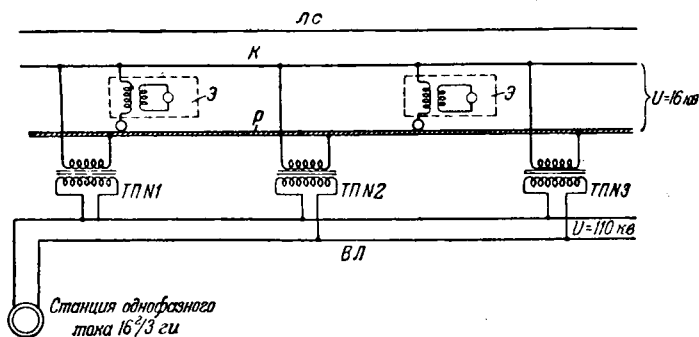


Рис. 1. Общая схема питания электротяговой установки. Р — рельсы; К — контактный провод; ТП — тяговые подстанции 110/16 кВ; ВЛ — однофазная линия 110 кВ; Э — электровозы; ЛС — линия связи.

Для определения степени опасности, которой подвергаются двухпроводные цепи связи, у которых провода изолированы от земли, имеем при  $x=l \dots I_2 l = 0$ ; из второго уравнения системы (1) получим:

$$U_{20} = BZ \frac{e^{-\gamma_1 l} - \text{ch } \gamma_2 l}{\text{sh } \gamma_2 l} + A. \quad (3)$$

Подставляя это значение в первое уравнение системы (1) и решая относительно конца линии ( $x=l$ ), получим:

$$U_{2l} = A e^{-\gamma_1 l} + BZ \frac{e^{-\gamma_1 l} \text{ch } \gamma_2 l - 1}{\text{sh } \gamma_2 l}. \quad (4)$$

Отсюда для  $\gamma_1 l \ll 1$  разность потенциалов на концах будет:

$$E \approx 2BZ \text{th } \gamma_2 \frac{l}{2}, \quad (5)$$

если в контактной сети при частоте  $16^{2/3}$  гц  $\gamma_2 l < 1$ . Подставляя в (5) значение  $B$  из (2), получим:

$$E \approx -j\omega M_{12} I_{10} l. \quad (6)$$

При учете компенсирующего действия токов в рельсах ( $\lambda$ ) э. д. с. определяется:

$$E \approx -j\omega \lambda M_{12} I_{10}. \quad (7)$$

Тяговые подстанции могут включаться либо в отдельные участки контактной сети, либо в общий провод контактной сети.

В первом случае схема носит название схемы с раздельным питанием, а во втором — с параллельным питанием.

Каждая из этих схем с точки зрения влияния на цепи связи имеет свои особенности.

При раздельном питании в зависимости от количества электропоездов и мест их расположения на перегонах влияющий ток и длина сближения будут различными. Влияние контактной сети на цепи связи будет наибольшим в том случае, когда на перегонах электропоезда двигаются все в одну сторону и питаются от подстанций, от которых они двигаются; тогда на длине усилительного участка в проводах связи, расположенных, параллельно контактной сети, э. д. с. определится:

$$E = j\omega M_{12} \lambda \sum_1^u I_i l_i. \quad (8)$$

При  $I_1 = I_2 \dots I_n = I$ ; если обозначить длину усилительного участка через  $l_0$ , то

$$E_{\text{макс}} = -j\omega M_{12} \lambda I \frac{l_0}{2}. \quad (9)$$

Минимальное значение э. д. с. будет, очевидно, в случае, когда электропоезда находятся по обе стороны тяговых подстанций и когда часть электрических моментов ( $Il$ ) будут иметь положительный знак и часть — отрицательный:

$$E_{\text{мин}} = -j\omega M_{12} \lambda \left( \sum_1^{n_1} I_i \cdot l_i - \sum_1^{n_2} I_k \cdot l_k \right). \quad (10)$$

Международный консультативный комитет по телефонии (МККФ) рекомендует [Л. 2] определять э. д. с. по приводимой ниже формуле (11) при следующих условиях:

а) за влияющую длину всего участка сближения принимается условно длина только одного плеча питания (консоль);

б) за влияющий ток принимается величина тока потребления двумя электровозами при однопутных железных дорогах и тремя электровозами при двухпутных:

$$E \approx -j\omega \lambda I_0 \sum_1^m M_i l_i, \quad (11)$$

где

$m$  — количество косых участков сближения;

$l_i$  — длина  $i$ -того участка сближения;

$I_0 = \frac{U_A}{z_k l_k + \frac{z_g}{2}}$  — для однопутных электрических железных дорог;

$I_0 = \frac{U_A}{z_k l_k + \frac{z_g}{3}}$  — для двухпутных электрических железных дорог;

$U_A$  — рабочее напряжение на шинах тяговых подстанций;

$z_k$  — полное сопротивление контактного провода  $\text{ом/км}$  при  $f = 16^{2/3}$  гц;

$l_k$  — длина плеча питания;

$z_g$  — полное сопротивление электровоза при  $16^{2/3}$  гц.

Продольная э. д. с. на жилах кабельной линии подсчитывается по этим же формулам с введением, однако, в них коэффициента защитного действия оболочки кабеля в виде множителя ( $r$ ).

Такой чисто эмпирический метод подсчета э. д. с. при нормальной эксплуатации электротяги может быть допущен при большом количестве подстанций; при малом же количестве подстанций подсчеты могут значительно отличаться от имеющих в действительности величин. При сближении с воздушной линией связи количество тяговых подстанций на длине усилительного участка максимум будет 3 или 4; при сближении с кабельной линией связи на длине усилительного участка количество тяговых подстанций будет от 1 до 3.

При параллельном питании контактной сети в случае параллельного сближения ее с линиями связи э. д. с. определится по формуле

$$E \approx -j\omega \lambda M_{12} \frac{1}{z_k} \sum_1^{N-1} U_{ypk}, \quad (12)$$

где  $U_{ypk}$  — уравнивающее напряжение или разность потенциалов между двумя соседними подстанциями  $k$ -го участка;

$z_k$  — полное сопротивление контактного провода на длине 1 км.

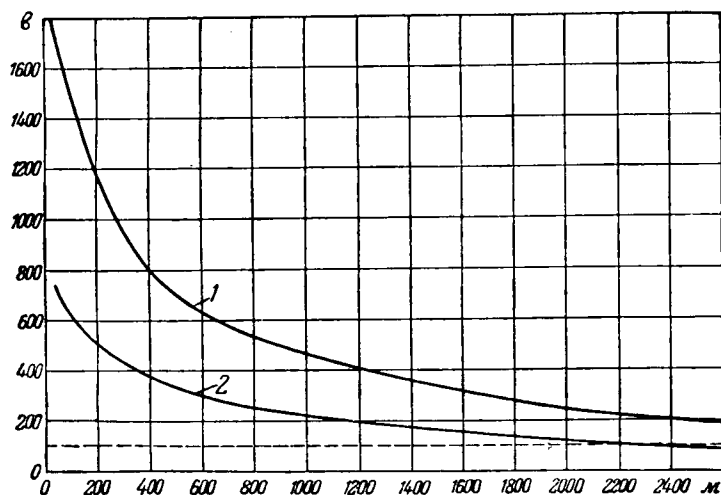


Рис. 2. Кривые изменения продольной э. д. с. на проводах связи на длине усилительного участка воздушной линии в зависимости от расстояния от полотна железной дороги.

1—при раздельном питании; 2—при параллельном питании.

Условия работы тяговых подстанций однофазного тока таковы, что уравнильные напряжения на перегонах между тяговыми подстанциями всегда будут отличаться друг от друга по величине и фазе.

Согласно опыту эксплуатации электрифицированных дорог напряжения на подстанциях могут отличаться друг от друга на 6—13%. Например, по измерениям между двумя подстанциями на электрифицированных железных дорогах Германии с напряжениями, отличающимися друг от друга в 2,1 кВ, был замерен уравнильный ток, в среднем равный 125 А. В нормальных условиях эксплуатации на этом участке напряжения на подстанциях отличались примерно на 1 кВ при абсолютном значении напряжения в 16 кВ (6,2%).

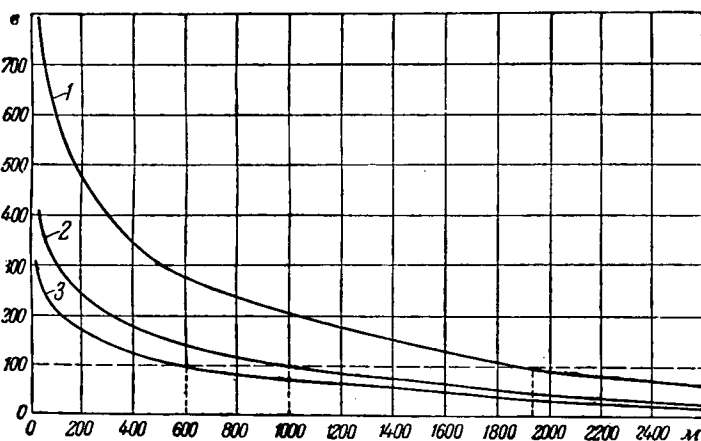


Рис. 3. Кривые изменения продольной э. д. с. на жилах кабелей связи на длине усилительного участка раздельном и параллельном питании контактной сети.

Кривые: 1—при раздельном питании—на жилах пупинизированного кабеля на длине усилительного участка 120 км; 2—при параллельном питании—на жилах кабеля (пупинизированного) при длине усилительного участка до 120 км, а при раздельном питании—на жилах непупинизированного кабеля на длине усилительного участка ( $l = 40$  км); 3—при параллельном питании на жилах непупинизированного кабеля на длине усилительного участка  $l = 40$  км.

Если согласно опытным данным принять уравнильное напряжение равным 10% от рабочего напряжения, формула (12) переписывается в следующем виде:

$$E \approx j\omega \lambda M_{12} \frac{1}{z_k} \sum_{i=1}^{N-1} 0,1 U_A. \quad (13)$$

В случае сложной трассы сближения или различной удельной проводимости земли вдоль участка сближения формула (13) переписывается:

$$E = j\omega 0,1 U_A \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=1}^n M_{12} \lambda_i \frac{1}{z_i}, \quad (14)$$

где  $n$  — количество участков сближения, отличающихся между собой в отношении  $\sigma, \alpha, \lambda$ .

МККФ рекомендует метод определения при параллельном питании контактной сети такой же, что и для раздельного питания, т. е. с учетом только одного плеча, однако с той разницей, что за влияющую длину принимают длину сближения, равную половине расстояния между подстанциями, и половинный ток нагрузки, т. е. при однопутной железной дороге ток одного электроваза и при двухпутном участке — 1,5 ток электроваза. Такой прием в наших условиях во многих случаях может оказаться неприемлемым.

На рис. 2—3 приведены значения э. д. с., подсчитанные по рекомендуемым нами формулам, в зависимости от расстояния между полотном железной дороги однофазного тока частотой  $16 \frac{2}{3}$  Гц и воздушной и кабельной линиями связи при раздельном и параллельном питании в районах с удельным сопротивлением земли в  $\rho = 50\,000$  Ом·см.

Из этих данных следует, что:

1) э. д. с. на проводах связи при нормальной эксплуатации электротяги будут больше при раздельном питании участков контактной сети, чем при параллельном;

2) значения продольных э. д. с. могут достигать опасных величин (свыше 100 В) на воздушных линиях связи, если последние будут расположены вдоль полотна железной дороги на расстояниях ближе 2000 м при параллельном питании и ближе 3000 м — при раздельном питании в случае удельного сопротивления земли в 50 000 Ом·см;

3) значения э. д. с. достигают опасных величин на кабельных линиях связи, если последние будут расположены вдоль полотна железной дороги ближе 500 ÷ 2000 м в зависимости от длины усилительного участка (40 или 120 км) и от способа питания контактной сети в случае удельного сопротивления земли в 50 000 Ом·см;

4) напряжения электростатической индукции достигают опасных величин на про-

водах воздушных линий, если последние будут находиться в зоне до 50 м;

5) индуктированные токи в однопроводных телеграфных цепях достигают опасных величин при расположении линии в зоне до 3000 м.

Таким образом, в районах с  $\rho = 50\,000$  ом·см телефонные цепи воздушных линий при расположении их вдоль железной дороги переменного однофазного тока в зоне до 1000—3000 м не могут быть допустимы к эксплуатации без применения специальных мер защиты.

Телеграфные однопроводные цепи требуют защитных мероприятий при расположении их в зоне до 3000 м от полотна железной дороги однофазного тока. В районах с удельным сопротивлением земли меньше, чем 50 000 ом·см, критические расстояния будут меньше указанных в пп. 2, 3, 4 и 5, и, наоборот, при  $\rho > 50\,000$  ом·см критические расстояния возрастут.

Кабельные линии требуют специальных мер защиты в зоне 300 ÷ 500 м (кабели со специальной оболочкой) и в зоне 500 ÷ 1000 м (обычные междугородные кабели).

При применении для электрификации железных дорог однофазного переменного тока нормальной промышленной частоты (50 гц) влияние контактной сети на линии связи количественно практически не будет отличаться от влияния контактной сети с током пониженной частоты. Это объясняется тем, что влияющий фактор  $\left(\frac{\omega M U_A}{z_k}\right)$  будет приблизительно одинаковым при  $f=50$  и  $f=16\frac{2}{3}$  гц.

**Определение мешающего влияния.** Помехи в телефонных цепях создаются высшими составляющими напряжениями тока электротяги и определяются только при нормальной эксплуатации последней.

При вычислении помех в телефонных цепях за влияющие напряжения и ток электротяги принимаются значения эквивалентных мешающих напряжений и токов.

Согласно данным измерений, проведенных на контактных сетях однофазного тока, питаемых от генератора, величины эквивалентных мешающих напряжений колеблются от 0,1 до 0,4% от рабочего линейного напряжения.

В случае применения мутаторов для преобразования тока 50 гц в ток  $16\frac{2}{3}$  гц эквивалентное мешающее напряжение в контактной сети приобретает значения от 1 до 6%. За расчетные величины принимают средние значения: в первом случае  $U_g = 0,25\%$  от  $U_A$  и во втором случае  $U_g = 3,5\%$  от  $U_A$ .

В общем случае двухпроводная телефонная цепь не является симметричной. Первичные параметры прямого и обратного проводов всегда отличаются в той или иной степени друг от друга, в особенности это относится к цепям воздушной линии [Л. 1].

В такой двухпроводной цепи, подверженной влиянию, возникнут напряжения помех, обусловленные, с одной стороны, асимметрией располо-

жения проводов этой цепи по отношению к влияющему проводу и, с другой стороны, асимметрией проводов по отношению к земле.

Напряжение на ближнем конце телефонной цепи определится [Л. 1] по формуле

$$U_{220} = -j \frac{1}{2} \omega I_{10} \frac{z_1 z_{22}}{\gamma_1 + \gamma_{22}} \left( C_{1-22} + \frac{M_{1-22} \lambda_1}{z_1 z_{22}} \right) \times \\ \times \left( 1 - e^{-(\gamma_1 + \gamma_{22})l} \right) + \\ + j \frac{1}{2} \omega I_{10} \frac{z_1 z_2}{\gamma_1 + \gamma_2} \left( C_{1-2} + \frac{M_{1-2} \lambda_2}{z_1 z_2} \right) \left( 1 - e^{-(\gamma_1 + \gamma_2)l} \right) \eta, \quad (17)$$

где  $z_1, z_{22}, z_2$  — волновые сопротивления контактной сети при  $f=800$  гц, двухпроводной симметричной телефонной цепи при  $f=800$  гц, телефонной цепи („два провода—земля“) при  $f=800$  гц;

$\gamma_1, \gamma_{22}, \gamma_2$  — коэффициент распространения волны контактной цепи, двухпроводной телефонной цепи, „два провода—земля“;

$C_{1-22}$  — емкость между однопроводной и двухпроводной цепями (контактным проводом и телефонной двухпроводной цепью);

$M_{1-22}$  — коэффициент взаимной индукции между контактным проводом и двухпроводной телефонной цепью;

$C_{1-2}$  — емкость между контактным проводом и цепью „два провода—земля“;

$M_{1-2}$  — коэффициент взаимной индукции между контактным проводом и цепью „два провода—земля“;

$\lambda_1$  — коэффициент экранирования рельсов при влиянии на двухпроводную цепь;

$\lambda_2$  — то же при влиянии на однопроводную цепь;

$I_{10}$  — влияющий ток, равный эквивалентному значению тока в контактном проводе при  $f=800$  гц ( $\omega \approx 5\,000$  сек<sup>-1</sup>);

$\eta$  — коэффициент полной асимметрии телефонной цепи или коэффициент чувствительности цепи к помехам.

Все входящие в эту формулу величины достаточно точно подсчитываются по известным формулам. Исключением является только величина  $\eta$ , для подсчета которой требуется знание величины асимметрии проводов по активному и индуктивному сопротивлениям, а также по активной и емкостной проводимостям проводов по отношению к земле.

Согласно измерениям ЦНИИС величины  $\eta$  колеблются в широких пределах; для медных скрещенных цепей получены значения  $0,002 \div 0,009$ ; для стальных скрещенных цепей

0,005 ÷ 0,015; для кабельных отсимметрированных пар:  $\eta$  внутреннего повива 0,0002 ÷ 0,0006;  $\eta$  среднего повива 0,0006 ÷ 0,001;  $\eta$  верхнего повива 0,001 ÷ 0,002.

При подсчетах влияния контактной сети можно пользоваться средними значениями приведенных выше величин.

**Мероприятия по снижению э. д. с. электромагнитной индукции и потенциалов электростатической индукции.** Для снижения опасных индуктированных напряжений существуют следующие методы:

1) снижение коэффициента экранирования рельсов путем увеличения проводимости рельсовых ниток;

2) снижение коэффициента экранирования оболочки кабеля (если речь идет о влиянии на кабельные линии связи) путем улучшения магнитных свойств брони и увеличения проводимости оболочки;

3) относ линии связи от полотна электрических железных дорог на достаточные расстояния (точки пересечения кривых с пунктирными прямыми на рис. 2 и 3);

4) применение отсасывающих трансформаторов с подвеской провода обратного тока и провода обратного напряжения.

Первые два мероприятия не разрешают целиком проблему снижения индукции до допустимых пределов; они лишь облегчают до некоторой степени положение с «опасностью», но не устраняют эту опасность на линии связи.

Путем отнеса линии на соответствующее расстояние можно полностью разрешить поставленную задачу, однако не везде и не все линии связи можно относить на расстояния 1 000 ÷ 3 000 м. Если относ линии за указанную опасную зону влияния принципиально возможен для линий Министерства связи, то для линий связи Министерства путей сообщения, обслуживающих движение поездов, относ возможен только в пределах 50 или 100 м. Поэтому относ линий не является реальным мероприятием для линий Министерства путей сообщения, а также очень часто (в гористых, лесных и болотистых местах) и для линий связи Министерства связи.

В настоящее время линии связи вблизи электрических железных дорог однофазного тока допустимы:

а) кабельные — с применением особых мер, исключающих попадание опасных напряжений на аппаратуру и защищающие персонал от электрических ударов;

б) воздушные — с применением на контактной сети, отсасывающих трансформаторов, обеспечивающих снижение наведенных э. д. с. до опасных величин.

**А. Дополнительные мероприятия при кабельной связи.** Основные дополнительные мероприятия по защите от опасных напряжений, которые следует принимать при cableировании линий связи, заключаются в следующем:

1. Кабель должен иметь броню из ленточного железа с повышенной магнитной проницаемостью. Количество лент брони толщиной в 0,5 мм должно быть не менее 3.

2. Броня и свинец по всей длине кабеля в муфтах должны быть спаяны между собой.

3. Для снижения напряжения по отношению к земле на оболочке кабеля последняя должна быть заземлена во всех местах, где кабель вводится в здание, и, кроме того, вдоль линии через каждые 10 км.

4. Во избежание попадания опасного потенциала на станцию кабельная оболочка и броня при вводе кабеля в здание станции разрезаются так, чтобы оболочка кабеля, проложенная в помещении до места включения аппаратуры, не имела металлического соединения с оболочкой внешнего кабеля, подверженного влиянию. Место разреза оболочки и брони (в изолирующей муфте) заливается изолирующей массой.

5. Кабельные жилы кабеля, а также переходные трансформаторы и пупиновские катушки должны иметь повышенную крепость изоляции. Испытательное напряжение на пробой изоляции должно быть не менее 2 000 ÷ 3 000 в.

6. Аппаратура станции и обслуживающий персонал защищаются от опасных напряжений переходным трансформатором.

7. В сооружениях связи, которые находятся в зоне станции, но которые не отделяются переходным трансформатором от кабеля, подверженного влиянию, должны быть в местах, доступных для касания, предусмотрены меры по изоляции этих оголенных мест во избежание получения электрического удара при случайных касаниях.

8. Рабочие места телефонной и телеграфной станции должны быть снабжены изолирующими ковриками.

9. С целью снижения помех кабельные пары тщательно симметрируются по отношению к оболочке кабеля.

10. Телеграфирование и цепи часофикации допустимы только по двухпроводным цепям по симметричным схемам.

**Б. Мероприятия по снижению э. д. с. до допустимых величин при осуществлении связи на цепях воздушной линии.** Снижение влияния контактной сети достигается путем применения отсасывающих трансформаторов, равномерно распределенных вдоль контактного провода [Л. 3].

Отсасывающие трансформаторы представляют собой обычные силовые трансформаторы с коэффициентом трансформации, близким к единице.

Эти трансформаторы сдвигают обратный ток электротяги на угол, близкий к 180° по отношению к току в контактном проводе, и большая часть этого тока направляется либо по рельсам (рис. 4), либо по особому обратному проводу (рис. 5). Остальная малая часть возвращается по земле, и чем меньше величина этого тока, тем больше защитное действие отсасывающих трансформаторов.

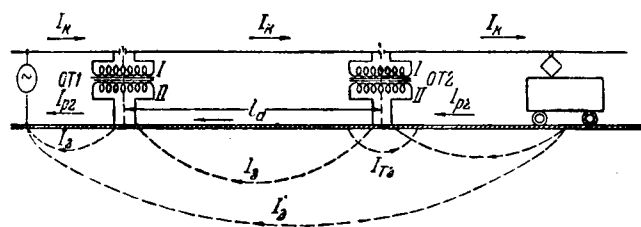


Рис. 4. Схема включения отсасывающих трансформаторов (ОТ 1 и ОТ 2) без обратного провода.

$I_3$  — ток в земле;  $I_P$  — токи в рельсах;  $I_K$  — ток в контактном проводе.

Значительное уменьшение тока в земле достигается большим количеством включенных отсасывающих трансформаторов на перегоне. Чем меньше расстояние между отсасывающими трансформаторами, тем больше их защитное действие.

Благодаря отсасывающим трансформаторам с применением провода обратного тока влияющий шлейф тока электро тяги становится столь узким, что магнитная связь с проводами связи практически сводится к очень малой величине.

Для примера защитного действия отсасывающих трансформаторов приведем данные железной дороги [Л. 3] длиной 434 км, где были установлены отсасывающие трансформаторы без обратного провода через каждые 1,4 км. На проводах связи воздушной линии, расположенной на 50 м от полотна железной дороги, индуктированная э. д. с. снижалась в 40 раз.

На участке железной дороги длиной в 150 км применены отсасывающие трансформаторы и обратный провод. Отсасывающие трансформаторы включались через каждые 3 км.

На проводах связи индуктированная э. д. с. снижалась в 47,5 раза по сравнению с величиной, которая бы получилась без применения отсасывающих трансформаторов.

**Заключение.** Приведенный материал свидетельствует о том, что проблема электрической

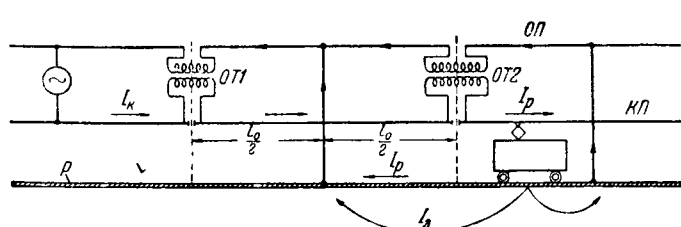


Рис. 5. Схема включения отсасывающих трансформаторов (ОТ 1 и ОТ 2) с обратным проводом (ОП).

КП — контактный провод; Р — рельсы;  $I_P$  — ток в рельсах;  $I_K$  — ток в контактном проводе.

проводной связи около электрических железных дорог однофазного тока пониженной частоты является более сложной, чем при электрификации постоянным током.

Существующие два основных метода защиты вполне конкурентоспособны. С технической точки зрения каблирование является наиболее рациональным защитным мероприятием при осуществлении связи вблизи железной дороги однофазного тока; тем не менее, в условиях Советского Союза при огромном плане каблирования основных магистральных междугородных линий связи вряд ли практически возможно перейти с воздушной линии на кабельную на второстепенных с точки зрения связи магистралях, вдоль которых в первую очередь предполагается электро тяга переменного однофазного тока. В этих случаях придется принять защиту цепей связи воздушных линий с помощью отсасывающих трансформаторов.

#### Литература

1. М. И. Михайлов. Влияние линий несимметричных систем на цепи связи. Сборник научных трудов ЦНИИС, 1947. Связьтехиздат, 1947.
2. Международные правила по защите линий связи. МККФ, 1938.
3. М. И. Михайлов. Защита линий связи. Связьтехиздат, 1939.

[11. 1. 1949]



# Исследование системы регулирования и управления двигателя реверсивного прокатного стана с электромашинными регуляторами

Кандидат техн. наук М. В. МЕЕРОВ

Институт автоматики и телемеханики АН СССР

Широкое распространение в промышленной практике получили схемы с электромашинными усилителями. Значительный интерес представляет применение этих усилителей в схемах автоматического регулирования и управления электрическими двигателями прокатных станов и вспомогательных механизмов.

Умение выбрать правильную структуру схемы регулирования и установить основные параметры предопределяет во многих случаях успех применения того или иного вида электромашинной автоматики. В настоящей работе приводятся теоретические и экспериментальные исследования системы автоматического регулирования и управления главного двигателя реверсивного прокатного стана при помощи электромашинного усилителя.

Изучаемая здесь система была подробно рассмотрена [Л. 1] и мы не будем описывать ее работу. Построим изложение следующим образом. Будем считать, что сформулированы технические требования, которые предъявляются к системе. Кроме того, будем считать заданными: 1) агрегат Леонарда-Ильгнера; 2) возбудительный агрегат для возбуждения генератора Леонарда и главного двигателя; 3) электромашинные усилители. На основании технических требований и заданных аппаратов и машин построим систему, которая бы наиболее просто удовлетворяла этим требованиям.

Исследование системы проведено только до основной скорости. Идеализация, которая принята, заключается в том, что полную систему расчленим на две самостоятельные, независимые системы: первая — система до основной скорости, вторая — система выше основной скорости. Что касается первой, то сделанное допущение вполне соответствует реальным условиям работы, ибо при разгоне и работе на скоростях до основной скорости система управления полем главного

*Излагаются результаты теоретических и экспериментальных исследований системы регулирования и управления двигателя реверсивного прокатного стана с электромашинными регуляторами. Показано, как, исходя из технических требований, выбрать структурную схему системы регулирования. Приведены соотношения, дающие возможность определить основные параметры системы. Экспериментально подтверждены все основные теоретические выводы и проведенные расчеты.*

двигателя остается в равновесном состоянии (поток постоянный) и практически не зависит от переходных режимов системы управления полем главного генератора Леонарда. Во втором случае допущение требует опре-

деленных поправок, так как с изменением потока возбуждения главного двигателя меняется ток в цепи якорей системы Леонарда, что вызывает переходный режим в системе до основной скорости. Указанное обстоятельство мы имеем в виду, допуская автономность двух систем.

В дальнейшем будем считать, что характеристики отдельных элементов линейны и процессы в них описываются линейными дифференциальными уравнениями с постоянными коэффициентами, если нелинейность элемента не будет специально оговорена.

**Основные технические требования:** 1. Система должна допускать шесть уставочных скоростей. Четыре скорости должны осуществляться заданием соответствующего напряжения на якорь главного двигателя при постоянстве потока возбуждения. Этим четырем скоростям должна соответствовать система регулирования, которую мы называем системой до основной скорости. Оставшиеся две скорости осуществляются заданием потока в шунте главного двигателя. Эту часть системы называем системой регулирования выше основной скорости.

2. Ускорение двигателя должно быть одним и тем же, независимо от того, на какую ступень поставлен управляющий командоаппарат.

3. Минимальное время переходного режима должно быть по крайней мере меньше, чем в соответствующей релейно-контакторной схеме в аналогичных условиях.

4. Получение высокого коэффициента заполнения токовой диаграммы, по крайней мере превышающего 0,75.



5. Процесс изменения скорости должен быть аperiодичным (без перерегулирования).

1. Структурная схема элементов системы и определение необходимого коэффициента усиления. Одинаковое ускорение двигателя независимо от того, на какую ступень поставлен командоаппарат, будет обеспечено, если система останется разомкнутой большую часть времени переходного режима. В разомкнутом состоянии системы ускорение будет зависеть от величины ее статического коэффициента усиления. Это обстоятельство обуславливает выбор структурной схемы системы регулирования и необходимую величину коэффициента усиления.

На рис. 1 представлена простейшая схема, дающая возможность обеспечить второй пункт технических требований.

При постановке командоаппарата на какое-либо положение, включается направляющая обмотка электромашинного усилителя — обмотка 1, ампервитки которой значительно превышают необходимые ампервитки для обеспечения скорости двигателя, соответствующей заданному положению командоаппарата. Одновременно с включением направляющей обмотки вводится часть сопротивления между точками *ab* потенциометра 2, которое обтекается током от независимого источника. Благодаря вентильному действию выпрямителей (*кв1*, *кв2*) обмотка 2 не обтекается током и вся система работает так, как будто усилитель возбуждается только обмоткой 1.

От якоря усилителя питается возбуждение возбудителя *B*, якорь которого питает цепь возбуждения главного генератора *Г* системы Леонарда.

Таким образом, независимо от того, какое сопротивление введено между точками *ab* потенциометра 2, скорость нарастания напряжения главного генератора и, следовательно, ускорение двигателя будут определяться, в конечном счете, ампервитками обмотки 1, которые остаются постоянными независимо от положения командоаппарата. Следовательно, и ускорение двигателя будет одним и тем же, независимо от положения командоаппарата.

Когда в результате роста напряжения главного генератора напряжение на участке *cd* потенциометра 1 станет больше напряжения на участке *ab* потенциометра 2 — по обмотке 2 потечет ток. Ампервитки этой обмотки действуют навстречу ампервиткам обмотки 1. В результате действия обеих обмоток устанавливаются некоторые результирующие ампервитки, которые и определяют величину установившейся скорости на данном положении. С момента времени, когда сравниваются напряжения на обоих потенциометрах, система замыкается и мы получаем замкнутую систему регулирования, которая поддерживает предписанные обороты с заданной степенью точности постоянными.

Найдем необходимую величину коэффициента усиления всей системы для обеспечения допустимого по нагрузке ускорения двигателя. Для этого мы предположим, что ток в якоре двига-

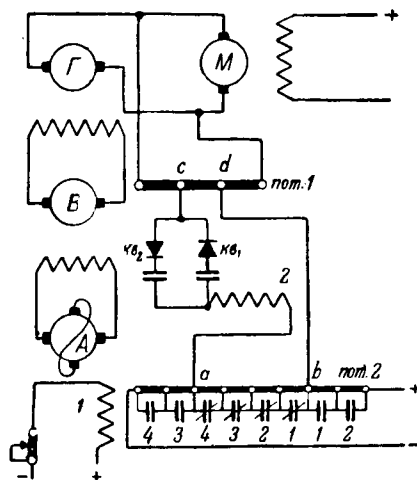


Рис. 1.

теля вырастает мгновенно до предельно допустимого значения и остается постоянным пока система остается разомкнутой. Этому соответствует предположение, что как напряжение главного генератора Леонарда, так и скорость главного (прокатного) двигателя меняются по линейному закону. Действительно, уравнение механического равновесия двигателя запишется (считаем, что имеется только динамическая нагрузка):

$$\frac{GD^2}{375} \frac{dn}{dt} = C_1 \Phi I. \quad (1,1)$$

Так как максимально допустимая величина тока известна, то можно определить ускорение двигателя  $\frac{dn}{dt}$ , которое естественно получается постоянным:

$$\frac{dn}{dt} = \frac{C_1 \Phi I}{GD^2} 375 = C \quad (1,2)$$

и скорость

$$n = Ct. \quad (1,3)$$

Далее можно написать:

$$IR_x = U_z - C_2 \Phi n = U_z - CC_2 \Phi t, \quad (1,4)$$

где  $U_z$  — напряжение генератора Леонарда;

$R_x$  — сопротивление якоря, дополнительных полюсов и компенсационной обмотки двигателя.

Для того, чтобы ток оставался постоянным, напряжение генератора также должно меняться во времени по линейному закону. Кроме того, так как предельное значение тока нам задано, то из (1,2) мы можем определить величину максимального ускорения, а из (1,4) предельную величину скорости нарастания напряжения.

Напряжение  $U_z$  генератора является функцией его тока возбуждения и будет меняться по линейному закону, если ток возбуждения  $I_m$  также меняется по линейному закону. Последний, однако, будет меняться при  $U_g = \text{const}$ , по закону

$$I_m = \frac{U_g}{R_m} \left( 1 - e^{-\frac{t}{T}} \right),$$

где  $T = \frac{L_m}{R_m}$  — постоянная времени цепи возбуждения генератора.

Нетрудно видеть, что  $I_m$  будет меняться по закону, близкому к линейному, только для малых значений,  $\frac{t}{T}$ , т. е. при малых  $t$ .

Для того, чтобы за это малое время достаточно вырос ток  $I_m$ , необходимо, чтобы  $\frac{U_g}{R_m}$  было достаточно большим с тем, чтобы на рабочей части (до замыкания системы регулирования)  $I_m$  менялось по линейному закону. Таким образом  $U_g$  (которое, в свою очередь, также является функцией  $I_g$  — тока возбуждения возбудителя, а последний в конечном счете является функцией ампервитков возбуждения усилителя и коэффициентов усиления по напряжению усилителя и возбудителя) должно практически мгновенно при приложении напряжения к цепи возбуждения усилителя вырасти до достаточно большой величины. Это означает, что произведение из коэффициентов усиления усилителя и возбудителя должно быть практически весьма большим числом. Следовательно, структурная схема системы регулирования должна допускать любые, в том числе и сколь угодно большие коэффициенты усиления. Таким образом, мы приходим к весьма важному заключению, что система в таком виде, как она представлена на рис. 1, без введения дополнительных стабилизирующих средств непригодна. Действительно, для системы (рис. 1) в замкнутом состоянии характерно то обстоятельство, что для устойчивости ее коэффициент усиления  $k$  должен удовлетворять условию

$$k < k_0 = f(T_1 \dots T_N), \quad (1,6)$$

где  $k_0$  — критический коэффициент усиления;  $T_1$  — постоянные времени.

Принципиально система должна оставаться устойчивой при любом коэффициенте усиления, в частности и при сколь угодно большом, и условие (1,6) при  $i > 2$  невыполнимо, ибо для  $i > 2k_0$  — величина конечная.

**2. Полная структурная схема. Система до основной скорости.** Прежде чем вводить стабилизирующие звенья, выясним, из каких элементарных звеньев состоит уже полученная в предыдущем параграфе одноконтурная система.

Считая усилитель полностью скомпенсированным, его можно представить двумя последовательно включенными инерционными звеньями с постоянными времени  $T_1$  — цепи управляющей обмотки (обмотка 2) и  $T_2$  — короткозамкнутой цепи, и коэффициентами усиления  $k_1$  и  $k_2$ . Возбудитель представляется инерционным звеном с постоянной времени  $T_3$  — цепи возбуждения возбудителя и коэффициентом усиления  $k_3$ . Генератор представляется инерционным звеном с постоянной времени  $T_4$  — цепи возбуждения генератора и коэффициентом усиления  $k_4$ . Цепь яко-

рей генератора и двигателя и подвижные части самого двигателя и приведенные к его валу подвижные части стана образуют звено второго порядка

$$(ap^2 + bp + 1)x_1 = Kx_0, \quad (2,1)$$

где  $a = T_5 T_6$ ;  $b = T_5$ ;  $T_5$  — электромеханическая постоянная времени двигателя;  $T_6$  — постоянная времени цепи якорей генератора и двигателя.

Постоянные времени цепи управляющей обмотки и цепи якорей главных машин весьма малые величины и мы их отбросим. Ниже мы дадим количественную оценку допускаемой при этом ошибки. Коэффициент усиления второго звена (с постоянной времени  $T_2$ ) будем считать равным коэффициенту усиления усилителя по напряжению. Таким образом, система без стабилизирующих средств может быть представлена последовательной цепочкой из четырех инерционных звеньев.

Для получения системы, устойчивой при сколь угодно большом коэффициенте усиления, введем стабилизирующую обратную связь с операторным уравнением

$$\frac{U_{вых}}{U_{вх}} = \frac{T_6 p}{1 + T_6 p}, \quad (2,2)$$

включенную параллельно инерционным звеньям с постоянными  $T_2$  и  $T_3$  (рис. 2). При некоторых условиях этому уравнению соответствует трансформаторная обратная связь.

Покажем прежде всего, что система рис. 2 будет оставаться устойчивой при сколь угодно большом коэффициенте усиления.

Характеристическое уравнение, соответствующее системе рис. 2, запишется так:

$$m \prod_{i=2}^5 (1 + T_i p) (1 + T_6 p) + T_6 p (1 + T_4 p) (1 + T_5 p) + k_4 k_5 (1 + T_6 p) = 0, \quad (2,3)$$

где  $m = \frac{1}{k_2 k_3}$ .

Допустим, что  $m \rightarrow 0$ , тогда 3 корня уравнения (2,3) будут стремиться к трем корням уравнения, которое мы в дальнейшем будем называть вырожденным уравнением системы:

$$T_6 p (1 + T_4 p) (1 + T_5 p) + k_4 k_5 (1 + T_6 p) = 0, \quad (2,4)$$

$$\frac{B_1}{B_0} - \frac{A_1}{A_0} > 0. \quad (2,5)$$

Нетрудно видеть, что для системы рис. 2 условие (2,5) всегда выполняется. Действительно,  $B_0 = T_2 T_3 T_4 T_5 T_6$ ,

$$B_1 = T_2 T_3 T_4 T_5 + T_2 T_3 T_5 T_6 + T_2 T_3 T_4 T_6 + T_2 T_4 T_5 T_6 + T_3 T_4 T_5 T_6,$$

$$A_0 = T_4 T_5 T_6,$$

$$A_1 = T_4 T_6 + T_5 T_6,$$

тогда

$$\frac{B_1}{B_0} - \frac{A_1}{A_0} = \frac{1}{T_2} + \frac{1}{T_3} + \frac{1}{T_6} > 0. \quad (2,6)$$

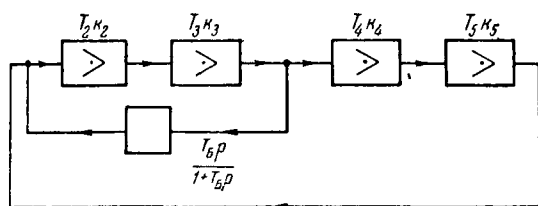


Рис. 2.

Нетрудно видеть, что если постоянная времени  $T_6$  стабилизирующего звена будет выбрана из условия

$$T_6 \geq \frac{T_4 T_5}{T_4 + T_5}, \quad (2,7)$$

то вырожденное уравнение будет при любых  $T_4, T_5, k_4$  и  $k_5$  удовлетворять условиям устойчивости. Таким образом, при выполнении условия (2,7) и достаточно больших  $k_2, k_3$  система рис. 2 будет устойчивой при любых коэффициентах уравнения.

Полученная система может удовлетворять первому, второму, третьему и четвертому техническим требованиям при надлежащем выборе параметров. Осталось рассмотреть пятый пункт технических условий, требующий аperiodичности процесса.

Нетрудно видеть, что процесс регулирования после того, как система замкнулась, будет не аperiodическим, а колебательно затухающим. В справедливости этого заключения можно убедиться из простых физических соображений. Действительно, напряжение на потенциометре 2 устанавливается мгновенно, в то время как напряжение на потенциометре 1 является функцией времени. Момент времени  $t$ , при котором напряжение на сопротивлении  $cd$  становится равным напряжению на сопротивлении  $ab$ , зависит только от скорости нарастания напряжения генератора (скорости двигателя). В момент сравнения указанных двух напряжений система будет иметь определенный запас электрохимической энергии, который будет зависеть от того, на какую ступень поставлен командоаппарат.

Когда напряжение на  $cd$  станет больше напряжения на  $ab$ , обмотка 2 получит питание и будет форсированно действовать в сторону понижения напряжения усилителя. Интенсивность действия управляющей обмотки зависит от скорости нарастания напряжения главного генератора и от сопротивления в цепи обмотки 2. Как первое, так и второе практически не зависят от положения, на которое поставлен командоаппарат. Поэтому если бы нам удалось подобрать параметров для какого-либо одного положения добиться аperiodичности (что мало вероятно из-за больших форсировок), то уже для следующего положения процесс получился бы колебательно затухающим. Очевидно, что в таком виде система не может удовлетворять всем техническим требованиям. Для того чтобы получить аperiodичность процесса, сохраняя ранее полученные свойства системы, необходимо момент времени  $t$ ,

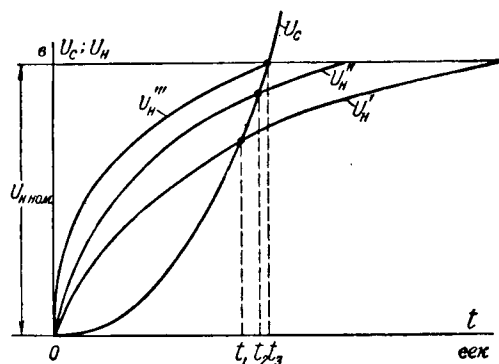


Рис. 3.

когда сравниваются напряжения потенциометров, сделать функцией времени и положения командоаппарата. Для этой цели, вместо потенциометра 2, вводится вспомогательный генератор  $УН$ . В цепь обмотки возбуждения этого генератора включается уставочное сопротивление, которое шунтируется при помощи реле, управляемых командоаппаратом. При постановке командоаппарата на какое-либо положение, генератор  $УН$  возбуждается, его напряжение нарастает по экспоненте с постоянной времени цепи возбуждения  $УН$ .

В указанных условиях момент, когда напряжение на потенциометре  $U_c$  сравнивается с напряжением вспомогательного генератора  $U_n$ , зависит как от скорости нарастания напряжения главного генератора в разомкнутом состоянии системы, так и от скорости нарастания напряжения  $U_n$ .

Для того, чтобы предотвратить перерегулирование, необходимо чтобы момент сравнения  $U_c$  и  $U_n$  наступал до того, как напряжение  $U_n$  достигнет установившегося состояния. Этим будет создаваться определенное предвращение, которое и обеспечит аperiodичность процесса. Сказанное легко уяснить на рис. 3. Отсюда следует весьма существенный вывод, заключающийся в том, что ни при каких обстоятельствах при анализе работы изучаемой здесь системы нельзя пренебречь постоянной времени цепи возбуждения вспомогательного генератора  $УН$ . Однако, введение вспомогательного генератора оказывается недостаточным для получения аperiodичности на любой ступени. Для этого необходимо, чтобы величина предвращения автоматически устанавливалась соответственно для каждой ступени. Это достигается введением еще одной трансформаторной связи (рис. 4, трансформатор  $ПТ$ ). Первичная обмотка этого трансформатора включается на напряжение главного генератора Леонарда, вторичная обмотка на дополнительную обмотку  $ВО$  вспомогательного генератора. Напряжение вспомогательного генератора при подаче напряжения на его цепь возбуждения беспрепятственно возрастает до того момента, когда начинает расти напряжение главного генератора.

Как только начинается рост напряжения главного генератора, благодаря действию транс-

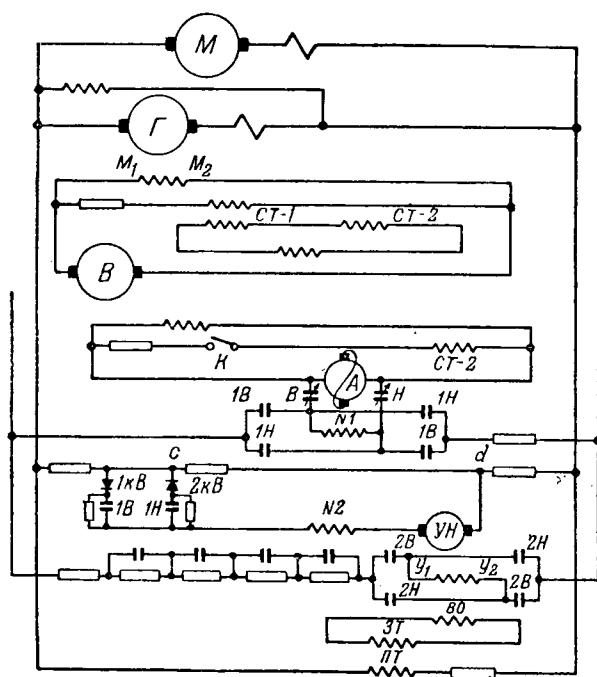


Рис. 4.

форматора *ПГ*, создающего напряжение на обмотке *ВО*, ампервитки которой направлены против основных ампервитков возбуждения *УН*, рост напряжения *УН* прекращается (оно даже несколько падает). Такое состояние будет продолжаться до сравнения  $U_n$  и  $U_c$ ; это, естественно, зависит от положения командоаппарата. Следовательно, введением трансформатора *ПТ* и вспомогательного генератора *УН* получаем автоматическое предвращение, которое должно при правильном выборе параметров обеспечить аperiodичность процесса.

Таким образом, исходя из физики работы отдельных элементов и требуя выполнения технических условий, мы установили структуру, которая содержит необходимые основные и стабилизирующие звенья.

Достаточность приведенных элементов выяснится при расчете. Как это будет видно ниже, для получения желательного характера процесса нужно будет ввести еще одну трансформаторную связь, включенную положительной обратной связью. Пока же мы ограничимся полученной схемой (рис. 4 при условии, что рубильник *K* разомкнут), которую положим в основу расчета процесса управления и регулирования.

**3. Расчет процесса пуска.** Расчет процесса пуска и другие расчеты производятся применительно к системе, на которой были произведены экспериментальные исследования.

Величину постоянной  $T_6$  стабилизирующего трансформатора *СТ-1* мы выбираем из условия, чтобы вырожденное уравнение оставалось устойчивым при любых коэффициентах усиления.

**Первый этап процесса пуска.** Расчет первого этапа даст нам возможность, во-первых, проверить величину нагрузочного тока, во-вторых, определить постоянную времени цепи возбужде-

ния вспомогательного генератора *УН* и, наконец, из кривой процесса пуска и кривой нарастания напряжения вспомогательного генератора найти начальные условия для определения постоянных интегрирования второго этапа процесса пуска.

Дифференциальное уравнение процесса пуска для первого этапа (рис. 4) запишется так:

$$\left[ (1 + T_2 p) (1 + T_3 p) (1 + T_6 p) + \frac{k'_2 k'_3}{R_2 R_\kappa R_g} T_6 p \right] \times \\ \times (1 + T_4 p) (1 + T_5 p) n = \frac{k'_2 k'_3 k'_4 k'_5}{K R_\kappa R_g R_m R_n} U_{\text{пос.}} \quad (3.1)$$

Здесь  $R_2 = 600 \text{ ом}$  — активное сопротивление вторичной цепи стабилизируемого трансформатора *СТ-1*;

$R_\kappa = 4000 \text{ ом}$  — сопротивление цепи обмотки *1* (выбор этого сопротивления обусловлен предельно допустимой токовой нагрузкой обмотки *1* электромашиного усилителя);

$R_\kappa = 1,85 \text{ ом}$  — сопротивление короткозамкнутой цепи электромашиного усилителя;

$R_g = 40 \text{ ом}$  — цепи возбуждения возбудителя;

$R_m = 3,9 \text{ ом}$  — цепи возбуждения генератора;  $k = \frac{U_g}{n_n} = 1,47$ ;

$k'_4 = \frac{U_g}{I_m} = 15$  — выбирается по угловому коэффициенту в начальной части кривой намагничивания генератора *G*;

$k'_3 = \frac{U_g}{I_g} = 180$  — то же для кривой намагничивания возбудителя *B*;

$k'_2 = \frac{U_{\text{эму}}}{I_n} = 7000$  — то же для электромашиного усилителя  $k'_5 = 1$ .

Как будет показано ниже, электромашиный усилитель шунтируется положительной гибкой обратной связью, поэтому влиянием постоянной времени короткозамкнутой цепи можно пренебречь.

Начальными условиями здесь будут: при  $t=0$ ;  $n=0$ ;  $n^t=0$ . Полное решение уравнения (3.1) запишется так:

$$n(t) = 2430 + 8903e^{-0,72t} - 47e^{-10t} - \\ - 1130e^{-0,55t} - 20e^{-13,1t} \quad (3.2)$$

На рис. 5 кривая *1* представлена расчетная осциллограмма согласно уравнению (3.2). Уже при  $t=0,75$  сек. скорость достигает номинального значения  $n=150$  об/мин, при этом нагрузочный ток для прямолинейной части расчетной осциллограммы равен около  $3200 \text{ а}$ , т. е.  $1,55 I_n$ . Так как в процессе разгона при скорости  $n \approx 0,3 n_n$  в валки подается болванка, вызывающая бросок тока, равный порядка  $I_n$ , то вместе с динамиче-

ской нагрузкой получим  $2,5 \div 2,6 I_n$ , что соответствует допустимой перегрузке машин.

Выбор постоянной времени цепи возбуждения вспомогательного генератора УН может быть произведен на основе следующих соображений. Будем считать, что напряжение вспомогательного генератора успевает вырасти до 70% своего установившегося значения, пока появляется напряжение на вторичной обмотке трансформатора ПТ (момент начала роста напряжения главного генератора). До 70% ток возбуждения УН успевает вырасти примерно за одну постоянную времени.

Из расчетной осциллограммы мы видим, что напряжение главного генератора начинает расти примерно через 0,2 сек. после приложения напряжения к цепи возбуждения электромашиного усилителя. Следовательно, выбираем  $T_{yn} = 0,2$  сек.

**Второй этап процесса пуска.** Второй этап процесса пуска наступает, когда сравниваются напряжения  $U_n$  и  $U_c$  и система замыкается.

Дифференциальное уравнение для этого этапа запишется (рис. 4):

$$\left\{ \left[ (1 + T_2 p)(1 + T_3 p)(1 + T_6 p) + \frac{k'_2 k'_3}{R_2 R_K R_c} T_6 p \right] \times \right. \\ \times (1 + T_4 p)(1 + T_5 p)(1 + T_{yn} p) + \\ \left. + \frac{k'_2 k'_3 k'_4 k'_5 C}{K R_K R_0 R_m R_y} (1 + T_6 p)(1 + T_{yn} p) \right\} n = \\ = \frac{k'_2 k'_3 k'_4 k'_5}{K R_K R_c R_m} \left[ \frac{1}{R_n} + \frac{k'_6}{R_{yn} R_y} \right], \quad (3,3)$$

где  $k'_6 = \frac{U_{yn}}{I_{yn}} = 200$  — взято из кривой холостого генератора УН;

$R_{yn} = 610$  ом — активное сопротивление цепи возбуждения вспомогательного генератора для четвертого положения;

$R_y = 420$  ом — сопротивление управляющей обмотки в замкнутом состоянии системы. Это сопротивление рассчитывается из условий статики — для получения предписанного значения скорости в установившемся режиме;

$C' = 1,4$  — коэффициент пропорциональности между э. д. с. и скоростью главного прокатного двигателя.

Для потенциометра 1 отношение средней части сопротивления к общей выбрано  $\frac{R_c}{R_{об}} = 0,45$  и  $C = 0,45 \cdot 1,4 = 0,63$ .

Считая в уравнении (3,3)  $\frac{k'_2 k'_3}{R_2 R_K R_c}$  достаточно большим числом, получим вырожденное уравнение в следующем виде;

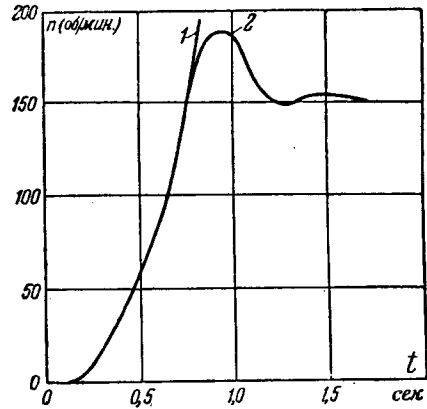


Рис. 5.

$$\{ T_6 p(1 + T_4 p)(1 + T_5 p)(1 + T_{yn} p) + \\ + \frac{k'_4 k'_5 C R_2}{K R_K R_y} (1 + T_6 p)(1 + T_{yn} p) \} n = \\ = \frac{k'_4 k'_5 R_2}{K R_K} \left[ \frac{1}{R_n} + \frac{k'_6}{R_{yn} R_y} \right] U_{noc}. \quad (3,4)$$

В этом уравнении не учтено действие трансформатора ПТ. Учет действия этого трансформатора мы произведем при определении постоянных интегрирования<sup>1</sup>.

Корни характеристического уравнения усеченного уравнения (3,4) будут  $a_{12} = -2,41 \pm \pm i 10,8$ ;  $a_3 = -5$ ;  $a_4 = -5,88$ . Из расчетной осциллограммы рис. 5 (кривая 1) определяем  $n$  и  $n'$  для нахождения постоянных интегрирования. Расчеты показали, что момент сравнения  $U_c$  и  $U_n$  происходит при  $t = 0,7$  сек. эта точка получается наложением кривых  $U_n = f(t)$  и  $U_c = f(t)$ .

Постоянные интегрирования имеют значения:  $C_{12} = -37,5$ ;  $\varphi = +92^\circ 20'$ ;  $C_3 = +387,5$ ;  $C_4 = -378$ .

Процесс запишется уравнением:

$$n(t) = 150 - 37,5 e^{-2,41t} \sin(10,8 t + 92^\circ 20') + 387,5 e^{-5t} - 378 e^{-5,88t}. \quad (3,5)$$

На рис. 5 (кривая 2) представлена полная расчетная осциллограмма процесса пуска до основной скорости. Из этой осциллограммы видно, что процесс протекает со значительным перерегулированием. В пределах точности процесс заканчивается через 1,2 сек.

Учтем теперь действие трансформатора ПТ. Влияние этого трансформатора сводится к тому, что напряжение  $U_c$  становится равным  $U_n$  несколько раньше. Этот момент зависит от соотношения между постоянными трансформатора ПТ и дополнительной обмоткой возбуждения генератора УН. Для изучаемой системы дей-

<sup>1</sup> Так можно поступить, ибо действие трансформатора ПТ сводится к изменению момента  $t$ , при котором сравниваются напряжения  $U_c$  и  $U_n$ .

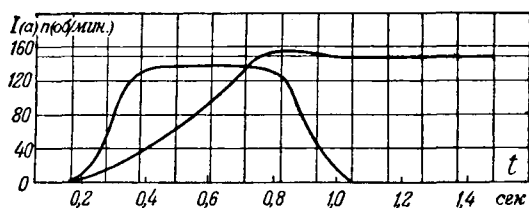


Рис. 6.

ствие ПТ сводится к тому, что  $t=0,6$  сек. Постоянные интегрирования при этом имеют значения:  $C_1 = -26,6$ ;  $\varphi = +80^\circ 20'$ ;  $C_3 = -89,2$ ;  $C_4 = -126$ .

Процесс можно записать:

$$n(t) = 150 - 26,6 e^{-2,41 t} \sin(10,8 t + 80^\circ 20') + 89,2 e^{-5 t} - 126 e^{-5,88 t}. \quad (3,6)$$

На рис. 6 представлена расчетная осциллограмма для рассматриваемых условий. В пределах точности процесс протекает без колебания и перерегулирования и заканчивается через 0,96 сек.

Имея по осциллограмме рис. 6 значения  $\frac{dn}{dt}$ , можно подсчитать осциллограмму главного тока  $I$ . Для изучаемой системы  $GD^2 = 55 \cdot 10^2 \text{ кг м}^2$ ;  $\Phi_n = 11,5 \cdot 10^{-2} \text{ в сек}$ ;  $C = 1,4$ ;  $I_{\text{макс}} = 3540 \text{ а}$ .

На рис. 6 представлена осциллограмма главного тока, совмещенная с осциллограммой пуска. Коэффициент заполнения токовой диаграммы имеет значение порядка 0,87. Из полученной расчетной осциллограммы можно заключить, что система теоретически удовлетворяет всем поставленным техническим требованиям.

**О необходимости дополнительной обратной связи.** Прежде чем приступить к определению некоторых параметров системы и к экспериментальной проверке теории, выясним вопрос, имеющий существенное значение. Выше было показано, что при некотором значении коэффициентов усиления по напряжению электромашиного усилителя и возбудителя процессы в системе могут быть описаны вырожденным уравнением, которое на два порядка ниже полного уравнения. При этом отброшенные члены не могут нарушить устойчивости системы. Однако, нас здесь не могут удовлетворить только вопросы устойчивости. Для того, чтобы полученные нами ранее расчетные кривые были достаточно близки к истинным кривым, необходимо, чтобы вещественные части отбрасываемых корней были сравнительно велики (по абсолютному значению), так чтобы определяемые ими составляющие переходного режима достаточно быстро затухли.

К таким составляющим мы относим составляющие, определяемые индуктивностью цепи

якорей главных машин, индуктивностью управляющей обмотки электромашиного усилителя. Кроме того, мы имеем составляющие, обусловленные повышением порядка уравнения на два за счет малого параметра  $m$  (за счет больших коэффициентов усиления электромашиного усилителя и возбудителя). Это по существу составляющие, которые зависят от индуктивности короткозамкнутой цепи электромашиного усилителя и индуктивности цепи возбуждения возбудителя.

Произведем прежде всего оценку влияния постоянных времени цепи якорей главных машин и управляющей обмотки электромашиного усилителя на корни вырожденного уравнения.

Доказано [Л. 4], что если допустимую ошибку обозначить через  $a$ , то связь между малыми параметрами, известными корнями вырожденного уравнения и ошибкой  $a$ , запишется:

$$f(m) = -az\varphi'(z)_{z=z_v}. \quad (4,1)$$

Здесь  $z_v$  — известные корни вырожденного уравнения. Для нашего случая  $v = 1, 2, 3, 4$ ;  $\varphi'(z)$  — производная от вырожденного уравнения при  $z = z_v$ ;  $f(m)$  — функция малых параметров.

Постоянные, влиянием которых мы желаем пренебречь, имеют значения  $T_y = 0,0017 \text{ сек}$ ;  $T_\pi = 0,01 \text{ сек}$ .

Подставляя эти значения в (4,1), мы убеждаемся, что ошибка не превышает 6% от значения минимального корня. Такая ошибка вполне допустима, так как она лежит в пределах точности определения параметров системы.

Рассмотрим теперь, как располагаются корни от малого параметра, повышающего уравнение на два порядка. Как показано [Л. 3], вещественная часть комплексного корня, получающегося при повышении порядка уравнения на два за счет малого параметра, может быть приближенно определена по формуле:

$$R_e(\alpha_{12}) \approx -\frac{1}{2} \left[ \frac{B_1}{B_0} - \frac{B_2}{A_0} \right]. \quad (4,2)$$

Для нашего случая

$$R_e(\alpha_{12}) = -\frac{1}{2} \left[ \frac{1}{T_6} + \frac{1}{T} + \frac{1}{T_6} \right] = -14,5. \quad (4,3)$$

Введением положительной обратной связи уменьшаем действующее значение постоянной времени короткозамкнутой цепи, увеличивая этим абсолютное значение вещественной части корня.

Вырожденное уравнение (3,4) мы получили в предположении, что  $K_{23} = \frac{k'_2 k'_3}{R_2 R_\kappa R_\delta}$  — есть достаточно большое число. Построением обобщенной амплитудно-фазовой характеристики [Л. 2]:

$$K_{23} = \frac{k'_2 k'_3}{R_2 R_\kappa R_\delta} = - \frac{\prod_{i=2 \div 6} (1 + T_i j\omega)}{j\omega T_6 (1 + T_y j\omega) (1 + T_\pi j\omega) + (1 + T_{yn} j\omega) \frac{k'_y k'_5 C R_z}{K R_\pi R_y} (1 + T_6 j\omega) (1 + T_{yn} j\omega)} \quad (4,4)$$

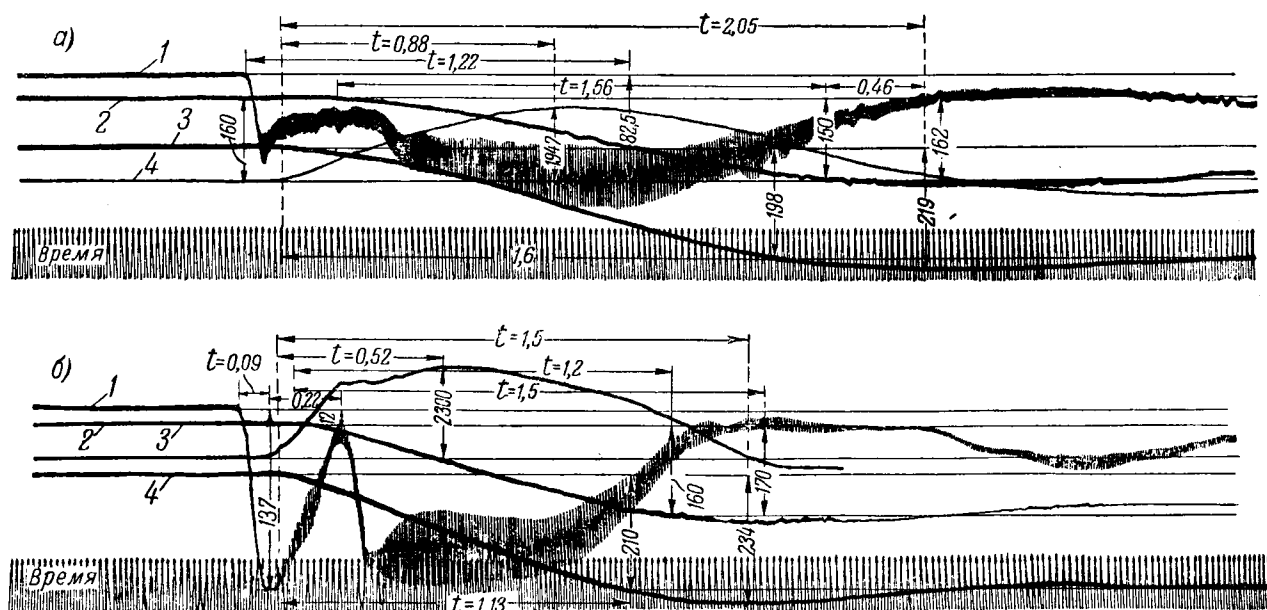


Рис. 7.

1 — напряжение машинного усилителя; 2 — скорость двигателя; 3 — ток нагрузки; 4 — напряжение главного генератора.

можно установить, что наименьшее значение  $k_{23}$ , при котором справедливы наши выводы, будет 7.

Экспериментальная проверка теории и расчета<sup>2</sup>. Для проверки работы системы, имеющей только основные элементы (без стабилизирующих звеньев), была собрана макетная установка. Осциллограммы пуска до основной скорости подтвердили, что система, практически, совершает незатухающие колебания. Выводы о непригодности системы в таком виде полностью подтвердились.

Последующие эксперименты производились на полупромышленной установке, для которой производился расчет.

Для того, чтобы установить влияние обратной связи на электромашинный усилитель, были про-

деланы следующие опыты. При отключенном трансформаторе ПТ были сняты осциллограммы с отрицательной (рис. 7,а) и положительной (рис. 7,б) обратной связью на электромашинном усилителе. Как в первом, так и во втором случаях получается одинаковое перерегулирование. Однако, в первом случае скорость достигает предписанного значения через 1,6 сек. и коэффициент заполнения токовой диаграммы имеет значение порядка 0,5. Во втором случае скорость достигает предписанного значения через 1,13 сек. при коэффициенте заполнения токовой диаграммы порядка 0,76. Эти опыты полностью подтверждают сделанные ранее выводы.

Опасения, существующие в некоторых проектных организациях по поводу включения трансформатора электромашинного усилителя положительной обратной связью связаны с тем, что при некоторых условиях благодаря положительной обратной связи электромашинный усилитель мо-

<sup>2</sup> Экспериментальные исследования производились бригадой ВЭИ и ЦЭМ под руководством автора.

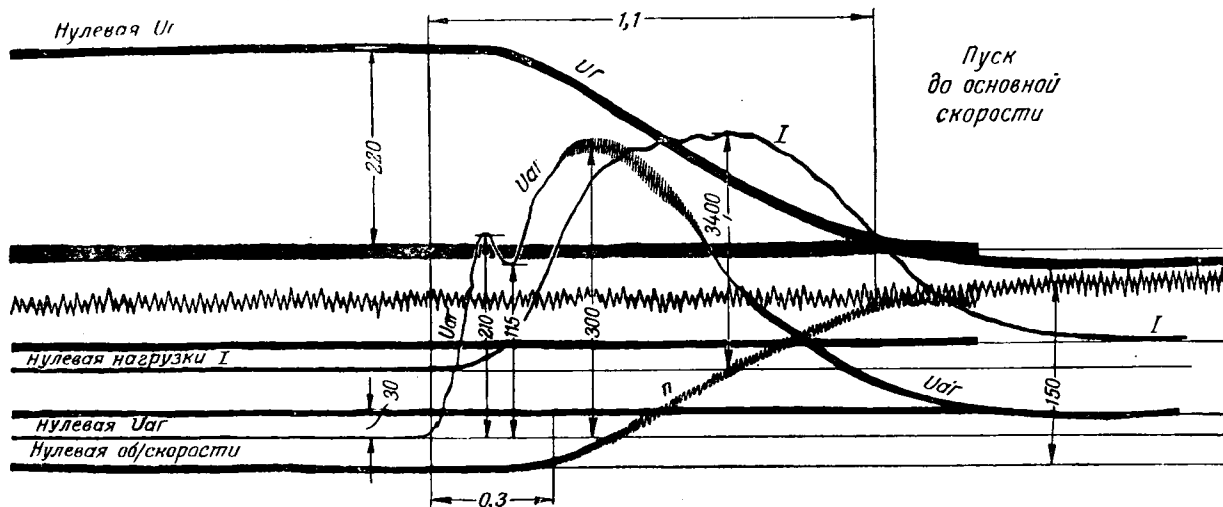


Рис. 8.

Реверс с макс. скорости на максимальную

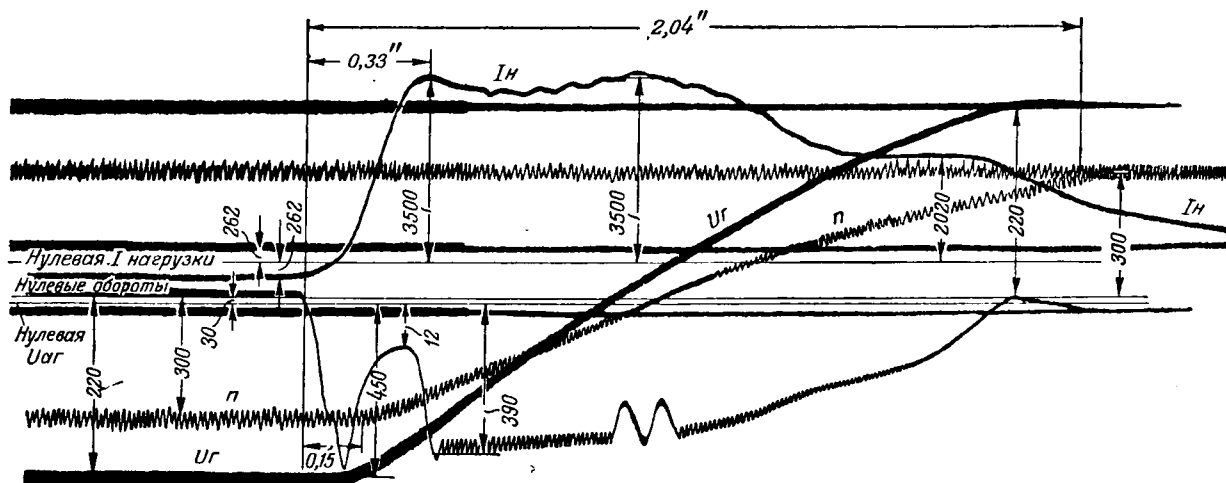


Рис. 9.

жет начать генерировать колебания. Это может произойти в том случае, если  $T_2 - k_1 T_7 < 0$ , где  $T_7$  постоянная трансформатора СТ-2. Но для достижения этого режима пришлось бы в нашем случае уменьшить сопротивление цепи первичной обмотки трансформатора СТ-2 с 7 000 до 800 ом, т. е. почти в 10 раз. Такое уменьшение сопротивления может произойти только в результате какого-либо случая аварийного характера. Но если бы даже это произошло, то, как показали осциллограммы, вследствие резкого отличия частоты колебания напряжения электромашиного усилителя и собственной частоты системы, колебания скорости и нагрузочного тока имеют весьма малую не опасную для машин амплитуду.

Эффективность действия положительной обратной связи понижается с насыщением электромашиного усилителя. Поэтому для получения большего эффекта рабочие напряжения электромашиного усилителя (напряжения электромашиного усилителя, соответствующие установившейся скорости) следует выбирать как можно меньшими с тем, чтобы повысить относительный потолок напряжения электромашиного усилителя.

На рис. 8 представлена осциллограмма пуска до основной скорости, соответствующая данным расчетной осциллограммы рис. 6. Сравнение этих

осциллограмм показывает, что они совпадают достаточно точно не только по характеру протекания процесса, но и количественно.

В заключение приведем осциллограмму, свидетельствующую о высоком качестве системы.

На рис. 9 представлена осциллограмма реверса с максимальной скорости на максимальную. Процесс заканчивается через 2,04 сек. при коэффициенте заполнения токовой диаграммы порядка 0,82, при этом процесс чисто апериодический. Лучшее время для релейно-контактной схемы при аналогичных условиях равно 4 сек. Таким образом, показано не только достаточно точное совпадение теоретических расчетов с экспериментом, но и то, что построенная система обладает высокими эксплуатационными качествами.

#### Литература

1. М. В. Мееров и Е. Д. Эттингер. Система управления и регулирования мотора реверсивного прокатного стана с электромашиными усилителями. Вестник электропромышленности, № 4, 1946.
2. М. В. Мееров. Система авторегулирования. Устойчивые при сколь угодно большом коэффициенте усиления. Автоматика и телемеханика, № 4, 1947.
3. М. В. Мееров. Некоторые вопросы устойчивости регулирования напряжения электрических генераторов. Вестник электропромышленности, № 3, 1943.
4. М. В. Мееров. Об учете малых параметров при исследовании устойчивости систем регулирования. Электричество, № 6, 1947.

[13. 9. 1946]





# Одноэлементное трехфазное реле направления энергии

Кандидат техн. наук, доц. В. К. ПОНОМАРЕНКО

Москва

В настоящей работе рассматривается теория применяемого в последнее время оригинального одноэлементного трехфазного реле направления,

которое по своим качествам значительно превосходит все известные до сих пор конструкции. На рис. 1, а приведен схематический чертеж такого реле (на рис. 1, б дано схематическое изображение полюсов реле). Оно имеет 8 полюсов — 4 токовых и 4 напряжения. В одной из фаз взято 2 полюса тока, расположенных диаметрально. К одной паре полюсов напряжения

Барabanчиковые реле находят широкое применение в технике релейной защиты и интерес к теории работы этих реле возрос. Подвергается рассмотрению вопрос о вращающем моменте многополюсного барабанчикового реле и показывается, что восьми-полюсное трехфазное реле является оптимальным решением.

Возьмем металлическую пластину и два расположенных перпендикулярно к ней токовых полюса с токами в обмотках  $I_1$  и  $I_2$ . При сдвиге

токов  $I_1$  и  $I_2$  во времени на угол  $\gamma$  и симметричном расположении полюсов результирующая сила, равная разности мгновенных значений  $P_{12t} - P_{21t}$ , как известно, равна

$$P_{рез} = k_I I_1 I_2 \sin \gamma. \quad (1)$$

Это выражение есть мнимая часть произведения комплекса  $I_1$  на сопряженную величину комплекса  $\hat{I}_2$ , следовательно,

$$P_{рез} = k_I \cdot I_m (I_1 \hat{I}_2). \quad (2)$$

Если пластинку изогнуть в виде цилиндра и разместить по окружности его на равных расстояниях  $n$  полюсов (рис. 2), то согласно (2)

$$P_{рез} = k_I I_m (I_1 \hat{I}_2 - I_1 \hat{I} + I_2 \hat{I}_3 - I_2 \hat{I}_1 + I_3 \hat{I}_4 - I_3 \hat{I}_2 + \dots + I_n \hat{I}_1 - I_n \hat{I}_{n-1}). \quad (3)$$

Если токовые полюса являются полюсами трехфазной системы  $a, b, c$ , то мнимая часть

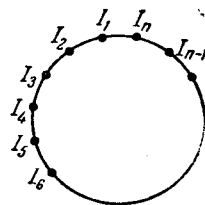


Рис. 2.

подведены одинаковые линейные напряжения противоположных полярностей  $U_{cb}$  и  $-U_{cb}$ , к другой — линейные напряжения  $U_{ac}$  и  $-U_{ba}$ . Потoki полюсов тока и напряжения, пронизывая цилиндр, индуктируют в нем токи, взаимодействие которых с другими полюсами вызывает силы, приложенные к цилиндру.

При любом числе полюсов тока и напряжения в реле в нем возникают следующие силы взаимодействия:

1. Между потоками и индуктированными токами в цилиндре от одних токовых полюсов.
2. Между потоками и индуктированными токами в цилиндре от одних полюсов напряжения.
3. Между потоками и индуктированными токами в цилиндре при одновременном действии полюсов тока и напряжения.

выражения в скобках проще всего вычисляется по методу симметричных составляющих. Для 3 полюсов с токами  $I_a, I_b, I_c$  выражение резуль-

тирующей силы взаимодействия, написанное через симметричные составляющие, примет вид:

$$P_{рез} = k_I I_m (\dot{I}_a \hat{I}_c - \dot{I}_a \hat{I}_b + \dot{I}_c \hat{I}_b - \dot{I}_c \hat{I}_a + \dot{I}_b \hat{I}_a - \dot{I}_b \hat{I}_c) = \\ = k_I I_m \{ (\dot{I}_0 + \dot{I}_1 + \dot{I}_2) \cdot [(a^3 - a) \hat{I}_1 + (a - a^2) \hat{I}_2] + \\ + (\dot{I}_0 + a \dot{I}_1 + a^2 \dot{I}_2) [(a - 1) \hat{I}_1 + (a^2 - 1) \hat{I}_2] + \\ + (\dot{I}_0 + a^2 \dot{I}_1 + a \dot{I}_2) [(1 - a^2) \hat{I}_1 + (1 - a) \hat{I}_2] \}.$$

Отсюда

$$P_{рез} = k_I I_m [3(a^2 - a) \dot{I}_1 \hat{I}_1 + 3(a - a^2) \dot{I}_2 \hat{I}_2]. \quad (4)$$

При трехфазном замыкании ток отрицательной последовательности равен нулю и, согласно (4),

$$P_{рез} = -3\sqrt{3} k_I I_1^2.$$

При аварии ток возрастает и поэтому  $P_{рез}$  сильно увеличивается.

Если вместо токовых полюсов взять полюса напряжения, то сила взаимодействия от полюсов напряжения будет определяться выражением, аналогичным (3), но вместо токов  $\dot{I}_1, \dot{I}_2, \dot{I}_3, \dots$  нужно подставить токи в обмотках напряжения. Для  $n$  — полюсов напряжения, расположенных симметрично по окружности, аналогично (3), результирующая сила взаимодействия будет

$$P_{рез} = k_U I_m (\dot{U}_1 \hat{U}_2 - \dot{U}_1 \hat{U}_n + \dot{U}_2 \hat{U}_3 - \dot{U}_2 \hat{U}_1 + \\ + \dot{U}_3 \hat{U}_4 - \dot{U}_3 \hat{U}_2 \dots + \dot{U}_n \hat{U}_1 - \dot{U}_n \hat{U}_{n-1}), \quad (6)$$

где  $k_U = \frac{k_I}{Z_U^2}$ ;  $\dot{U}_1, \dot{U}_2, \dot{U}_3, \dots$  — напряжения.

В случае 3 полюсов напряжения фаз  $a, b, c$  трехфазной системы, аналогично (4) и (5), результирующая сила

$$P_{рез} = k_U I_m [3(a^2 - a) \dot{U}_1 \hat{U}_1 + \\ + 3(a - a^2) \dot{U}_2 \hat{U}_2] = -3\sqrt{3} k_U \dot{U}_1^2, \quad (7)$$

где  $\dot{U}_1$  и  $\dot{U}_2$  — симметричные составляющие положительной и отрицательной последовательностей.

Рассмотрим конструкцию реле направления, в которой внутренние углы сдвигов в обмотке напряжения и тока выбраны так, что вращающий момент пропорционален подведенной к реле мощности. Сила взаимодействия двух смежных полюсов будет равна  $P = k_w UI \cos \varphi_p$ , где  $\varphi_p$  — угол между током в токовых катушках и напряжением в катушке напряжения. Последнее выражение является действительной частью про-

изведения комплекса  $\dot{U}$  на сопряженную величину комплекса  $\hat{I}$ , т. е.

$$P = k_w \operatorname{Re}(\dot{U} \hat{I}). \quad (8)$$

Для 2  $n$  полюсов ( $n$  — полюсов тока и  $n$  — полюсов напряжения), расположенных симметрично по окружности, результирующая сила от взаимодействия полюсов тока с полюсами напряжения будет:

$$P_{рез} = k_w \operatorname{Re}(\dot{U}_1 \hat{I}_1 - \dot{U}_1 \hat{I}_n + \dot{U}_2 \hat{I}_2 - \dot{U}_2 \hat{I}_1 \dots \\ \dots + \dot{U}_n \hat{I}_n - \dot{U}_n \hat{I}_{n-1}). \quad (9)$$

Для трехфазного реле с 6 полюсами (3 полюса тока фаз  $a, b, c$  и 3 полюса напряжения  $U_{ac}, U_{ba}, U_{cb}$ ) по рис. 3

$$P_{рез} = k_w \operatorname{Re}[\dot{U}_{a0}(\hat{I}_b - \hat{I}_a) + \dot{U}_{ba}(\hat{I}_c - \hat{I}_b) + \\ + \dot{U}_{cb}(\hat{I}_a - \hat{I}_c)] \quad (10)$$

или, иначе,

$$P_{рез} = k_w \operatorname{Re}[9a \cdot \dot{U}_1 \hat{I}_1 + 9a^2 \dot{U}_2 \hat{I}_2].$$

При трехфазном замыкании ток и напряжения отрицательной последовательности равны нулю и, следовательно,

$$P_{рез} = k_w \operatorname{Re}[9a \dot{U}_1 \hat{I}_1] = - \\ = -9 k_w |\dot{U}_1| \cdot |\hat{I}_1| \cos(30^\circ + \varphi_p), \quad (11)$$

где  $|\dot{U}_1|$  и  $|\hat{I}_1|$  — модули положительной последовательности напряжения и тока;  $\varphi_p$  — угол сдвига между напряжением и током, подведенными к реле.

Таким образом, в одноэлементном трехфазном реле с 6 полюсами приложенная к цилиндру результирующая сила при трехфазном замыкании пропорциональна  $\cos(30^\circ + \varphi_p)$ , что и требуется от реле направления.

Исходя из (11), можно заключить, что одноэлементное трехфазное реле направления можно было бы выполнить с 6 полюсами; однако при аварии ток увеличивается, и взаимодействие от полюсов тока, пропорциональное квадрату тока, сильно возрастает. Направление этой силы взаимодействия не зависит от направления тока и, следовательно, она может либо поворачивать цилиндр в сторону замыкания контактов при прямой мощности, либо тормозить движение цилиндра при обратной мощности. В том и другом случае сила взаимодействия от одних токовых полюсов является вредной. Оказывается, что

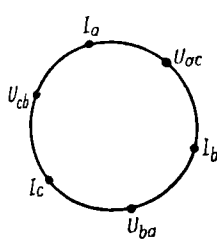


Рис. 3.

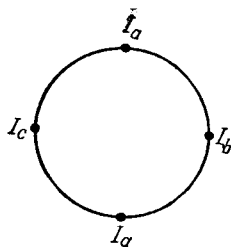


Рис. 4.

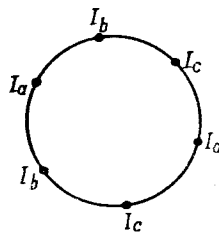


Рис. 5.

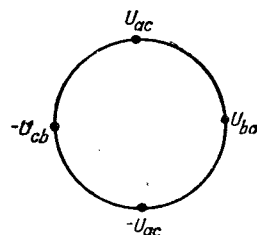


Рис. 6.

эту вредную силу возможно свести к нулю, взяв, вместо трех четыре полюса и разместив их, как это показано на рис. 4. Составим выражение для  $P_{рез}$ :

$$P_{рез} = k_I I_m (\hat{I}_a \hat{I}_b - \hat{I}_a \hat{I}_c + \hat{I}_b \hat{I}_a - \hat{I}_b \hat{I}_c + \hat{I}_c \hat{I}_a - \hat{I}_c \hat{I}_b + \hat{I}_a \hat{I}_c - \hat{I}_a \hat{I}_b + \hat{I}_c \hat{I}_a - \hat{I}_c \hat{I}_b) = 0. \quad (12)$$

Сила взаимодействия оказалась равной нулю.

Особенности суммы в выражении (12):

1) число слагаемых равно удвоенному числу полюсов.

2) число полюсов какой-либо фазы равно половине слагаемых, у которых множителем является основная величина тока этой фазы. Например, слагаемые с множителем  $\hat{I}_a$  будут  $\hat{I}_a \hat{I}_b - \hat{I}_a \hat{I}_c + \hat{I}_b \hat{I}_a - \hat{I}_c \hat{I}_a$ . Всех их четыре, следовательно, число полюсов фазы  $a$  равно двум;

3) число слагаемых, у которых множителем является сопряженная величина какой-либо фазы, равно числу слагаемых, у которых множителем является основная величина той же фазы. Например, для фазы  $b$  слагаемые с множителем  $\hat{I}_b$  суть  $\hat{I}_a \hat{I}_b - \hat{I}_a \hat{I}_c + \hat{I}_b \hat{I}_a - \hat{I}_c \hat{I}_a$ , слагаемые с множителем  $\hat{I}_b$  суть  $\hat{I}_b \hat{I}_a - \hat{I}_b \hat{I}_c$ .

Добавим в (12) сумму нескольких слагаемых, в которой соблюдены эти три особенности. Например, добавим сумму  $\hat{I}_b \hat{I}_c - \hat{I}_b \hat{I}_a + \hat{I}_c \hat{I}_b - \hat{I}_c \hat{I}_a$ . Последняя сумма равна нулю, поэтому добавление ее не изменит величины выражения (12). Новое выражение будет:

$$P_{рез} = k_I I_m (\hat{I}_a \hat{I}_b - \hat{I}_a \hat{I}_c + \hat{I}_b \hat{I}_a - \hat{I}_b \hat{I}_c + \hat{I}_c \hat{I}_a - \hat{I}_c \hat{I}_b - \hat{I}_a \hat{I}_b + \hat{I}_a \hat{I}_c - \hat{I}_b \hat{I}_c + \hat{I}_b \hat{I}_a - \hat{I}_c \hat{I}_a + \hat{I}_c \hat{I}_b - \hat{I}_c \hat{I}_a) = 0.$$

Число слагаемых равно 12, следовательно, всех полюсов 6. Слагаемых с множителем  $\hat{I}_a$  четыре, поэтому токовых полюсов фазы  $a$  два; столько же полюсов фазы  $b$  и фазы  $c$ . На рис. 5 показано размещение шести токовых полюсов, удовлетворяющее последнему выражению.

Отсюда вывод: так как при шести полюсах сила, действующая на цилиндр (вредная

сила) равна нулю, то одноэлементное реле направления можно сделать с шестью полюсами тока. К выражению (12) мы могли прибавить сумму не из 4, а из 8; 12; 16 и т. д. слагаемых, что соответствует добавлению 4; 6; 8 и т. д. полюсов. Вообще, число полюсов тока, при котором возможно одноэлементное трехфазное реле, определяется по формуле:

$$4 + 2m = 2(2 + m), \text{ где } m = 0; 1; 2; 3 \dots, \quad (13)$$

это — любое четное число, большее 2.

Аналогичные замечания и выводы относятся также и к обмоткам напряжения. Число полюсов напряжения, при которых взаимодействие их равно нулю, определяется так же, как и для тока по формуле (13), причем размещение полюсов по окружности должно быть таким, чтобы  $P_{рез}$  равнялось нулю. Если поменять полярность в двух соседних полюсах, то  $P_{рез}$  останется равным нулю. Возьмем, например, случай, показанный на рис. 6, и составим выражение для  $P_{рез}$

$$\begin{aligned} P_{рез} &= \dot{U}_{bc} \dot{U}_{cb} - \dot{U}_{bc} \dot{U}_{ba} + \dot{U}_{cb} \dot{U}_{ac} + \\ &+ \dot{U}_{cb} \dot{U}_{ac} - \dot{U}_{ac} \dot{U}_{ba} - \dot{U}_{ac} \dot{U}_{cb} + \dot{U}_{ba} \dot{U}_{ac} + \\ &+ \dot{U}_{ba} \dot{U}_{ac} = 2(-\dot{U}_{ac} \dot{U}_{cb} + \dot{U}_{cb} \dot{U}_{ac} - \dot{U}_{ac} \dot{U}_{ba} + \\ &+ \dot{U}_{ba} \dot{U}_{ac}) = 2[-\dot{U}_{ac} (\dot{U}_{cb} + \dot{U}_{ba}) + \\ &+ \dot{U}_{ac} (\dot{U}_{cb} + \dot{U}_{ba})] = 2[-\dot{U}_{ac} (-\dot{U}_{ba}) + \\ &+ \dot{U}_{ba} (-\dot{U}_{ac})] = 0. \end{aligned}$$

Добавим к этому выражению суммы из 4; 8; 12... слагаемых, удовлетворяющих вышеуказанным трем особенностям; получим 4; 6; 8... полюсов, при которых  $P_{рез} = 0$ . Возьмем 8 полюсов (4 полюса тока и 4 полюса напряжения) и разместим их согласно рис. 1. Полярности двух полюсов взяты отрицательными для того, чтобы получить симметричность (одинаковую чувствительность реле) для всех трех фаз. Если взять полярности полюсов напряжения одинаковыми то, составив выражение для  $P_{рез}$ , мы убедились бы, что в случае двухфазного короткого замы-

кания чувствительность одноэлементного реле зависела бы от того, между какими фазами произошло короткое замыкание.

Составим выражение для  $P_{рез}$ :

$$\begin{aligned} P_{рез} &= \dot{U}_{cb} \hat{I}_b - \dot{U}_{cb} \hat{I}_a - \dot{U}_{ba} \hat{I}_c + \dot{U}_{ba} \hat{I}_b - \\ &- \dot{U}_{cb} \cdot \hat{I}_b + \dot{U}_{cb} \cdot \hat{I}_c + \dot{U}_{ac} \hat{I}_a - \dot{U}_{ac} \hat{I}_b = \\ &= \dot{U}_{ac} (\hat{I}_a - \hat{I}_b) + \dot{U}_{ba} (\hat{I}_b - \hat{I}_c) + \dot{U}_{cb} (\hat{I}_c - \hat{I}_a). \end{aligned}$$

Последнее выражение, имеющее восемь слагаемых и соответствующее восьми полюсам, после приведения подобных членов сократилось до шести слагаемых, что соответствует шести полюсам. При шести полюсах взаимодействие от полюсов тока с полюсами напряжения пропорционально  $\cos(30^\circ + \varphi_p)$ ; то же будет и при 8 полюсах. Так как при этом вредная сила от одних токовых полюсов и от одних полюсов напряжения равна нулю, то окончательно устанавливаем, что возможно одноэлементное трехфазное реле с восемью полюсами.

Исходя из выражения (13) для шестиполюсного реле, можно составить аналогичное выражение для другого числа полюсов, для чего к сумме, заключенной в одну из круглых скобок, или к каждой из сумм, заключенных во все круглые скобки, нужно добавить и вычесть сопряженный член  $\hat{I}_a$ ,  $\hat{I}_b$  или  $\hat{I}_c$ .

Так, например, добавим к суммам и вычтем из них в каждой круглой скобке по сопряженному члену

$$\begin{aligned} &\dot{U}_{ac} (\hat{I}_b - \hat{I}_a + \hat{I}_c - \hat{I}_c) + \dot{U}_{ba} (\hat{I}_c - \hat{I}_b + \\ &+ \hat{I}_a - \hat{I}_a) + \dot{U}_{cb} (\hat{I}_a - \hat{I}_c + \hat{I}_b - \hat{I}_b) = \\ &= \dot{U}_{ac} \hat{I}_b - \dot{U}_{ac} \hat{I}_a + \dot{U}_{ac} \hat{I}_c - \dot{U}_{ac} \hat{I}_c + \\ &+ \dot{U}_{ba} \hat{I}_c - \dot{U}_{ba} \hat{I}_b + \dot{U}_{ba} \hat{I}_a - \dot{U}_{ba} \hat{I}_a + \\ &+ \dot{U}_{cb} \hat{I}_a - \dot{U}_{cb} \hat{I}_c + \dot{U}_{cb} \cdot \hat{I}_b - \dot{U}_{cb} \hat{I}_b. \end{aligned}$$

Получим 12 слагаемых, что соответствует двенадцати полюсам. Добавить и вычесть по сопряженному члену только к двум суммам нельзя, так как тогда получится число полюсов напряжения, не удовлетворяющее условию (13).

В двенадцатиполюсном реле число токовых полюсов и полюсов напряжения равно четному числу 6, следовательно, вредная сила равна нулю и одноэлементное трехфазное реле можно осуществить с двенадцатью полюсами.

Можно к одной из сумм или ко всем суммам добавить не по одному, а по 2; 3; 4 и т. д. со-

пряженных членов. Получим одноэлементное реле с числом полюсов больше 12. Вообще нетрудно убедиться в том, что одноэлементное трехфазное реле возможно при числе полюсов

$$2n = 8 + 4m = 4(2 + m), \quad (14)$$

где  $m = 0; 1; 2; 3...$ , т. е. вдвое больше любого четного числа после 4, а именно при 8; 12; 16; 20; 24... и т. д. полюсах.

Найдем еще наименее выгодное число полюсов одноэлементного трехфазного реле, такое число полюсов, при котором сила, приложенная к цилиндру при одних и тех же габаритах реле, будет наибольшей.

Возьмем реле с восемью и шестнадцатью полюсами и сравним их результирующие силы, приложенные к цилиндру при одних и тех же напряжениях и токах. При сравнении качества конструкции необходимо учитывать потребление цепи тока и напряжения реле в вольтамперах.

Расстояние между полюсами определяется суммой толщин двух соседних катушек. Чтобы индукция в зазоре токового полюса осталась постоянной, необходимо число витков токовой обмотки в обоих реле оставить одинаковым. Допустим, что при переходе к шестнадцатиполюсному реле мы не меняем числа витков в обмотке напряжения и оставляем на каждую обмотку те же напряжения. Этим самым шестнадцатиполюсное реле ставится в более выгодные условия при сравнении результирующих сил взаимодействия, так как не принимается во внимание значительно большее потребление на фазу цепи напряжения. Согласно (11) для восьмиполюсного реле

$$P_{рез} = 9k_{w8} |U_1| |I_1| \cos(30^\circ + \varphi_p),$$

а для шестнадцатиполюсного реле

$$P_{рез} = 9k_{w16} |U_1| |I_1| \cos(30^\circ + \varphi_p).$$

Последние выражения отличаются только коэффициентами пропорциональности  $k_w$ . Возьмем два полюса — один полюс напряжения и полюс тока — и вычислим приближенно  $k_w$ . Силу взаимодействия между рассматриваемыми двумя полюсами можно определить по формуле:

$$P = \frac{0,1}{981} I_{um} B_{Im} d \cos(B, I),$$

где

$$I_{um} = \sqrt{2} \frac{U}{N_u} \frac{\delta x}{2\pi} 10^4 \ln \frac{\frac{3\pi r}{2n} - \frac{c}{2}}{\frac{\pi r}{2n} + \frac{c}{2}} -$$

максимальное значение тока, индуцированного в цилиндре потоком полюса напряжения;

$U$  — напряжение, приложенное к обмотке напряжения в  $B$ ;

$r$  — радиус цилиндра в  $см$ ;

$c$  — расстояние между полюсами в  $см$ ;

$\delta$  — толщина цилиндров в  $см$ ;

$\chi$  — проводимость материала цилиндра

$2n$  — полное число полюсов реле;

$N_u$  — число витков обмотки напряжения;

$d$  — высота полюса в  $см$ ;

$B_m = \frac{0,4\pi N I_m}{\delta}$  — максимальное значение индукции в зазоре токового полюса.

Подставив значения  $I_{um}$  и  $B_{Im}$ , получим

$$P = \frac{0,1}{981} \sqrt{2} \cdot \frac{0,4}{2} \cdot 10^4 \frac{\delta \chi}{\delta_1} d \cdot \frac{U}{N_u} \cdot N_I \cdot I_m \cos(B, I) \times \\ \times \ln \frac{\frac{3\pi r}{2n} - \frac{c}{2}}{\frac{\pi r}{2n} + \frac{c}{2}}.$$

В последнем выражении постоянны все величины, кроме множителей

$$\ln \frac{\frac{3\pi r}{2n} - \frac{c}{2}}{\frac{\pi r}{2n} + \frac{c}{2}} \text{ и } \cos(B, I),$$

которые изменяются с изменением  $n$ . Не рассматривая влияния на коэффициент  $k_w$  множителя  $\cos(B, I)$ , что не изменит выводов, так как при одних и тех же размерах конструкции реле

и уменьшение числа полюсов поведет к увеличению  $\cos(B, I)$ , исследуем влияние первого множителя

$$\ln \frac{\frac{3\pi r}{2n} - \frac{c}{2}}{\frac{\pi r}{2n} + \frac{c}{2}}.$$

Этому множителю будет пропорционален и коэффициент  $k_w$ .

Для  $2n=8$  и  $2n=16$  при  $r=1,5$   $см$  и  $c=0,3$   $см$  получаем  $k_{w8}=0,781$  и  $k_{w16}=0,51$ .

Так как число витков и ток взяты одинаковыми, то потребление токовой цепи пропорционально числу полюсов и площади сечения полюса  $S$ , а потребление цепи напряжения пропорционально числу полюсов и обратно пропорционально площади сечения полюса  $S$ . В нашем примере отношение потреблений будет:

$$\frac{Q_{I16}}{Q_{I8}} = \frac{2 \cdot S_{16}}{1 \cdot S_8} = 0,657 \text{ и } \frac{Q_{U16}}{Q_{U8}} = \frac{2}{S_{16}} : \frac{1}{S_8} = 6,06.$$

При увеличении потребления цепи напряжения шестнадцатиполюсного реле на 600% против восьмиполюсного реле (правда, потребление цепи тока уменьшилось на 34%), сила, приложенная к цилиндру в шестнадцатиполюсном реле, составляет  $10 \cdot \frac{0,51}{0,781} = 65\%$  от соответствующей силы для восьмиполюсного реле.

Таким образом, наивыгоднейшее число полюсов равно наименьшему возможному числу полюсов, т. е. 8.

[9. 2. 1949]



# К вопросу о расчете коммутации машин постоянного тока

Кандидат техн. наук, доц. М. Ф. КАРАСЕВ

Томский электромеханический институт инженеров железнодорожного транспорта

Классическая теория коммутации в вопросе определения кривой реактивного поля, дающей исходные положения для проектирования коммутирующего поля, рассматривает одновременное коммутирование такого количества секций, какое соответствует ширине щетки в тангенциальном направлении, причем в каждой секции предполагается изменение тока по закону прямой линии за время, соответствующее теоретическому периоду коммутации  $T$ , а взаимная индуктивность между секциями учитывается при помощи соответствующих коэффициентов.

На рис. 1 выполнено графическое изображение кривой реактивного напряжения для случая  $b_{щ} = 6\beta$ . Построение кривой коммутирующего поля проводится путем нанесения на кривую реактивного поля прямоугольной или трапецевидной линии, — в зависимости от формы кривой реактивного напряжения, — которой и должна соответствовать проектируемая коммутирующая

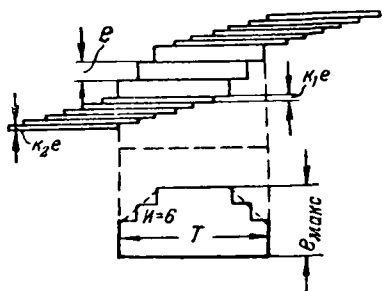


Рис. 1.

В статьях «Экспериментальное исследование процесса коммутации электрических машин постоянного тока на модели» (Электричество, № 7, 1948) и «Природа щеточного контакта электрических машин постоянного тока» (Электричество, № 10, 1948) были изложены данные исследования процесса коммутации на специальной модели. Установлены качественные зависимости процесса ионизации щеточного контакта от ряда факторов. Опытным подтвержден ряд несоответствий выводов классической теории действительному процессу коммутации. Затем на базе опытных данных было дано своеобразное истолкование физического процесса в щеточном контакте и выдвинуто положение, что условием удовлетворительной коммутации является обеспечение работы контакта на границе перехода дугового разряда в искровой (инверсии). Действие добавочных полюсов рассматривалось как фактор добавочной ионизации щеточного контакта и перенесения точки основного перехода тока в область более устойчивого контакта — на набегающий край. Здесь автор в завершение своего исследования излагает свои взгляды на принципы расчета коммутации. Редакция предполагает подвергнуть обсуждению на страницах журнала исследование автора в области коммутации машин постоянного тока.

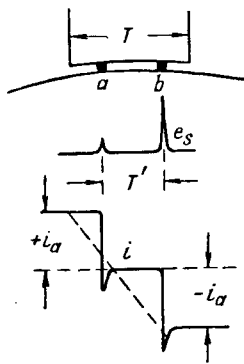


Рис. 2.

э. д. с.  $e_k$ . Естественно, в этом случае, полной коммутации  $e_r$  быть не может. Специалисты, в том числе и М. П. Костенко [Л. 1], утверждают, что несоответствие кривых реактивной э. д. с. является основной причиной неудовлетворительной коммутации в электрических машинах постоянного тока. Что касается максимального значения реактивной э. д. с. то ее находят, пользуясь формулой Шенфера [Л. 2]:

$$e_{r \text{ макс}} = c4\omega v AS \lambda 10^{-8} [б].$$

В этой формуле множитель  $c$  учитывает взаимную индуктивность между секциями, расположенными в разных пазах, и возможное отступление в вычислении  $e_{r \text{ макс}}$  связанное с наличием дробного числа коллекторных делений, перекрываемых щеткой. В частном случае, когда  $n \leq n_c$  и ширина щетки в целое число раз больше коллекторного деления, коэффициент  $c$  получает значение, равное единице, и формула Шенфера обращается в известную формулу Пихельмайера, в которой ширина щетки не учитывается совершенно.

В свое время формула Пихельмайера вызывала споры. Наибольшее сомнение вызывало отсутствие в ней учета влияния ширины щетки на величину  $e_{r \text{ макс}}$ . Данный метод построения кривой реактивного поля, вычисления  $e_{r \text{ макс}}$  и построения кривой коммутирующего поля является в своей основе абсолютно неверным. Рассмотрим наиболее яркие несоответствия этого расчета.

1. В щеточном контакте существуют при сколько-нибудь значительных нагрузках ионные

процессы, которые приводят к резкой неравномерности распределения проводимости этого контакта в тангенциальном направлении щетки. На рис. 2 приведена кривая тока коммутируемой секции, снятая на искусственной модели автора [Л. 3] при помощи катодного осциллографа. Характер кривой тока указы-

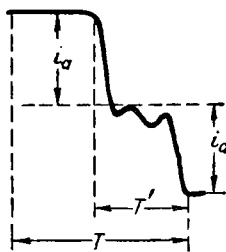


Рис. 3.

вает, что в щеточном контакте существуют два очага ионных процессов и местам ионизации контакта, крайне небольшим по размерам, соответствуют значительные изменения тока, а следовательно, и резко повышенные значения  $e_s$ . Такой характер изменения тока доказывает и кривая тока, снятая Шенфером при медленном поворачивании якоря (рис. 3). По поводу данной кривой К. И. Шенфер писал [Л. 6]: „в короткозамкнутой секции при этих условиях имеются только одни омические падения напряжения, поэтому можно было бы ожидать совершенно симметричной формы кривой тока короткого замыкания  $i$ . В действительности, как видно из рис. 3, *против всяких ожиданий*, получается совершенно несимметричная кривая тока  $i$ , что может быть объяснено неоднородностью контактного сопротивления щеток“. Анализируя кривые тока коммутируемых секций, снятые в свое время различными учеными, следует иметь в виду, что местам ионизации щеточного контакта соответствуют исключительно быстрые изменения тока и если снятие кривой проводится при помощи шлейфового осциллографа, то в этом случае благодаря инерции шлейфа эти резкие изменения тока будут до некоторой степени сглажены, что и подтверждается соответствующими осциллограммами. В заключение по данному пункту следует сказать, что принятое при построении кривой реактивной э. д. с. равномерное изменение тока в секции в течение времени  $T$  ни в какой мере не соответствует действительности.

Наличие ионных процессов в контактном слое щетки дает увеличение  $e_{r \text{ макс}}$  в десятки раз в сравнении со значением  $e_{r \text{ макс}}$ , получаемом по расчету. К тому же следует добавить, что действительный период коммутации  $T'$  всегда меньше  $T$  и что его величина в значительной степени зависит от упругих свойств щетки.

2. Действительный характер кривой реактивной э. д. с. соответствует не рис. 1, а рис. 4. Данная кривая реактивной э. д. с. получена нами на аппарате с неподвижным коллектором и вращающейся щеточной траверзой [Л. 4] при коммутировании трех секций, расположенных в одном пазу. Как видно из рисунка, в действительности пиковые значения  $e_s$  всегда располагаются рядом и благодаря этому величина  $e_{r \text{ макс}}$  не зависит от ширины щетки. Таким образом, мы видим, что, в то время как несоответствия, рассмотренные в п. 1, приводят к резко заниженным значениям  $e_{r \text{ макс}}$ ,



Рис. 4.

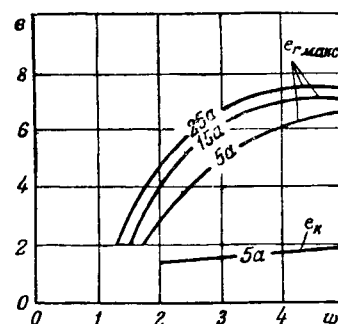


Рис. 5.

несоответствия по п. 2 приводят к обратным результатам.

3. Электродвижущая сила  $e_k$  не компенсирует реактивную э. д. с., а лишь изменяет местоположение токосъема в щеточном контакте. Как уже отмечалось нами, под действием  $e_k$  токосъем искусственно переносится в набегающую часть щетки, работающую в смысле механических вибраций более спокойно. Нами было установлено, что для обеспечения нужного режима работы щеточного контакта в смысле нагрузки сбегающего и набегающего краев щетки необходимо  $e_k$  изменять пропорционально току нагрузки, что и выполняется в реальных машинах посредством последовательного включения обмотки дополнительных полюсов.

Данные же опыты привели к заключению, что при изменении скорости вращения коллектора величина  $e_k$  должна сохранять неизменное значение, если при этом не произошло резких изменений факторов механической природы. Таким образом, отсюда следует сделать вывод, что при увеличении скорости генератора, выполненном при условии сохранения распределения токосъема между набегающей и сбегающей частями щетки, поле коммутационной зоны должно быть уменьшено. Весьма вероятно, что известная склонность к искрению электродвигателей постоянного тока при пуске именно этим и объясняется. Для того чтобы убедитьсяшний раз в том, что  $e_k$  не компенсирует  $e_r$ , на рис. 5 приведены кривые  $e_{r \text{ макс}} = f(\omega)$  для различных значений тока, а также кривая  $e_k = f(\omega)$  для случая полного переноса токосъема в набегающую часть щетки.

Из рис. 5 мы видим, что значения  $e_{r \text{ макс}}$  во много превосходят значения  $e_k$  и закон изменения их при изменении индуктивности секций весьма различен и, следовательно, ни о какой компенсации речи итти не может. Проведенные опыты в этом направлении с полной убедительностью доказывают, что дополнительные полюса не компенсируют реактивного напряжения, а дают лишь возможность осуществить желаемое распределение нагрузки между сбегающим и набегающим краями щетки, что они в действительности и выполняют. Далее опытами было установлено, что более твердые сорта щеток при прочих равных условиях требуют и боль-

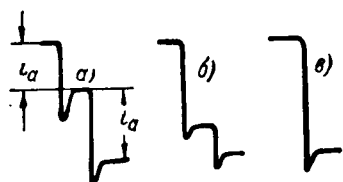


Рис. 6.

ние на процесс коммутации. Большое количество опытов, проведенных нами с узкими и широкими щетками, привело нас к выводу о том, что при широких щетках ( $b_m > \delta$ ) известную роль играет демпфирующее действие соседних секций, что было видно по появлению в кривой  $i$  обратных пик, свидетельствующих о наличии в замкнутых секциях токов, образующихся в них как во вторичных закороченных витках трансформатора, и это должно в известной мере способствовать улучшению процесса коммутации. Но в то же время было установлено, что улучшение процесса коммутации при применении более широких щеток связано, главным образом, не с демпфирующим действием закороченных соседних секций, а с уменьшением механических вибраций, связанных с увеличением ширины щетки в тангенциальном направлении.

Подводя итоги в части отмеченных выше несоответствий в теории расчета дополнительных полюсов, можно утверждать, что лежащие в основе расчета представления о неизменности величины контактного сопротивления и независимости его от плотности тока приводят к такому положению, когда в результате проведенных вычислений по данному методу скорее можно прийти к ложным выводам, чем получить данные, соответствующие в какой-то мере действительному положению вещей. Вполне понятными поэтому являются попытки О. Г. Вегнера [Л. 5] отказаться от рассмотрения уравнения коммутации, в основе которого лежит постоянство контактного сопротивления, а взять за основу при составлении уравнения коммутации постоянство падения напряжения в щеточном контакте.

Вне всякого сомнения, постоянство падения напряжения в щеточном контакте значительно ближе к истине, нежели постоянство сопротивления контакта. При наличии  $\Delta U = \text{const}$ , как отмечает О. Г. Вегнер, становится невозможной так называемая коммутация сопротивлением, и роль щетки сводится к фиксированию начала и конца периода коммутации, причем ток в коммутируемых ветвях в течение почти всего времени коммутации одинаков.

С данными положениями необходимо согласиться, так как это находит полное подтверждение в опытах О. В. Вегнера, во всех многочисленных опытах автора, а также и в опытах К. И. Шенфера.

В задачу О. Г. Вегнера входило не только математическое оформление расчета на основе новых положений, но и экспериментальная проверка новой теории. С этой целью был поставлен опыт на искусственной установке с та-

кого значения  $e_k$ , что также вполне согласуется с практикой.

В заключение по данному вопросу следует отметить, что увеличение ширины щетки оказывает

значительное влияние на процесс коммутации. Большое количество опытов, проведенных нами с узкими и широкими щетками, привело нас к выводу о том, что при широких щетках ( $b_m > \delta$ ) известную роль играет демпфирующее действие соседних секций, что было видно по появлению в кривой  $i$  обратных пик, свидетельствующих о наличии в замкнутых секциях токов, образующихся в них как во вторичных закороченных витках трансформатора, и это должно в известной мере способствовать улучшению процесса коммутации. Но в то же время было установлено, что улучшение процесса коммутации при применении более широких щеток связано, главным образом, не с демпфирующим действием закороченных соседних секций, а с уменьшением механических вибраций, связанных с увеличением ширины щетки в тангенциальном направлении.

кими коммутационными параметрами, при которых сбегающий край щетки был полностью обесточен. Как следует из наших опытов при отсутствии э. д. с.  $e_k$  кривая тока коммутируемой секции имеет вид, представленный на рис. 6, а. В этом случае в начале процесса коммутации имеет место один токоспад, а в конце другой, несколько больший. При наличии в контуре коммутируемой секции регулируемой по величине и направлению э. д. с.  $e_k$  токоспады набегающего и сбегающего краев щетки можно менять произвольно. Изменяя как величину, так и направление  $e_k$ , можно весь токоспад перенести либо только в набегающую часть щетки, либо в сбегающую. Причем при изменении  $e_k$  по величине и направлению горизонтальная линия в кривой тока будет перемещаться так, как это показано на рис. 6, б и в. В опыте О. Г. Вегнера значение и направление  $e_k$  было взято таким, что весь токоспад был перенесен в набегающую часть щетки. На протяжении всей статьи О. Г. Вегнер проводит ту мысль, что этот вид коммутации является идеальным. По этому поводу он пишет: «Непосредственной экспериментальной проверке подвергались следующие положения, вытекающие из нашего понимания физической природы коммутации:

а) независимость скорости коммутации от скорости вращения коллектора;

б) возможность такого расчета условий коммутации, при которых собственно коммутация завершается за время, значительно меньшего периода перекрытия щеткой коллекторных пластин, затем сила тока в коммутируемой секции остается постоянной, а сбегающий край щетки не нагружен током».

Далее: «Повидимому при экспериментальном налаживании коммутации и при регулировке добавочных полюсов бессознательно осуществляются условия, близкие к идеальным и сформулированным выше, так как при виде коммутационных кривых, отличном от идеального, безыскровая коммутация вряд ли возможна».

И в заключении: «Из изложенного представления вытекает указанный выше способ обеспечения безыскровой коммутации, применение которого может позволить преодолеть серьезные трудности на пути сооружения мощных коллекторных машин».

Все приведенные здесь высказывания относительно идеальной коммутации с совершенно разгруженным сбегающим краем щетки находятся в явном противоречии с действительностью. В качестве примера можно привести результаты опытов Шенфера, проведенные с помощью разрезной щетки. Из рис. 7 видно, что при изменении тока в обмотке дополнительных полюсов происходит перераспределение нагрузки между сбегающим и набегающим краями щетки, в то время как в средней части щетки ток при этом остается неизменным. При нормальном же воз-



буждении дополнительных полюсов нагрузка набегающего края щетки характеризуется ординатой  $cd$ , а сбегающего ординатой  $ad$ , и, следовательно, данный опыт со всей несомненностью устанавливает, что наилучшим условием коммутации не соответствует полная разгрузка сбегающего края щетки. Правда, в этом случае нагрузка сбегающего края меньше, чем набегающего, что вполне понятно, так как набегающая часть щетки работает более спокойно в смысле механических вибраций и поэтому допускает большую нагрузку в сравнении со сбегающей частью щетки. Следовательно, утверждать о необходимости перенесения всего токоспада в набегающую часть щетки нет никаких оснований. Нужно отметить, что в машинах, предназначенных для толчкообразных нагрузок, имеются данные считать целесообразным перекоммутацию в более резкой степени, но все же и в этом случае добиваться перенесения всего токоспада в набегающую часть щетки нет оснований. По этому поводу, на основе своих опытов, Шенфер [Л. 6] замечает: «При «толчке» нагрузки ток в сбегающей половине щетки нарастает значительно быстрее, чем в набегающей половине. Эта разница нарастания максимальна в первый промежуток времени, когда скорость нарастания нагрузочного тока наибольшая. По окончании процесса нарастания тока величины токов в обеих половинах щетки сближаются». В заключительной части цитируемой статьи указано на необходимость для машин с толчкообразной нагрузкой соответственного усиления потока дополнительных полюсов до предела, позволяющего работать при спокойной нагрузке без искрения, и, конечно, даже такой режим работы машины не исключает известной нагрузки сбегающего края щетки, что подтверждается приведенными в статье осциллограммами.

Таким образом, указанные здесь доводы дают основание заключить, что в вопросе идеального режима работы щеточного контакта О. Г. Вегнер не прав. Рассмотренный им случай, хотя и представляет известный интерес, но не может быть принят за идеальный. Экспериментальная проверка, проведенная О. Г. Вегнером, показала, что уравнение тока, в основе которого положена неизменность падения напряжения в щеточном контакте, дает кривую тока, близкую к полученной экспериментальным путем. Это приводит к тому выводу, что формула тока коммутируемой секции, в основе которой положено постоянство переходного падения напряжения, значительно больше отвечает действительности, чем формула классической теории коммутации.

Вне всякого сомнения условие  $\Delta U = \text{const}$  ближе к истине, чем  $r_b = \text{const}$ , но тем не менее возможны случаи, когда и принятие  $\Delta U = \text{const}$  может привести к заметным ошибкам.

О. Г. Вегнер так расценивает эту возможность: «В переходном слое мы имеем дело как с непосредственным механическим контактом, электрические свойства которого характеризуют-

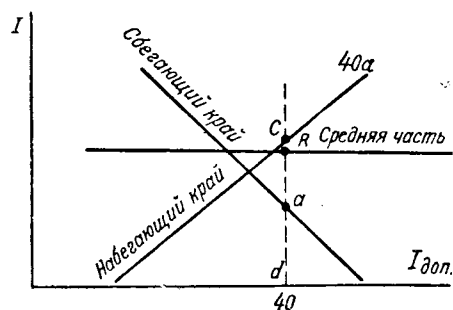


Рис. 7.

ся условием  $r_b = \text{const}$ , так и с более сложным процессом — с электрическим контактом, свойства которого определяются условием  $\Delta U = \text{const}$ . В зависимости от режима работы переходного контакта, свойства его приближаются к той или другой характеристике».

Как вытекает из работы автора, кривые, относящиеся к процессу коммутации [ $e_{s \text{ макс}} = f(I)$ ;  $e_{s \text{ макс}} = f(\omega)$ ;  $e_{s \text{ макс}} = f(n)$ ], показывают, что при токах до 3—5 а на щетку очертания их до некоторой степени подтверждают классическую теорию коммутации, а при более значительных нагрузках благодаря установлению в контактом слое щетки ионных процессов характер кривых становится совершенно иным.

Рассматривая все полученные нами зависимости, а равно и кривые  $\Delta U = f(I)$  для разных сортов щеток под углом зрения  $\Delta U = \text{const}$ , полученные другими авторами, следует сказать, что это условие, во-первых, совершенно не соответствует небольшим плотностям тока, а во-вторых, для разных сортов щеток в зависимости от характера ионного процесса падение напряжения может либо несколько возрасти, либо уменьшиться при увеличении тока, и если оно принимается неизменным, то в этом случае неучтенным окажется и вид ионного процесса в контактом слое щетки, что следует рассматривать, как серьезный недостаток данной теории.

Как следствие допущения  $\Delta U = \text{const}$ , скорость изменения тока в коммутируемой секции, как указывает О. Г. Вегнер, не зависит от свойств щеток, что, как известно, ни в какой степени не соответствует действительности. Как показали наши опыты, сорт щеток при всех прочих одинаковых параметрах, определяющих характер процесса коммутации, оказывает сильное влияние как на начало процесса ионизации, так и на величину  $e_{s \text{ макс}}$ , от которых и зависит работа дополнительных полюсов.

Таким образом, мы видим, что и теория коммутации, имеющая в своей основе  $\Delta U = \text{const}$ , страдает весьма существенными недостатками и поэтому должна быть отвергнута.

С нашей точки зрения в основу расчета процесса коммутации следует положить опытные кривые ионизации щеточного контакта для различных марок щеток. Громадное количество опытов, проведенных на искусственной установке, привело нас к выводу о существовании двух,

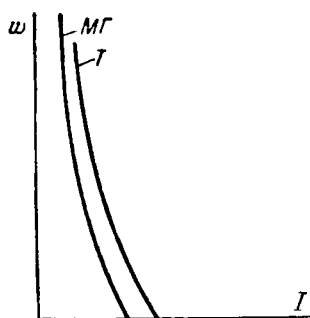


Рис. 8.

различных по природе, видов искрения в щеточном контакте машин постоянного тока. Оба вида искрения, как показали опыты, зависят от степени нагрузки щеточного контакта и сорта щеток, но, помимо этого, один вид искрения обусловлен преимущественно факторами механической природы, а другой — параметрами коммутируемых секций.

Если в опытной установке создать условия для вибрации щетки, то в этом случае характер искрения в щеточном контакте и его интенсивность будут сравнительно мало зависеть от параметров коммутируемых секций. На рис. 8 нанесены пограничные линии, отмечающие начало ионизации контакта, фиксируемое по резким броскам стрелки электронного пик-вольтметра. Как видно из данных кривых, при увеличении числа витков коммутируемой секции процесс ионизации наступает при меньших значениях тока, что является вполне понятным. Необходимо отметить, что изменения тока ионизации контакта, связанные с изменением числа витков коммутируемой секции, незначительны, а это дает основание заключить, что рассматриваемый фактор для данной ионизации не является основным.

Искрение этого рода будет зависеть от скорости вращения коллектора, главным образом, лишь в той мере, в какой при разных окружных скоростях коллектора изменяются характер и степень вибрации щеток. Влияние же сорта щеток, видимо, обусловлено, с одной стороны, тем, что различным материалам вибрирующих контактов соответствуют различные минимальные напряжения для возникновения вольтовой дуги, а с другой стороны, тем, что в смысле вибраций разные марки щеток ведут себя различно. Сильнее вибрируют твердые сорта щеток. Вполне понятно, что рассчитать искрение этого рода, безусловно, нельзя. В нормальных условиях эксплуатации машин коллектор и щеточный аппарат должны быть в таком состоянии, чтобы этот вид искрения не проявлял себя заметным образом.

Но, помимо искрения механической природы, в щеточном контакте может существовать дуговой разряд, соответствующий преимущественно сбегающему краю щетки и определяемый, главным образом, следующими факторами: а) индуктивностью секции; б) условиями взаимной индуктивности коммутируемых секций; в) полем ком-

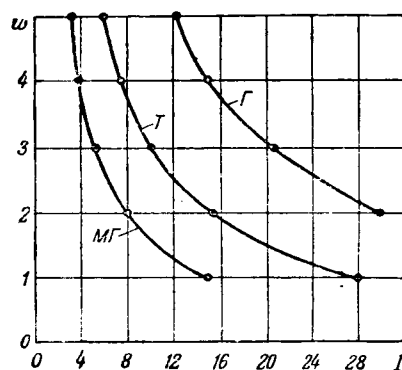


Рис. 9.

мутационной зоны; г) степенью нагрузки контакта током; д) сортом щеток.

Если создать условия опыта в их простейшем виде, т. е. без поля коммутационной зоны и явления взаимной индуктивности между секциями, и для различных сортов щеток при переменном числе витков зафиксировать начало ионного процесса по экрану осциллографа, то в этом случае все точки, получаемые из опыта, расположатся на кривых гиперболического вида (рис. 9), для которых существует уравнение

$$I \cdot w = \text{const.}$$

Таким образом, при наличии удовлетворительных условий работы щетки в смысле механических вибраций возникновение ионного процесса, соответствующего окончанию процесса коммутации для секций, располагаемых на одном и том же якоре, определяется лишь числом ампервитков коммутируемой секции.

Этот опыт со всей убедительностью доказывает, что ионизация контакта в этом случае обусловлена исключительно магнитным потоком коммутируемой секции, ибо при слабо насыщенных зубцах член  $Iw$  будет пропорционален магнитному потоку секции, а следовательно и энергии этого потока.

Если же написать это выражение для случая, когда могут изменяться не только числа витков, но и удельная магнитная проводимость паза и длина якоря, то тогда для каждого сорта щеток уравнение пограничной зоны ионизации, обусловленной коммутационными факторами, будет иметь вид:  $I^2 w^2 \lambda l = \text{const} = K$ , так как  $A^2 = I^2 L_c$ , где  $L_c = \lambda w^2 l$  — индуктивность секции.

Для параметров якоря в наших опытах эти коэффициенты для меднографитовой, твердой угольной и графитовой щеток получились следующими:  $K_{MG} = 15$ ;  $K_T = 30$ ;  $K_G = 60$ . Данный опыт совершенно четко подтверждает, что расчет коммутации, не учитывающий сорт щеток (уравнение О. Г. Вегнера), не может заслуживать внимания.

Нужно полагать, что работа щеточного контакта вряд ли может быть обеспечена в зоне оп-

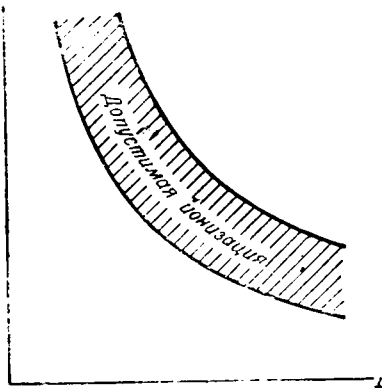


Рис. 10.

существования ионизации. По всей вероятности существует область допустимой ионизации контакта (рис. 10), в границах которой электрический износ коллектора и щеток при наличии дуги подъема или вольтовой дуги не будет значителен, и эту область следует уточнить посредством проведения широких экспериментальных исследований. Весьма возможно, что и размеры коллектора здесь также играют некоторую роль; трудно предполагать, чтобы в машинах с резко различными размерами можно было обусловить одинаковое распыление щеток и коллекторных пластин, что, как известно, зависит от интенсивности ионного процесса, определяемого в данном случае величиной энергии магнитного потока коммутируемой секции.

С целью выяснения роли пазовых демпферов нами закладывались в пазы якоря, рядом с коммутируемой секцией, короткозамкнутые витки и на основе опыта находились значения  $I\omega$ , соответствующие начальной стадии ионизации щеточного контакта. В зависимости от параметров короткозамкнутых витков достигалась различная степень демпфирования пазового поля, причем в этом случае значение члена  $I\omega$  всегда увеличивалось. Так, например, демпфирование при помощи короткозамкнутой секции в 5 витков, выполненной тем же проводом, что и коммутируемая секция, обусловило следующие значения:

$$K'_{м2} \approx 30; \quad K'_T \approx 60; \quad K'_2 = 120.$$

Сопоставляя полученные результаты для члена  $I\omega$  со значениями его при отсутствии демпфирования, можно сделать вывод, что при коммутировании демпфированной секции половина энергии магнитного поля секции гасилась в демпфере, а другая половина обусловила ионизацию щеточного контакта.

То обстоятельство, что соотношения между коэффициентами  $K$  для случая коммутации секции с демпфером и без него для всех сортов щеток получились одинаковыми:

$$\frac{K_{м2}}{K'_{м2}} = \frac{15}{30} = \frac{K_T}{K'_T} = \frac{30}{60} = \frac{K_2}{K'_2} = \frac{60}{120} = \frac{1}{2},$$

еще лишний раз убеждает в правильности вы-

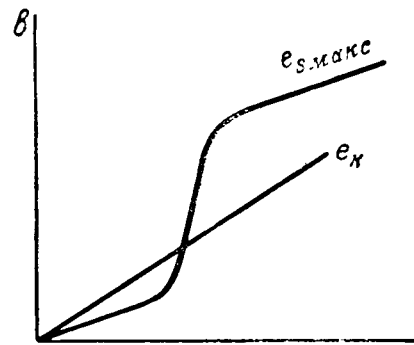


Рис. 11.

сказанной здесь точки зрения относительно природы искрения, обусловленного коммутационными факторами.

На основе изложенного здесь взгляда относительно расчета искрения II рода выражение  $I^2\omega^2\lambda l$  для различных марок щеток следует дополнить практическим коэффициентом, учитывающим ширину щетки, которая, как уже указывалось выше, может, с одной стороны, обусловить демпфирующее действие одновременно закороченными секциями и, с другой, — различные условия работы щетки в смысле механических вибраций.

Точно также в этом выражении член  $I$  следует принять равным не полному току  $2I_a$ , а тому току, который соответствует сбегающему краю щетки, величина которого будет в значительной степени зависеть от настройки дополнительных полюсов.

Член  $I^2\omega^2\lambda l = K$  для каждого сорта щеток при различных значениях тока, видимо, будет иметь разные величины (что можно будет уточнить лишь опытным путем посредством установления предельно допустимого электрического износа коллектора и щеток). Следовательно, найдя зависимость  $K = f(I, \omega, \lambda, l)$  для различных марок щеток при наиболее часто встречающемся отношении ширины щетки к величине коллекторного деления и при наиболее целесообразном распределении тока между сбегающим и набегавшим краями щетки можно достичь удовлетворительной для практических целей ясности в вопросе расчета коллектора и щеток на искрение II рода.

Что касается расчета дополнительных полюсов, то нам кажется, его следует проводить независимо от расчета искрения II рода, так как э. д. с.  $e_k$  не компенсирует реактивное напряжение, а законы изменения  $e_k$  и  $e_r$  в зависимости от ряда факторов различны. Так, например,  $e_r$  при увеличении тока изменяется в соответствии с  $e_{с.макс}$  (рис. 11), в то время как  $e_k$  как функция тока, подчиняется закону прямой линии. Далее  $e_{с.макс}$  в зависимости от числа витков коммутируемой секции изменяется по кривым восходящего вида (рис. 5), тогда как на значениях  $e_k$  мало сказывается увеличение индуктивности секции.

Для  $e_k$  в общем виде можно написать следующее выражение:

$$e_k = IK_{\omega} K_p K_L.$$

В этой формуле  $K_{\omega}$  — коэффициент, характеризующий сорт щеток. Как уже было подчеркнуто ранее, различные сорта щеток при одинаковых условиях коммутации требуют различных значений  $e_k$  и, следовательно, соотношения между  $e_k$  для разных сортов щеток необходимо установить и в данной формуле учесть его коэффициентом  $K_{\omega}$ . Коэффициент  $K_p$  зависит от распределения нагрузки между сбегающим и набегающим частями щетки. Ранее было отмечено, что в зависимости от режима работы машины степень нагрузки различных частей щетки следует изменять, что и учитывается коэффициентом  $K_p$ . Коэффициент  $K_L$  должен корректировать значение  $e_k$  в зависимости от параметров, обуславливающих индуктивность секции ( $\omega, \lambda, l$ ). Как уже указывалось ранее, эти параметры оказывают сравнительно небольшое влияние на величину  $e_k$ , но не учитывать этого, безусловно, нельзя. Следует опытным путем найти зависимость между  $e_k$  и  $\omega, \lambda, l$  и учесть это при помощи коэффициента  $K_L$ . Найденное таким образом значение  $e_k$  будет, как нам кажется, при условии отсутствия значительных вибраций, близким к истинному значению.

**Выводы.** 1. Расчет дополнительных полюсов, в основе которого имеет место допущение постоянства сопротивления щеточного контакта, следует признать совершенно неверным.

2. Расчет процесса коммутации, в основе которого положено допущение постоянства падения напряжения в контактном слое, также далек от истины.

3. Искрение, обусловленное коммутационными факторами для каждого сорта щеток и переменных параметров железного тела якоря, зависит от числа ампервитков коммутируемых секций.

4. Расчет искрения II рода следует проводить, исходя из величины энергии магнитного потока коммутируемой секции.

5. Расчет дополнительных полюсов необходимо проводить, во-первых, с учетом нагрузки контакта током, во-вторых, с учетом сорта щеток, распределения нагрузки между краями щетки и индуктивности секций, что должно быть учтено при посредстве коэффициентов, определяемых опытным путем.

#### Литература

1. М. П. Костенко. Основные вопросы коммутации машин постоянного тока и ее экспериментального исследования. Труды Ленинградского индустриального института, № 2, 1937.
2. К. И. Шенфер. Динамомашин и двигатели постоянного тока, 1937.
3. М. Ф. Карасев. Экспериментальные исследования процесса коммутации электрических машин постоянного тока на модели. Электричество, № 7, 1948.
4. М. Ф. Карасев. Природа щеточного контакта машин постоянного тока. Электричество, № 10, 1948.
5. О. Г. Вегнер. О некоторых вопросах коммутации тока при помощи коллектора и щеток. Труды Ленинградского индустриального института, № 7, 1938.
6. К. И. Шенфер и С. Б. Юдицкий. Коммутация при толчкообразной нагрузке в электрических машинах постоянного тока. Издательство академии наук, СССР, 1935.

[13. 11. 1949]



# Рудничный электровоз переменного тока с конденсаторными двигателями

Доктор техн. наук, проф. В. Е. РОЗЕНФЕЛЬД, кандидат техн. наук М. И. КРАЙЦБЕРГ и инж. Б. Н. ТЕХМЕНЕВ

Московский энергетический институт им. Молотова

Для рудничной электровозной откатки в угольных шахтах применяется система постоянного тока. Несмотря на повсеместное ее распространение, эта система имеет существенные недостатки, заключающиеся в наличии промежуточного звена между общей системой энергоснабжения и электровозом — преобразовательных подстанций — и в применении на подвижном составе тяговых двигателей постоянного тока, требующих внимательного наблюдения и ухода в эксплуатации. Преобразование тока осуществляется либо ртутными выпрямителями, либо двигатель-генераторами. В обоих случаях преобразование энергии связано с дополнительными эксплуатационными расходами, потребностью в квалифицированной рабочей силе для наблюдения за агрегатами и их ремонтом, с повышением расхода электрической энергии на преобразование.

Главным же недостатком системы постоянного тока является понижение надежности, вызванное наличием преобразовательного элемента. В эксплуатации имеет место частый выход из строя стеклянных ртутных выпрямителей.

Поэтому весьма желательным является применение электровозов переменного тока нормальной частоты, так как при этом отпадает необходимость в преобразовательных подстанциях. Однако, перевод на переменный ток встречает препятствия, заключающиеся, главным образом, в трудности осуществления тягового двигателя однофазного тока. Существующие системы электровозов переменного тока мало приемлемы для рудничной откатки вследствие сложности устройства и громоздкости оборудования. Коллекторная машина переменного тока промышленной частоты, как известно, работает не вполне удовлетворительно на тяговых режимах вследствие плохой коммутации и значительной величины реактивного тока, ухудшающего  $\cos \varphi$  всей системы.

Отмечены недостатки распространенной системы рудничной электровозной откатки на постоянном токе, а также трудности, существовавшие для перехода на переменный ток, вследствие сложности устройства электровоза переменного тока. Показаны технико-экономические и эксплуатационные преимущества перевода электровозной откатки на переменный ток в случае применения для электрической тяги конденсаторных двигателей. Отмечаются большие перспективы внедрения конденсаторной системы тяги в угольной промышленности, в черной металлургии, на транспортировке леса и торфа и в других отраслях народного хозяйства.

Электровозы с расщепителями и преобразователями фаз или с двигателями с двумя роторами не приемлемы для шахтной откатки вследствие сложности в постройке и эксплуатации.

Новые возможности для решения проблемы перевода электровозной откатки на переменный

ток открылись в связи с предложением акад. В. С. Кулебакина (1934 г.) применять для электрической тяги конденсаторные двигатели, что дает возможность использовать многофазный двигатель при питании от однофазной сети. Как известно, конденсаторный двигатель представляет собой обычно двухфазную асинхронную машину, питание которой осуществляется от однофазной сети по схеме рис. 1, а. Одна из обмоток статора (главная) присоединена непосредственно к сети, а вторая (конденсаторная) — последовательно с конденсатором, которым достигается сдвиг напряжения по фазе на зажимах этой обмотки. При определенных условиях на обмотках статора может быть получена симметричная система напряжений. Если двигатель выполнен с равным числом витков в главной и конденсаторной фазах, то симметричная система напряжений получается для скольжений, при кото-

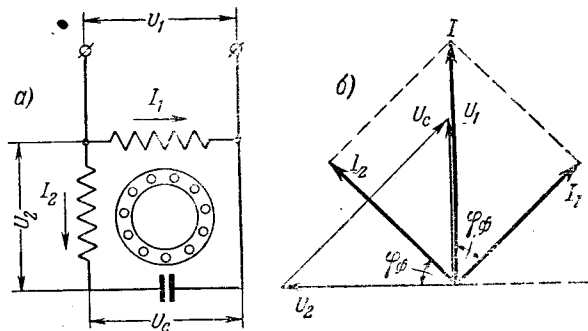


Рис. 1. Схема конденсаторного двигателя и его векторная диаграмма.

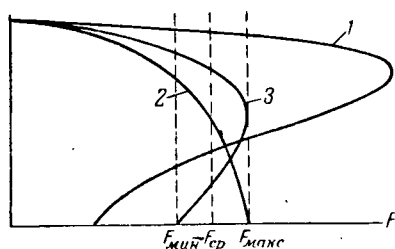


Рис. 2. Пусковые характеристики.

рых двигатель в нормальном двухфазном режиме имеет  $\cos \varphi = 0,707$ , т. е.  $\angle \varphi = 45^\circ$ , как это видно из векторной диаграммы рис. 1,б.

Для получения симметрии напряжений, кроме того, требуется определенная величина емкости:

$$x_c = \frac{U_c}{I_2} = \frac{\sqrt{2}U_1}{I_2}.$$

При симметричном режиме ток сети  $I$ , равный геометрической сумме фазовых токов  $I_1$  и  $I_2$ , совпадает по фазе с напряжением сети  $U_1$ , т. е. двигатель имеет  $\cos \varphi = 1$ .

Если для определенного скольжения соответствующим выбором параметров двигателя и емкости конденсатора обеспечен симметричный режим, то при изменении скольжения происходит нарушение симметрии и степень использования машины ухудшается. При регулировании же величины емкости отклонение от симметрии может быть уменьшено.

В рудничной откатке, где обычно имеет место профиль равного сопротивления и нагрузки двигателя в груженом и порожнем направлениях сравнительно близки, условия для применения конденсаторного двигателя особенно благоприятны. Здесь практически можно ограничиться двумя ступенями емкости: одной — для пускового режима и одной — подобранной для некоторого среднего режима движения. Этим одновременно обеспечивается высокий  $\cos \varphi$  электровоза, близкий к единице как при пуске, так и во время движения. При соответствующем подборе емкости угол  $\varphi$  может быть опережающим, что весьма важно, так как при этом сеть разгружается от реактивных токов и уменьшается падение напряжения до токоприемников электровозов. Для асинхронных двигателей, как известно, момент зависит от квадрата напряжения; поэтому в случае перегрузки, и особенно при пуске, когда имеет место большой ток и требуется максимальный момент, разгрузка сети от реактивных токов позволяет поддерживать умеренные величины падения напряжения, что способствует осуществлению удовлетворительных пусковых характеристик.

Одним из основных вопросов в проблеме применения конденсаторных двигателей для тяги вообще и в частности для рудничных электровозов является система пуска и регулирования скорости. Для экономического регулирования скорости возможно применение либо полюсопереключаемых двигателей, либо каскадно-па-

раллельного переключения двух двигателей электровоза. Для целей пуска возможно либо изменение двигателей с фазовым ротором и пусковым реостатом, либо короткозамкнутых двигателей с ротором с двойной клеткой или глубоким пазом.

Наибольшая простота конструкций двигателей и пускорегулирующей аппаратуры достигается при короткозамкнутых полюсопереключаемых двигателях.

При этом, однако, возникают трудности, связанные с пусковыми свойствами короткозамкнутых машин. Механические характеристики нормальных короткозамкнутых машин не удовлетворяют требованиям тяги из-за высокой кратности максимального момента по отношению к начальному пусковому. Пуск электровоза с такими двигателями неизбежно связан с боксованием, так как при малых скольжениях сила тяги значительно превосходит начальную (кривая 1, рис. 2). Начальная же сила тяги должна быть достаточно велика для того, чтобы обеспечить трогание поезда с места.

Поэтому при проектировании двигателя основная задача заключалась в выборе характеристик с минимальным отношением  $F_{\max}:F_{\text{ср}}$  (рис. 2). Такие характеристики, подобные характеристикам, изображенным кривой 3, рис. 2, могут быть достигнуты путем применения двухобмоточного полюсопереключаемого двигателя с латунной клеткой ротора и глубоким пазом. Еще более благоприятной была бы характеристика 2, рис. 2; однако, осуществление ее связано с усложнением конструкции двигателя и ухудшением его к.п.д. из-за повышенного скольжения.

В полюсопереключаемых двухобмоточных двигателях, т. е. двигателях с самостоятельными обмотками для каждого числа полюсов, параметры каждой обмотки могут быть выбраны независимыми и наиболее целесообразными для каждого режима. Применение полюсопереключаемых машин снижает пусковой ток, понижает величину необходимой емкости, уменьшает пусковые потери, что особенно важно, поскольку они выделяются в роторах двигателей. Таким образом, переключение полюсов при короткозамкнутых двигателях помимо осуществления двух экономических ступеней скорости значительно облегчает решение вопросов пуска электровоза.

Процесс пуска осложняется еще колебаниями напряжения в контактной сети, влияющими на вращающий момент двигателя, и различными величинами коэффициента сцепления в разных условиях. Необходимо, чтобы электровоз мог развивать тяговое усилие, соответствующее наибольшему расчетному коэффициенту сцепления, при наименьшем напряжении сети. В то же время должна быть обеспечена возможность пуска электровоза при плохих условиях сцепления и номинальном напряжении на его токоприемнике.

Следовательно, вращающий момент двигателя и силы тяги должны быть рассчитаны по первому режиму (т. е. при минимальном напряже-

нии и наибольшем коэффициенте сцепления), но необходимо, чтобы машинист имел возможность в случае надобности значительно уменьшать пусковую силу тяги. Если принять изменение коэффициента сцепления в пределах от 0,1 до 0,2 и максимальное падение напряжения до 20% и учесть, что вращающий момент двигателя пропорционален квадрату напряжения, то необходимое наибольшее снижение пусковой силы тяги окажется равным  $\frac{0,2}{0,1 \cdot 0,82^2}$  или приблизительно трем.

Для осуществления подобного снижения силы тяги целесообразно применить включение реостатов в цепь статора, падение напряжения в которых снижает подводимое к фазам двигателя напряжение. Реостат может быть включен как в конденсаторную фазу, так и в линейный провод. Включение в линейный провод дает более значительное снижение момента. Для получения нескольких ступеней регулирования пусковой силы тяги должно быть предусмотрено несколько ступеней реостатов.

Таким образом, ограничение силы тяги и ее регулирование в заданных пределах по сцеплению при нормальном и повышенном напряжении сети достигается путем применения двигателя с завышенным моментом и регулируемого сопротивления в цепи статора. При этом, как показали опыты, получается удовлетворительный пуск при колебаниях напряжения сети в пределах от 300 до 400 в.

Несмотря на то, что удается преодолеть главные трудности, связанные с пуском электровоза с короткозамкнутыми двигателями, этот электровоз имеет все же некоторые существенные недостатки. Основными из них являются большие нагревающие потери в двигателях во время пуска (так как все пусковые потери выделяются в роторе) и трудности регулирования пускового момента во время разгона при маневровой работе. Поэтому в дальнейшем наряду с электровозом с короткозамкнутыми двигателями требуется, вероятно, еще и другой тип электровоза с фазовым ротором, одним числом полюсов и каскадным соединением для получения пониженной скорости. Такой электровоз будет особенно целесообразным в случаях наличия большой маневровой работы.

Не исключена возможность успешного применения полюспереключаемого двигателя для легких, маломощных электровозов с одной движущей осью и одним тяговым двигателем. Система с одним двигателем могла бы оказаться перспективной и для двухосных электровозов, если бы удалось осуществить передачу от одного двигателя на обе движущие оси.

На основе изучения системы электровоза с конденсаторными двигателями по заданию Министерства угольной промышленности западных районов СССР в 1946 г. Московским энергетическим институтом им. Молотова совместно с заводом «Динамо» им. Кирова был разработан проект и построен опытный электровоз, который после предварительных испытаний на испытатель-



Рис. 3. Установка тягового двигателя на испытном электровозе.

ной ветке в Москве и некоторых последующих улучшений был передан в 1947 г. одной из шахт Донбасса, где успешно прошел шахтные испытания.

Электровоз построен на базе механической части серийного 7-тонного электровоза постоянного тока типа ПТР-2 и имеет две ходовые скорости — 5,6 и 11,5 км/час. Он оборудован двумя асинхронными конденсаторными короткозамкнутыми двигателями. Для опытного электровоза применены крановые двигатели типа КТС пятой величины с измененной обмоткой статора. Расположение двигателей вертикальное (рис. 3). Тяговый двигатель установлен на промежуточной раме, которая с помощью осевых подшипников опирается одной стороной на ось колесной пары, а с другой стороны посредством обычной пружинной подвески связана с рамой электровоза. Такая конструкция гарантирует постоянство условий зацепления. Передача вращения осуществляется двухступенчатым редуктором (с общим передаточным числом  $\mu=11$ ), состоящим из двух пар зубчатых колес — цилиндрической и конической. Одна коническая шестерня насажена на вал двигателя, а другая совместно с малой цилиндрической шестерней насажена на дополнительный промежуточный вал. Большая цилиндрическая шестерня посажена, как обычно, на колесную пару.

Тяговый двигатель имеет две независимые обмотки на разные числа полюсов ( $2p=12$  и  $2p=6$ ) для возможности осуществления двух ходовых скоростей электровоза. Каждая обмотка выполнена двухфазной согласно рис. 1 с одинаковым числом витков в главной и конденсаторной фазах. Двигатель имеет самовентиляцию, которая обеспечивает отвод пусковых потерь от ротора помимо статора. Основные данные двигателя, отнесенные к часовой мощности при симметричном двухфазном питании, следующие:

$$\begin{aligned} 2p &= 12; & P &= 6,5 \text{ кВт}; & I &= 19 \text{ а}; \\ 2p &= 6; & P &= 13,0 \text{ кВт}; & I &= 24 \text{ а}; \\ U &= 380 \text{ в}; & \cos \varphi &= 0,62; \\ U &= 380 \text{ в}; & \cos \varphi &= 0,89 \end{aligned}$$

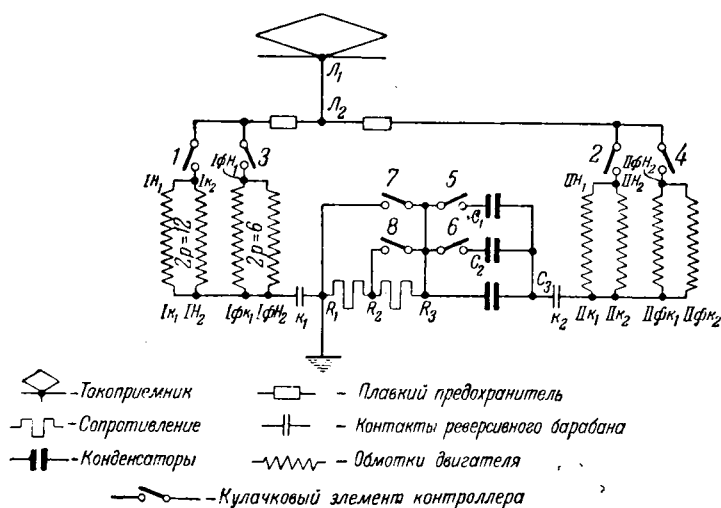


Рис. 4. Электрическая схема конденсаторного электровоза.

Поз.	Контакты								Емкость, мкф
0					5	6			
1	1	2			5	6			750
2	1	2			5	6		8	750
3	1	2			5	6	7		750
4	1	2				6	7		350
5	1	2					7		215
X <sub>1</sub>	1					6	7		
X <sub>2</sub>					5	6			
X <sub>3</sub>					5	6			
6		3	4		5	6			750
7		3	4		5	6	7		750
8		3	4				7		215

Применением независимых обмоток достигнуто предельное упрощение схемы, что позволило использовать для электровоза контроллер электровоза постоянного тока типа КМР-5 с небольшим изменением кулачкового вала.

В электрической схеме (рис. 4) применен групповой принцип переключения элементов. Обмотки двигателей объединены в две группы (обмотки главных фаз обоих двигателей показаны в левой части рис. 4, а конденсаторных фаз с правой стороны). Контакт 1 контроллера включает одновременно 12-полюсные обмотки одной фазы обоих двигателей, а контакт 3 соответственно 6-полюсные обмотки обоих двигателей (одной фазы). Аналогично контакторы 2 и 4 включают 12-полюсные и 6-полюсные обмотки другой фазы. Обмотки двигателей всегда приключены к сети параллельно. Переход с одной скорости на другую осуществляется с разрывом цепи.

Регулирование пускового момента осуществляется посредством сопротивлений  $R_1 R_2$  и  $R_2 R_3$ , включенных в цепь конденсаторной фазы. Эти сопротивления выводятся путем закорачивания их контактами 7 и 8.

Конденсаторы  $C_1$ ,  $C_2$  и  $C_3$  для обоих двигателей также сгруппированы вместе и переключаются одновременно. Для получения больших пусковых усилий применяется пусковая ступень емкости ( $C_1 = 750$  мкф), при выходе на автоматическую характеристику включается рабочая

ступень емкости ( $C_3 = 215$  мкф). Кроме того предусмотрена промежуточная ступень емкости ( $C_2 = 350$  мкф), предназначенная для увеличения перегрузочной способности двигателя, что может оказаться полезным в случае преодоления затяжных подъемов. Для перехода с первой скорости на вторую (высшую) предварительно вводится пусковая ступень емкости, по достижении номинального скольжения включается рабочая ступень емкости.

В опытном электровозе использованы бумажно-масляные конденсаторы типа КМ-0,38-1, в однофазном исполнении, общей мощностью около 35 квар. Объем конденсаторов на один электровоз составляет примерно 0,1 м<sup>3</sup>. Сравнительно небольшой объем позволяет легко разместить их в реостатном отсеке. Конденсаторы выполнены в виде отдельных банок; всего установлено 5 банок по 150 мкф в каждой. Максимальное напряжение конденсаторов больше линейного при симметричном режиме в  $\sqrt{2}$  раз, а при несимметричном может достигнуть еще большего значения.

Номинальное же напряжение конденсаторов по условиям их нагревания может быть принято меньшим — порядка 380 в. Применение соевых конденсаторов позволило бы уменьшить общий их объем примерно в 1,5 раза.

Реверсирование электровоза осуществляется переключением конденсаторов из одной фазы в другую. При повороте реверсивного барабана контроллера (пальцы реверса обозначены на схеме  $K_1$  и  $K_2$ ) главная фаза становится конденсаторной, а конденсаторная — главной.

Пониженная скорость при маневровой работе достигается периодическим включением и выключением тяговых двигателей.

Последовательность включения контакторов кулачкового контроллера во время пуска ясна из таблицы, приведенной на рис. 4.

Испытания опытного электровоза в реальных эксплуатационных условиях шахты позволили выявить ряд эксплуатационных особенностей новой системы тяги.

Конденсаторный тяговый двигатель, как и обычная асинхронная машина, имеет шунтовую характеристику, но с несколько большим скольжением. Как показали испытания, для рудничной откатки шунтовая характеристика является весьма благоприятной, так как дает возможность повысить среднюю скорость по сравнению с серийной машиной. Дело в том, что верхний предел скорости невелик (порядка 10—15 км/час), а серийная характеристика машины приводит к снижению средней скорости движения по сравнению с максимальной. В конденсаторном же двигателе скорость вращения постоянна и не зависит от профиля пути и веса состава; следовательно, здесь средняя скорость почти равна максимальной.

Постоянство нагрузки в груженом и порожнем направлениях позволяет хорошо использовать двигатель с шунтовой характеристикой по тепловой мощности.



Шунтовая характеристика благоприятна так же с точки зрения уменьшения боксования при движении, так как ограничивает скорость вращения боксующей оси, которая не может превысить синхронной скорости. Меньшая скорость скольжения бандажей по сравнению с серийными двигателями обеспечивает меньшую потерю силы тяги при буксовании.

Весьма ценным свойством асинхронной машины является автоматический переход на генераторный режим при сверхсинхронной скорости. Это обстоятельство упрощает вождение поезда, так как при езде под уклон электровоз под тормаживает партию вагонеток, причем тормозное усилие автоматически увеличивается по мере возрастания сверхсинхронной скорости.

Распределение нагрузок, несмотря на шунтовую характеристику, получается достаточно равномерным, так как в асинхронных машинах практически достигается близкое совпадение скоростных характеристик. Неидентичность магнитных цепей, обусловленная технологическими условиями, мало влияет на механическую характеристику машины.

Постройка и эксплуатационные испытания опытного электровоза легли в основу проектирования серийного электровоза, для первого исполнения которого принята также система с короткозамкнутыми, полюсопереключаемыми двигателями. Схема и характеристики сохранены близкими к опытному электровозу, но значительно повышена мощность двигателей на обеих ступенях. Проект разработан Гипроуглемашем Министерства угольной промышленности западных районов СССР и заводом «Динамо» им. Кирова при участии Московского энергетического института им. Молотова.

Основные данные двигателя при часовом режиме и симметричном питании следующие:

$$\begin{array}{lll} 2p=12; & P=9,5 \text{ кВт}; & n=422 \text{ об/мин}; \\ 2p=6; & P=19 \text{ кВт}; & n=910 \text{ об/мин}; \end{array}$$

$$\begin{array}{lll} I=26 \text{ а}; & U=380 \text{ в}; & \cos \varphi=0,76; \\ I=36 \text{ а}; & U=380 \text{ в}; & \cos \varphi_s=0,88. \end{array}$$

Тяговые характеристики двигателя при некоторых режимах представлены на рис. 5.

В серийном электровозе сохранена схема передачи с двухступенчатым редуктором, который в отличие от опытного электровоза заключен в общий литой корпус, что обеспечивает хорошую смазку. Корпус редуктора, непосредственно скрепленный посредством фланцев с тяговым двигателем, связан осевыми подшипниками с осью электровоза. По конструктивным соображениям двигатель расположен горизонтально. Применение двухступенчатого редуктора позволило использовать высокоскоростной двигатель и одновременно повысить зазор от головки рельса до нижней точки редуктора с 35 мм (для электровозов постоянного тока) до 100 мм, путем уменьшения диаметра зубчатого колеса, насаженного на ось колесной пары.

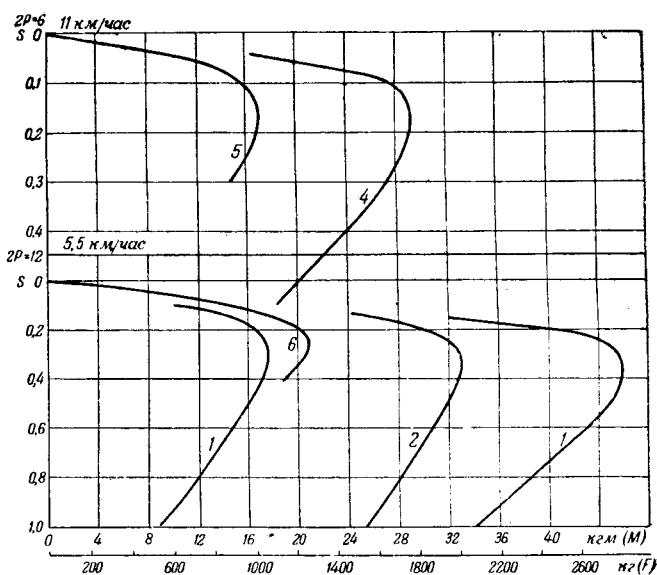


Рис. 5. Тяговые характеристики конденсаторного двигателя.

Питание контактной сети при конденсаторных электровозах принципиально может осуществляться либо непосредственно от общей трехфазной сети 380 или 500 в, либо же через изолирующие трехфазные или однофазные трансформаторы. В шахтных условиях изолирующие трансформаторы обязательны из-за опасности самозапала шурфов.

При выборе схемы питания следует учесть неблагоприятное влияние несимметричного распределения нагрузок по фазам на трехфазную сеть. Для уменьшения асимметрии следует производить секционирование контактной сети на участки протяжением 500—700 м и присоединять отдельные секции к различным фазам трехфазной сети. При этом разность нагрузок различных фаз, как правило, не будет превышать пусковой мощности одного электровоза. Если присоединить трансформаторы тяговой сети к сети высокого напряжения, то тяговая нагрузка мало повлияет на искажение напряжения, так как величина ее обычно весьма мала по сравнению с мощностью сети высокого напряжения.

При трехфазных трансформаторах одна фаза присоединяется к ходовым рельсам, а две другие фазы к двум секциям контактной сети, которая секционируется непосредственно около подстанции. Использование трехфазного трансформатора при несимметричной нагрузке приводит к необходимости увеличения его мощности, которая получается примерно такой же, как и у трансформатора, питающего ртутные выпрямители. Однофазный трансформатор можно использовать полностью, т. е. его типовая мощность будет равна номинальной.

Сопротивление контактной и рельсовой сети на переменном токе больше, чем на постоянном. Увеличение сопротивления сети на переменном токе вызвано наличием индуктивности и увеличения активного сопротивления за счет поверхностного эффекта. Однако, в рудничной откатке

поверхностный эффект в рельсах не столь сильно увеличивает их активное сопротивление, как на магистральных дорогах, вследствие применения более легких рельс — до 18 кг/м.

Экспериментальными исследованиями установлены следующие величины сопротивлений при переменном токе цепи — контактный провод — рельсы, при сечении контактного провода равным 85 мм<sup>2</sup> и рельсах—18 кг/м:  $z=0,71$  ом/км;  $x=0,4$  ом/км и  $R=0,6$  ом/км.

Как видно из приведенных цифр, величина активного сопротивления сети на переменном токе увеличивается примерно в 2 раза по сравнению с сопротивлением при постоянном токе.

Максимальное падение напряжения в сети будет иметь место при наибольшем удалении электровоза от пункта питания в момент пуска. Величина падения напряжения в значительной степени связана также с падением в трансформаторе, которое зависит от его установленной мощности.

Практически, чтобы обеспечить надежную работу откатки и достаточную величину пускового момента, можно принять допустимые значения максимальной длины консоли, питаемой трансформатором, порядка 500—700 м. При этом один трансформатор сможет обслуживать участок обшей протяженностью 1 000—1 500 м.

В результате изучения и испытания рудничного конденсаторного электровоза можно считать установленным, что конденсаторная система электрической тяги имеет ряд преимуществ по сравнению с системой тяги на постоянном токе:

1. Отпадает необходимость в промежуточном звене между системой тягового и общего энергоснабжения — в преобразовательных подстанциях. Вследствие этого увеличивается надежность энергоснабжения и сокращаются потери энергии, связанные с преобразованием тока. Устраняются эксплуатационные расходы по содержанию преобразовательных подстанций и уменьшается необходимый персонал.

2. Применяется предельно простой тяговый двигатель — асинхронная машина, что увеличи-

вает надежность работы и сокращает эксплуатационные расходы на содержание и ремонт подвижного состава. Облегчается производство электрооборудования рудничных электровозов.

3. Увеличивается эксплуатационная скорость при заданной максимальной скорости (по сравнению с серийными двигателями постоянного тока).

4. Улучшается использование сцепного веса при движении благодаря незначительному повышению скорости при боксовании.

5. Упрощается управление поездом, так как электровоз автоматически поддерживает почти неизменную скорость движения. На уклонах в случае превышения синхронной скорости конденсаторный двигатель автоматически переходит на генераторный режим и тормозит поезд. Этим одновременно увеличивается безопасность движения.

6. Достигается унификация системы электрооборудования в шахтах<sup>1</sup>.

Электрическая тяга с конденсаторными электровозами должна найти себе применение не только в шахтах, но и в других областях. При работе на поверхности возможно применение высокого напряжения в контактном проводе с понижающим трансформатором на электровозе. Такая система тяги имеет особенно большие преимущества по сравнению с системой постоянного тока, так как позволяет значительно увеличить расстояние между подстанциями и уменьшить сечение контактных проводов. Подобная система, несомненно, имеет большие перспективы для применения в ряде важнейших отраслей народного хозяйства — в угольной промышленности, черной и цветной металлургии, для транспортировки леса и торфа, для подъездных путей различных промышленных предприятий.

[11. 8. 1954]

<sup>1</sup> В настоящее время закончена постройка и начата эксплуатация первой партии серийных рудничных электровозов с конденсаторными двигателями.



# Стабилизация напряжения с применением конденсаторов из титаната бария

Доктор физ.-матем. наук, проф. Г. И. СКАНАВИ, и инж. М. Д. НЕЙМАН

Физический институт им. Лебедева Академии наук СССР

В 1945 г. работами Б. М. Вула и И. М. Гольдман [Л. 1] было установлено, что титанат бария обладает свойствами, характерными для сегнетоэлектриков. Конденсатор, содержащий в качестве диэлектрика титанат бария, является нелинейным — емкость его зависит от приложенного напряжения.

Нелинейные конденсаторы могут быть применены для различных целей. Работы В. П. Володина [Л. 2] и др. [Л. 3] по созданию умножителя частоты основаны на использовании этих конденсаторов. Разработанные частотный модулятор и конвертор частоты [Л. 3] также могут служить указанием на возможность использования конденсаторов из сегнетоэлектриков в качестве нелинейных элементов цепи.

Нами была проведена работа по исследованию возможности стабилизации напряжения на основе конденсаторов из титаната бария. Идея такой стабилизации весьма проста и сводится к следующему: на два последовательно соединенных конденсатора — линейный  $C_1$  (слюдяной) и нелинейный  $C_2$  (титанобариевый) подается переменное напряжение  $U$ , которое распределяется обратно пропорционально емкостям (рис. 1). Емкость конденсатора  $C_2$  растет вместе с приложенным напряжением. При изменении общего напряжения, например при его возрастании, увеличивается и напряжение, приложенное к конденсатору  $C_2$ ; емкость его при этом также увеличивается и поэтому относительный рост напряжения на нелинейном конденсаторе  $U_2 = \frac{U}{\frac{C_2}{C_1} + 1}$  меньше, чем относительное увеличение общего напряжения.

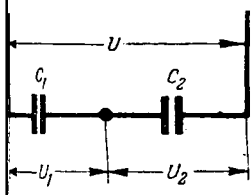


Рис. 1. Принципиальная схема стабилизации. Последовательное соединение линейного  $C_1$  и нелинейного  $C_2$  конденсаторов.

Исследована зависимость диэлектрической проницаемости метатитаната бария от напряженности поля для образцов разного состава. Для получения стабилизации применена симметричная мостовая схема с нелинейными и линейными конденсаторами. Исследована стабилизация при разных параметрах схемы и произведен выбор этих параметров. Исследовано влияние нагрузки на стабилизацию и степень искажения синусоидальности напряжения. Проведено сравнение степени стабилизации и искажения синусоидальности напряжения диэлектрического и феррорезонансных стабилизаторов. Показано, что при малых мощностях на выходе применение диэлектрического стабилизатора дает некоторые преимущества.

В связи с поставленной задачей был прежде всего решен вопрос выбора материала для нелинейных конденсаторов, одновременно отвечающего как требованию наибольшей зависимости диэлектрической проницаемости от напряжения  $\epsilon = f(U)$ , так и технологическим требованиям. Технически чистый метатитанат бария

имеет весьма высокую температуру спекания. Введение некоторых добавок в метатитанат бария приводит к снижению температуры спекания и изменению зависимости  $\epsilon = f(U)$ . Влияние этих добавок на характер нелинейности показано на рис. 2. Увеличение содержания добавок понижает начальное значение диэлектрической проницаемости и значительно сдвигает максимум кривой  $\epsilon = f(U)$  в сторону низких напряжений. В связи

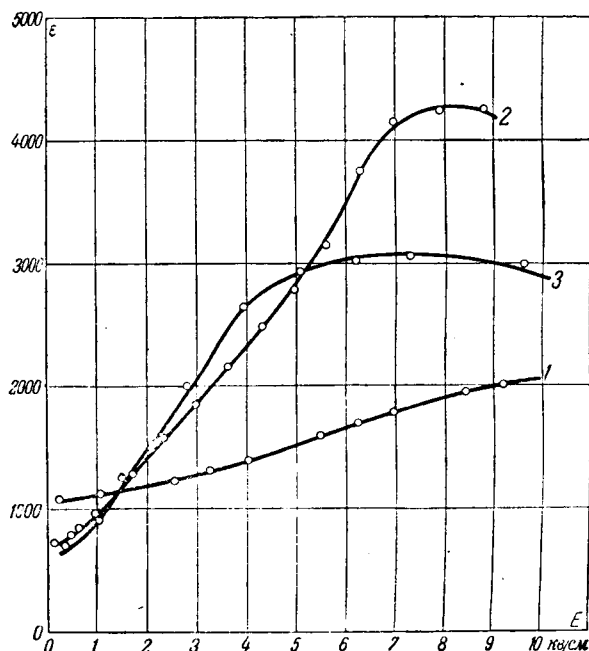


Рис. 2. Диэлектрическая проницаемость  $\epsilon$  метатитаната бария в зависимости от напряженности поля  $E$ . 1 — без добавок; 2 и 3 — добавка 0,5 и 1,5%.

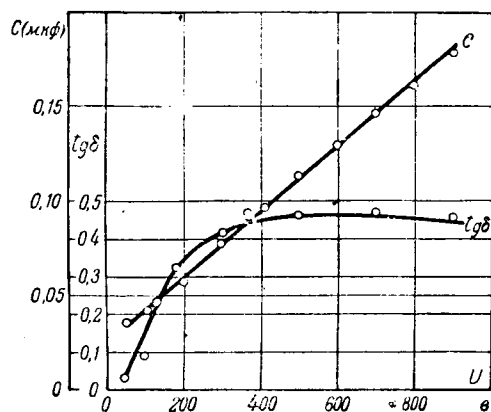


Рис. 3. Емкость и угол диэлектрических потерь титанобариевого конденсатора в зависимости от напряжения.

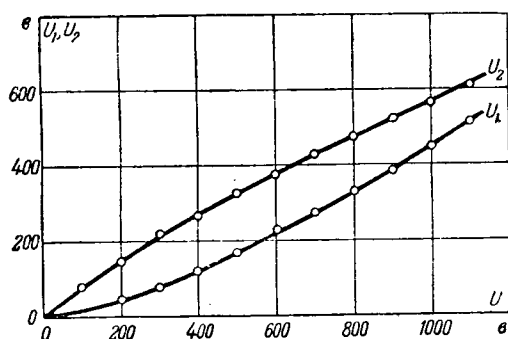


Рис. 4. Напряжения на конденсаторах  $C_1$  и  $C_2$  в зависимости от напряжения входа  $U$ .

с этим нелинейность образцов с добавками значительно ярче выражена и проявляется при более низких напряжениях. Причина указанного явления лежит, повидимому, в том, что вводимые добавки делают кристаллическую решетку более „рыхлой“, степень закрепления части ионов решетки уменьшается в связи с чем эффект нелинейности и насыщения сдвигается в сторону пониженных напряжений. В качестве диэлектрика для нелинейных конденсаторов был выбран материал, содержащий 1,5% добавок.

При экспериментальном исследовании цепи, содержащей два последовательно соединенных конденсатора — линейный и нелинейный, обнаружилась невозможность практического использования этой схемы. Эта схема дает недостаточную стабилизацию напряжения  $U_2$  уже в режиме холостого хода, кроме того, включение

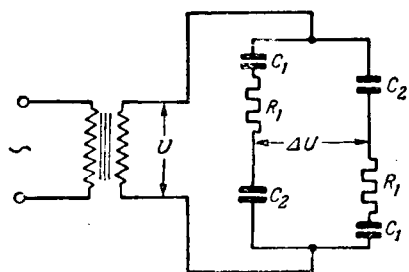


Рис. 5. Принципиальная схема диэлектрического стабилизатора.  
 $C_1$  — линейный конденсатор,  
 $C_2$  — титанобариевый.

нагрузки параллельно емкости  $C_2$  влияет на распределение напряжения, что вносит дополнительные нарушения стабилизации.

В этих опытах были использованы конденсаторы с зависимостью  $C$  и  $\text{tg } \delta$  от напряжения показанной на рис. 3. Элементарный расчет этой цепи с учетом экспериментально полученной зависимости  $C_2 = C_0 + kU$  с помощью уравнения:

$$U = \frac{q}{C_1} + \frac{q}{C_2},$$

где  $C_1$  — емкость линейного конденсатора;

$U$  — эффективное значение общего напряжения;

$q$  — заряд;

$k$  — коэффициент нелинейности, дает выражение для напряжения на нелинейном конденсаторе:

$$U_2 = \sqrt{\frac{(2C_0 + C_1)^2}{4k^2} + \frac{C_1 \cdot U}{k}} - \frac{2C_0 + C_1}{2k}. \quad (1)$$

Дифференцируя (1) по  $U$ , имеем:

$$\eta = \frac{dU_2}{dU} = \frac{C_1}{\sqrt{(2C_0 + C_1)^2 + 4C_1 k U}}. \quad (2)$$

С увеличением коэффициента нелинейности  $k$  величина производной  $\eta$  уменьшается, иначе говоря, чем больше  $k$ , тем больше стабилизация.

Нелинейность конденсатора удобно характеризовать отношением относительного прироста

емкости к изменению напряжения:  $k' = \frac{k}{C_0}$ .

Экспериментально установлено постоянство величины  $k'$  в широком интервале напряжений. Эту величину можно определять из (2):

$$k' = \frac{C_1^2 - \eta^2 (2C_0 + C_1)^2}{4C_1 U \eta^2 C_0}. \quad (3)$$

При  $C_1 = C_0 = 10^4$  мкмкф;  $\eta = 0,1$ , если коэффициент нелинейности  $k' = 5 \cdot 10^{-2}$  в<sup>-1</sup>. Конденсаторы, используемые в опытах, имеют коэффициент нелинейности  $k' = 6,6 \cdot 10^{-3}$  в<sup>-1</sup>, т. е. примерно в 10 раз меньше. Поэтому простая последовательная схема даже без нагрузки не может дать достаточной стабилизации.

Рассмотрение кривых изменения напряжения на линейном и нелинейном конденсаторах при изменении общего напряжения (рис. 4) приводит к мысли об использовании в качестве стабилизированного напряжения разности между напряжениями  $U_2$  и  $U_1$ . Замедленный рост  $U_2$  вызывает значительно более быстрое возрастание  $U_1$ , чем это требуется по линейному закону. В результате разность между ними при определенном соотношении емкостей в некотором интервале напряжений может оставаться мало изменяющейся.

Напряжение в диагонали симметричной мостовой схемы (рис. 5) равно разности напряжений плеч моста. Ввиду этого дальнейшие опыты производились при помощи этой схемы.

Наивыгоднейшее соотношение емкостей  $C_1$

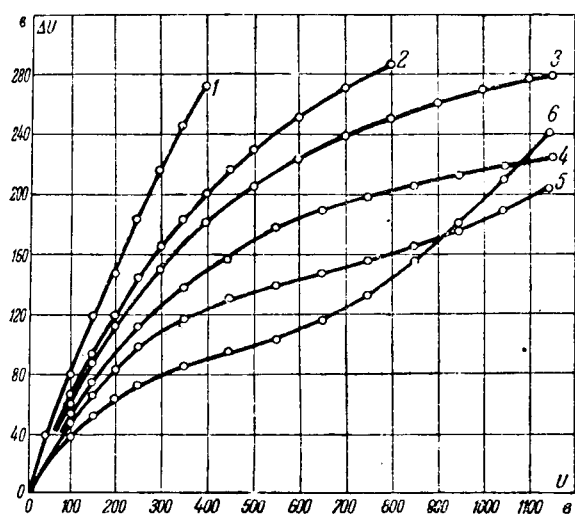


Рис. 6. Разность напряжений  $\Delta U$  в зависимости от напряжения на входе  $U$  при различных значениях линейной емкости  $C_1$ .

Кривая 1 —  $C_1 = 0,45$  мкФ; 2 — 0,23; 3 — 0,20; 4 — 0,16; 5 — 0,13 и 6 —  $C_1 = 0,1$  мкФ.

и  $C_1$  получено на основании опытов, результаты которых показаны на рис. 6.

Диэлектрические потери титанобариового конденсатора значительно больше, чем в слюдяном или бумажном (линейных) конденсаторах и векторы напряжений  $U_1$  и  $U_2$  в схеме рис. 1 сдвинуты по фазе. Активное сопротивление  $R_1$  в мостовой схеме предназначено для частичной компенсации сдвига фаз между векторами  $U_1$  и  $U_2$ , так как режим недокомпенсации оказался более выгодным с точки зрения стабилизации. Влияние активных сопротивлений, включенных последовательно линейным конденсаторам, на характер изменения напряжения в диагонали моста в зависимости от общего напряжения показано на рис. 7.

Легко видеть, что для случая полной компенсации фаз

$$U_2 - U_1 = \Delta U = \sqrt{\frac{(2C_0 + C_1)^2}{k^2} + \frac{4C_1 U}{k}} - \frac{2C_0 + C_1}{k} U. \quad (4)$$

Расчетная кривая, полученная из этой формулы, достаточно хорошо совпадает с экспериментальной при  $R_1 = 5$  ком (рис. 7), когда векторы  $U_1$  и  $U_2$  имеют незначительный сдвиг по фазе, что видно из соответствующих векторных диаграмм.

Таким образом, установлено, что при надлежащем подборе соотношений емкостей  $C_1$  и  $C_2$  и сопротивления  $R_1$  в схеме рис. 5 можно получить достаточную для практических целей стабилизацию.

Полный расчет дифференциальной схемы с учетом нелинейности может быть произведен на основании решения следующего дифференциального уравнения:

$$q^3 R^3 - 3UR^3 q^2 \sin \omega t + 3RU^2 q \sin^2 \omega t + \frac{4RC_1}{k^3} \dot{q} + \frac{q}{k^3} - U^3 \sin^3 \omega t + \frac{C_1 U}{2k^3} \sin \omega t = 0. \quad (5)$$

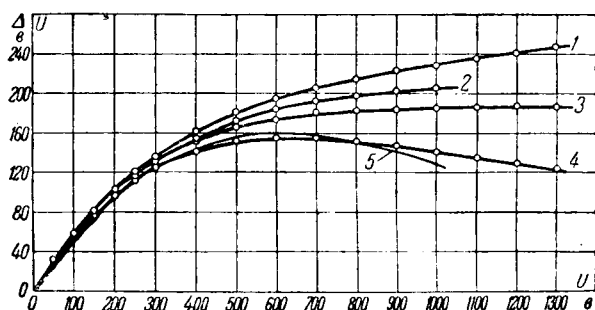


Рис. 7. Влияние сопротивления  $R_1$  на зависимость разности напряжений  $\Delta U$  от напряжения на входе  $U$ .

Кривая 1 —  $R_1 = 0$ ; 2 —  $R = 1$  ком; 3 — 2 ком; 4 —  $R_1 = 5$  ком; 5 — расчетная кривая.

Это уравнение решается методом последовательных приближений.

Достоинством этой схемы является то обстоятельство, что нагрузка не уменьшает эффекта стабилизации (рис. 8).

Мощность на выходе, получающаяся в схеме при указанных выше параметрах, незначительна, однако может быть без особых затруднений увеличена. Для оценки мощности в диагонали моста можно пользоваться приближенной формулой, полученной без учета нелинейности:

$$P = \frac{U^2 (z_2 - z_1)^2 R}{[2z_1 z_2 + R(z_1 + z_2)]^2}, \quad (6)$$

где  $z_1$  и  $z_2$  — полные сопротивления плеч;

$R$  — сопротивление нагрузки;

$U$  — общее эффективное напряжение.

Отсюда видно, что мощность на выходе есть функция нагрузки при постоянных значениях напряжения и полных сопротивлений плеч.

При емкостном сопротивлении  $z_1 = \frac{1}{\omega C_1}$  и  $z_2 = \frac{1}{\omega C_2}$ , что соответствует емкостному мосту, максимальная мощность

$$P_{\max} = \frac{U^2 \omega (C_1 - C_2)^2}{8 (C_1 + C_2)}, \quad (7)$$

при

$$R_{кр} = \frac{2}{\omega (C_1 + C_2)}.$$

Формула (7) показывает, что при увеличении емкостей конденсаторов  $C_1$  и  $C_2$  в  $n$  раз мощ-

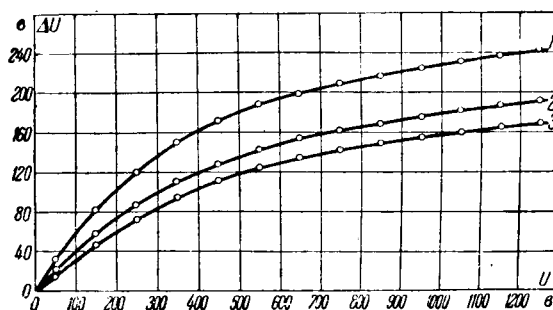


Рис. 8. Разность напряжений  $\Delta U$  в зависимости от напряжения на входе  $U$  при  $R_1 = 0$  и различных сопротивлениях нагрузки  $R$ .

Кривая 1 —  $R = \infty$ ; 2 — 20 ком; 3 — 2 ком.

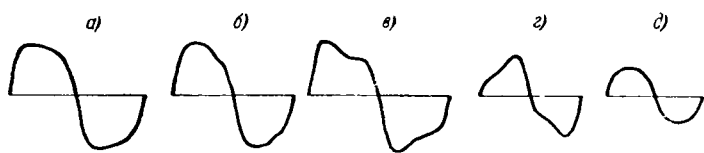


Рис. 9. Осциллограммы напряжения выхода для стабилизаторов напряжения в рабочем режиме.

Феррорезонансный стабилизатор напряжения: а — советский типа ЭПА-15; б — американский типа 162 А; в — немецкий типа Сименс ESrg 1. Диэлектрические стабилизаторы напряжения: г —  $R_1 = 2 \text{ ком}$ ; д —  $R_1 = 5 \text{ ком}$ .

ность на выходе увеличивается тоже в  $n$  раз. Соотношение между емкостями  $C_1$  и  $C_2$  должно быть выбрано с учетом получения достаточной стабилизации. Нелинейная емкость титанобариевого конденсатора, как и всякий нелинейный элемент цепи, вносит искажение в форму кривой напряжения, которое учитывается аналитически решением дифференциального уравнения (5).

Осциллографирование выходного напряжения диэлектрического стабилизатора и феррорезонансных стабилизаторов различных систем показало, что диэлектрический стабилизатор вызывает искажение синусоидального напряжения не более резкое, чем стабилизаторы другого вида (рис. 9). При меньших напряжениях на выходе диэлектрического стабилизатора режим стабилизации может быть получен при значительно меньших искажениях выходного напряжения (рис. 7, кривая 4). Разработка и изготовление первого образца диэлектрического стабилизатора показала, что такой стабилизатор мощностью на выходе 50 вт может быть изготовлен примерно тех же габаритов, что и феррорезонансный. Коэффициент полезного действия диэлектрического стабилизатора значительно выше, чем феррорезонансного, так как он зависит в основном от к. п. д. трансформатора.

Потери в самой дифференциальной схеме связаны в основном с диэлектрическими потерями в титанобариевых конденсаторах; при  $\text{tg } \delta = 0,04$  к. п. д. дифференциальной схемы близок к 100%, к. п. д. трансформатора, как известно, составляет около 98%.

В таблице сопоставлены результаты измерения коэффициента стабилизации  $\xi = \frac{\partial U_{\text{вых}}}{U_{\text{вых}}} : \frac{\partial U_{\text{вх}}}{U_{\text{вх}}}$

трех феррорезонансных стабилизаторов, широко используемых в настоящее время для стабилизации напряжения на выходе измерительных приборов, и диэлектрического стабилизатора.

Тип стабилизатора	Коэффициент стабилизации
ЭПА-15 (отечественный) . . . . .	0,000
162-А (американский) . . . . .	0,058
Сименс ESrg1 (немецкий) . . . . .	0,110
Диэлектрический стабилизатор . . . . .	0,058

Приведенные данные показывают, что советский феррорезонансный стабилизатор дает наилучшую стабилизацию, а диэлектрический стабилизатор по качеству стабилизации не уступает феррорезонансным (американскому и немецкому).

Преимущество диэлектрического стабилизатора по сравнению с феррорезонансным заключается в его апериодичности, что делает его малочувствительным к колебаниям частоты. Кроме того, технология изготовления диэлектрического стабилизатора принципиально проста. Область применения диэлектрического стабилизатора так же, как и феррорезонансного, достаточно широка (стабилизация маломощных схем, входного напряжения измерительных приборов). Диэлектрический стабилизатор может быть применен также в области повышенных частот, так как нелинейность титаната бария сохраняется в широком диапазоне частот.

#### Литература

1. Б. М. Вул. Электричество, № 3, 1946. Б. М. Вул и И. М. Гольдман ДАН СССР, 46, № 4, 154, 1945.
2. В. П. Вологдин. Электричество, № 8, 1947.
3. H. L. Donley. RGA, т. VIII, № 3, сентябрь, 1947.

[29. 10. 1949]



# Свечение главного канала молнии

Кандидат техн. наук И. Е. БАЛЫГИН

Научно-исследовательский институт МПСС СССР

Изучение процессов разряда молнии имеет большое практическое значение, особенно для защиты различного рода сооружений от прямых ударов и в некоторых случаях от индуктированных перенапряжений. Несмотря на многолетнюю давность изучения молнии, некоторые физические проявления ее еще не ясны. Так, к настоящему времени не совсем ясной, например, представлялась физика тонкой структуры свечения главного канала молнии [Л. 1—3], открытого незадолго перед войной. Было замечено, что освещенность главного канала в процессе его развития не остается постоянной, а закономерно изменяется. Если бы этот процесс происходил настолько медленно, что за его развитием можно было бы следить невооруженным глазом, то была бы заметна яркая головка, быстродвигающаяся от земли к облаку до первого ответвления канала. После этого можно было бы заметить, как свечением захватывается это ответвление, а головка продолжает двигаться дальше, но скорость ее распространения и интенсивность свечения уменьшаются. По достижении головкой второго ответвления повторится то же самое, но на несколько микросекунд позже за светящейся головкой — первой компонентой свечений — от земли, со скоростью порядка скорости света, идет вторая световая компонента, которая захватывает, не останавливаясь, оба ответвления. По достижении головкой главного канала третьего ответвления от земли снова с такой же скоростью и также через промежуток в несколько микросекунд двигается третья компонента свечения, которая захватывает свечением весь участок от земли до третьего ответвления, включая последнее и два нижележащих.

Для ориентировки на рис. 1 приведена диаграмма, на которой схематически представлены наиболее характерные закономерности свечения. По вертикали отложен путь разряда от земли  $A$  до облака  $E$ . Расположение диаграммы соответствует записи явления камерой с одной линзой, двигающейся в направлении стрелки (с временной разверткой). Таким образом, расстояния от точки  $A$  по направлению стрелки указывают на время, истекшее от начала формирования глав-

Дается физическое разъяснение явления прерывистого свечения главного канала молнии. Это разъяснение исходит из представления о нестационарных процессах в электрических цепях.

ного канала у земли, до интересующего нас момента. Кривая  $AE$  представляет собой движение

с определенной скоростью первой компоненты. Компоненты 1, 2, 3 и 4 на рис. 1 помечены соответствующими цифрами. На диаграмме компоненты 2, 3 и 4 изображены перпендикулярными оси абсцисс, что указывает на большую скорость их распространения (больше  $10^{10}$  см/сек). Густота штриховки показывает степень интенсивности свечения компонент.

Согласно рис. 1 третья компонента появляется после достижения первой компонентой третьего ответвления, а четвертая — после того, как первая дойдет до облака при канале с тремя ответвлениями.

Малан и Колленс, открывшие это явление [Л. 4], считали весьма вероятным, что вообще каждому ответвлению соответствует своя компонента свечения и, например, по отношению к диаграмме на рис. 1, второй должна бы быть компонента, появляющаяся по достижении первой первого же ответвления, но в виду большой яркости свечения первой компоненты на этом участке и небольшого промежутка времени, вторая компонента, связанная с первым ответвлением, остается не замеченной.

Наиболее характерные проявления тонкой структуры свечения:

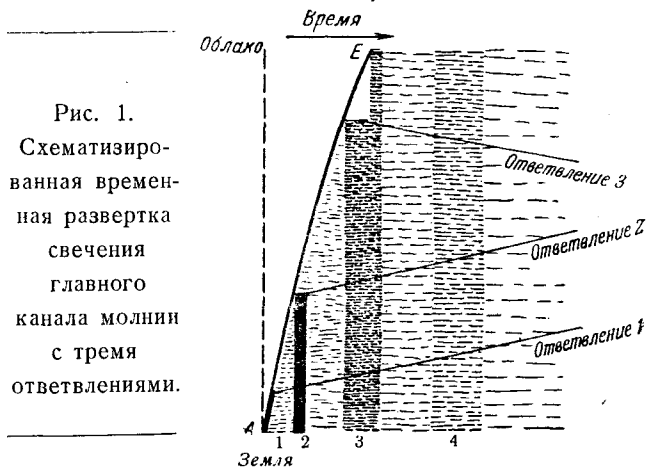


Рис. 1.  
Схематизированная временная развертка свечения главного канала молнии с тремя ответвлениями.

1. Первая компонента свечения при подходе к ответвлению разделяется на две. Одна идет по этому ответвлению, а другая продолжает двигаться по пути предыдущего лидера.

2. После достижения первой компонентой какого-либо ответвления, интенсивность ее свечения падает, а скорость распространения уменьшается.

3. Наблюдается значительная интенсивность свечения первой компоненты вдоль ответвлений, как будто бы в них разряд концентрирует свою энергию.

4. Появление компоненты, связанной с тем или иным ответвлением, по времени несколько отстает от момента подхода первой компоненты к данному ответвлению (отставание порядка 10 мксек).

5. Компоненты, за исключением первой и тех, которые появляются после завершения обратного разряда (главного разряда), имеют скорости больше  $10^{10}$  см/сек.

6. Компоненты, появляющиеся после первой, захватывают свечением все нижележащие ответвления.

7. Продолжительность свечения компонент от первой к четвертой (рис. 1) соответственно увеличивается, а интенсивность его уменьшается.

8. В большинстве случаев третья компонента доходит только до третьего ответвления и захватывает его, но иногда она распространяется дальше к облаку (при трех ответвлениях в канале), если это ответвление не очень длинно и не далеко от облака.

9. Четвертая компонента (рис. 1) появляется после достижения первой облака.

10. Из анализа девяти случаев сфотографированных разрядов молний, по которым можно было вынести определенное суждение, получилось, что две компоненты распространялись от земли к облаку, а семь — наоборот.

11. Компоненты, распространяющиеся сверху вниз, обычно имеют сравнительно небольшие скорости ( $\sim 4 \cdot 10^9$  см/сек).

12. В некоторых случаях наблюдается число компонент значительно больше четырех.

13. В неразветвленном разряде вторая компонента появляется лишь после того, как первая достигает облака. Такие разряды редко имеют больше двух компонент, большинство же их имеют только одну.

Ниже будет сделана попытка дать объяснение этим закономерностям в свечении главного канала с помощью хорошо изученных нестационарных процессов в цепях с распределенными постоянными.

Длина сквозного канала молнии наиболее часто достигает 3–7 км. Поскольку с электрическими разрядами вообще, и разрядом грозового облака в частности всегда связано электрическое и магнитное поле, то при такой протяженности канала характер разряда будет волновым и в этом волновом процессе будет играть значительную роль волновое сопротивление  $Z$  самого канала и его ответвлений. В местах резкого изменения этого волнового сопротивления будут про-

исходить преломления и отражения волн. Таковыми местами будут точки разветвлений (узлы), а также земля и облако.

Для неразветвленного столба молнии  $Z$  определяется радиусом канала и средним диаметром заряженного облака. Было показано, что, например, при изменении радиуса облака от 60 до 750 м, а радиуса канала от 3 до 60 см,  $Z$  изменяется в пределах 250–600 ом.

Чтобы получить представление об изменении в электрическом состоянии главного канала молнии, рассмотрим схематическое изображение его с тремя ответвлениями (рис. 2). Поскольку  $Z$  канала мало зависит от его радиуса, примем эту величину не меняющейся в процессе разряда и для всех участков канала и его ответвлений одинаковой и равной 400 ом. Общая длина канала взята 4 км; длины отдельных участков указаны на рис. 2. Скорость распространения головки главного разряда или первой компоненты свечения не постоянна на различных участках пути между землей и облаком, а изменяется в пределах  $1,6 \cdot 10^{10}$  см/сек для нижних участков и  $5,5 \cdot 10^9$  см/сек для верхних (у облака). Для ответвлений эта величина равна  $10^9 \div 5 \cdot 10^9$  см/сек.

По сильно ионизированному пути предшествующего сквозного ведущего разряда от земли пойдет волна (светящаяся головка) главного разряда (падающая волна) с потенциалом  $E$  относительно земли и скоростью около  $1,5 \cdot 10^{10}$  см/сек. При подходе к узловой точке 1 (рис. 2), где начинается первое ответвление вследствие резкого изменения  $Z$  канала неизбежно произойдет преломление и отражение волны  $E$ . Преломленная волна напряжения, которая пойдет по направлению к облаку от узла 1 к узлу 2, по первому ответвлению будет равна:

$$E_1'' = \frac{2Z_1Z_1'E}{Z(Z_1 + Z_1') + Z_1Z_1'} = \beta E.$$

Отраженная волна соответственно

$$E_1' = \frac{Z_1Z_1' - Z(Z_1 + Z_1')}{Z_1Z_1' + Z(Z_1 + Z_1')} E = \alpha E.$$

Подставляя численные значения для всех  $Z = 400$  ом, найдем:

$$E_1'' = \frac{2}{3} E \text{ и } E_1' = -\frac{1}{3} E.$$

Таким образом, от узловой точки 1 пойдут две волны (преломленных), одна по пути основного канала к точке 2, а вторая по ответвлению 1. Этим волнам будет соответствовать первая компонента свечения. Потенциал этих волн относительно земли, как следует из предыдущего выражения для  $E_1'$ , уменьшится до  $2/3 E$ , а это не может не вызвать ослабления интенсивности свечения первой компоненты. То же самое произойдет и в узловой точке 2. Падающая волна на участке 1–2 ( $E_1'' = \beta E$ ), преломленная в узле 1, претерпит аналогичные изменения в узле 2 и от точки 2 к 3, а также по ответвлению 2 пойдет преломленная (второй раз) волна (если не учитывать затухания)

$$E_2'' = \beta^2 E = \frac{4}{9} E.$$



Отраженная же волна, которая направится обратно от узла 2 к 1, будет иметь потенциал относительно земли

$$E_2' = \alpha^3 E = -\frac{2}{9} E.$$

Соответственно для узла 3:

$$E_3'' = \beta^3 E = \frac{8}{27} E;$$

$$E_3' = \alpha\beta^3 E = -\frac{4}{27} E.$$

Обратимся к отраженным волнам. Как указывалось выше, отраженная волна в узле 1  $E_1' = -\frac{1}{3} E$  пойдет по сильно ионизированному пути к земле со скоростью, близкой к скорости света. Скорость этой волны будет намного больше скорости преломленных волн, прокладывающих себе путь по менее ионизированному пути. Таким образом, нужно при этом различать волны „медленные“, связанные с распространением разряда (падающие — преломленные волны) и волны со скоростью, близкой к скорости света (отраженные волны). Если градиенты потенциала этих волн будут выше критических (около 3) кВ/см, то прохождение их также будет сопровождаться свечением (эффект короны).

На участке узла 1 — земля, отраженная волна наложится на хвост волны  $E$  и будет способствовать ослаблению в этом месте интенсивности свечения вследствие уменьшения градиента потенциала  $E$ . При подходе к земле эта волна должна почти целиком отразиться с обратным знаком.

На некотором расстоянии от земли в сильно ионизированном канале разряда появится от этой волны  $E_1'$  довольно значительное напряжение, по знаку одинаковое с напряжением волны  $E$  и при этом могут создаваться условия, весьма похожие на те, которые обусловили развитие главного разряда, т. е. электроны начнут перемещаться к земле и в землю, оставляя у поверхности земли положительно заряженную колонну. Снова появится обратный самостоятельный разряд, хотя и значительно меньший по интенсивности, но с большой скоростью, поскольку он будет происходить в сильно ионизированном столбе главного канала. Вместе с этим новым разрядом появится свечение следующей компоненты. В виду небольшой длины участка от узла 1 до земли, волне  $E_1'$  на двойной пробег потребуется время около 3 мксек, поэтому эффект свечения, вызванный этой волной, сольется с первой компонентой, поскольку время пробега волны  $E$  по участку 1—2 будет равно 15 мксек. Поэтому отделить компоненту во времени не представится возможным, хотя принципиально она и существует, в чем, кстати сказать, Малан и Колленс [Л. 4], как замечалось, не сомневаются. При подходе этой новой волны  $E_{11}$  к узлу 1 произойдет такое же преломление и отражение, причем преломленная волна захватит первое от земли ответвление. У конца этого ответвления волна отразится с тем же

знаком, как от открытого конца, где получится удвоение напряжения волны и это будет значительно способствовать интенсивности свечения ответвлений вообще. При этом также не учитывается эффект затухания волны, видимо довольно значительный. При подходе головки главного разряда (волны  $E_1''$ ) к узлу 2 в обратном направлении, как намечалось выше, со скоростью близкой к скорости света, пойдет отраженная волна  $E_2' = -\frac{2}{9} E$  и после пре-

ломления в узле 1 к земле направится волна с потенциалом относительно земли

$$E_{21}' = \alpha\beta^2 E = -\frac{4}{27} E.$$

Точно так же, как и с волной  $E_1'$ , при подходе к земле произойдет отражение  $E_{21}'$  с обратным знаком и по истечении 7 мксек, необходимых на пробег участка от узла 2 до земли (1950 м) с большой скоростью, тоже начнется разряд по направлению к облаку с сопутствующим ему свечением. При этом будут захвачены ответвления 1 и 2 (вторая компонента). На участке узлов 2 — 1 волна  $E_2'$ , накладываясь на хвост падающей волны  $E_1''$ , будет способствовать ослаблению на этом участке первой компоненты, а также своего собственного свечения. Таким образом, при подходе первой компоненты, ко второму ответвлению через промежуток приблизительно 7 мксек от земли пойдет со скоростью порядка скорости света вторая компонента, которая захватит все нижележащие ответвления. Отраженная от узла 1 волна  $E_2''$ , накладываясь на противоположную по знаку волну  $E_2'$ , будет удлинять время свечения второй компоненты.

Те же рассуждения могут быть повторены и по отношению к узлу 3. За 15 мксек, в течение которых первая компонента будет прокладывать себе путь от узла 2 к 3, отраженные и преломленные волны от  $E_2'$  будут подвергаться сильному затуханию. Чтобы не усложнять дальнейших рассуждений, примем, что к данному моменту эти волны целиком затухают. Примерно через 10 ÷ 11 мксек после подхода первой компоненты к узлу 3 от земли пойдет третья компонента свечения отраженной с обратным знаком волны

$$E_{31}' = \alpha\beta^4 E = \frac{16}{243} E,$$

дважды преломленной в узлах 2 и 1. Интенсивность свечения при пробеге этой волны будет значительно слабее предыдущих, но за счет

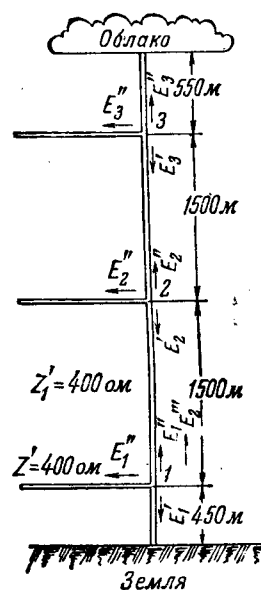


Рис. 2. Схематизированный главный канал разряда молнии с тремя ответвлениями.

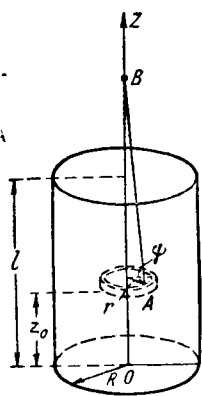


Рис. 3. Эскиз для ориентировочного подсчета напряженности электрического поля от цилиндра с объемными зарядами.

отражений от узлов 2 и 1, а возможно от концов ответвлений, продолжительность свечения третьей компоненты будет много больше.

Следует заметить, что если считать градиент потенциала волны  $E'_{31}$  равным критическому ( $\sim 30 \text{ кВ/см}$ ), то напряженность электрического поля  $E$  при этом должна быть не менее  $500 \text{ кВ/см}$ .

Из фотографий разряда молнии известно, что навстречу сквозному ведущему разряду от земли начинают расти ионизованные светящиеся лучи высотой  $1,2 \div 1,8 \text{ м}$ . До соединения ведущего разряда с лучом, вследствие электростатической индукции, часть зарядов луча одноименных с зарядами

головки ведущего разряда уйдут в землю, и в пространстве останется заряженная колонна. При положительном заряде этой колонны после перекрытия последнего воздушного промежутка между ведущим разрядом и лучом электроны из некоторой области ведущего разряда уйдут в эту положительно заряженную колонну и в землю. Таким образом, положительная колонна как бы переместится вверх.

Если принять колонну цилиндрической, а плотность объемного заряда  $\eta$  равномерной, то градиенты потенциала в пространстве над ее вершиной определятся из выражения (рис. 3):

$$G_z = - \frac{d}{dz} \int_0^R \int_0^l \int_0^{2\pi} \frac{\eta r dr dz_0 d\phi}{\sqrt{r^2 + (Z - z_0)^2}} =$$

$$= 2\pi\eta [\sqrt{R^2 + (Z-l)^2} - \sqrt{R^2 + Z^2} + l],$$

где  $l$  — высота колонны, а  $R$  — ее радиус. Диаметры каналов молний заключены в пределы  $11 \div 23 \text{ см}$ ; если ориентировочно положить ток при пробое последнего воздушного промежутка (см. выше) равным  $8000 \text{ а}$ , а скорость пробоя в десять раз большей средней скорости распространения ведущего разряда ( $4 \cdot 10^8 \text{ см/сек}$ ), то при прохождении электронной лавины с зарядом  $\sim 1,8 \cdot 10^7 \text{ эл.-ст. единиц}$  (движением более тяжелых положительных ионов пренебрегаем) у вершины колонны высотой  $3 \text{ м}$  и диаметром  $18 \text{ см}$  напряженность поля будет  $\sim 3 \cdot 10^6 \text{ в/см}$ .

В ответвление 3 пойдет волна:

$$E''_3 = \beta^3 E = \frac{8}{27} E.$$

При небольшой длине ответвления, например,  $200 \text{ м}$ , разрядная волна (первая компонента), двигаясь со скоростью около  $20 \text{ м/мксек}$ , перекроет эту ветвь примерно за  $10 \text{ мксек}$  и, отра-

жившись от открытого конца с тем же знаком примерно через  $11 \text{ мксек}$  ( $1 \text{ мксек}$  на распространение в обратном направлении со скоростью света) подойдет к узлу 3, от которого преломленная часть подошедшей волны направится как по направлению к облаку, так и к земле. Если расстояние от узла 3 до облака невелико и во времени совпадает с промежутком  $11 \text{ мксек}$  ( $550 \text{ м}$  при скоростях на этом участке  $5 \cdot 10^8 \text{ см/сек}$ ), то после достижения головкой главного канала облака, от узла 3 к облаку пойдет новая полоса свечения, т. е. как бы третья компонента продолжает двигаться до облака после того, как его достигла первая. Следовательно, здесь имеет значение соотношение длин и скоростей.

Волна головки главного канала при подходе к облаку отразится. Коэффициент отражения будет зависеть от того, до какой степени разрядилось облако. При большой степени разряда волна может почти целиком отразиться с тем же знаком. При таком отражении возможно появление четвертой компоненты, идущей от облака. При последующем отражении от земли как этой волны, так и остальных блуждающих волн в канале может также появиться компонентно распространяющаяся от земли вверх и притом с небольшой скоростью от начавшегося электронно-ионного разряда в не столь сильном по времени ионизованном канале, поскольку будет происходить интенсивная рекомбинация заряженных частиц. Легко может случиться, что благодаря разрядам между облаками произойдет перераспределение потенциалов после достижения головкой главного разряда облака. Увеличение потенциала над каналом или вблизи него может произойти и вследствие метеорологических перемещений заряженных облаков. При этом в ионизированном канале напряженность электрического поля может быть достаточной, чтобы вызвать свечение. Появятся дополнительные компоненты с наиболее вероятным движением от облака к земле (лидерный процесс) и притом с небольшими скоростями ( $\sim 10^9 \text{ см/сек}$ ).

В неразветвленных разрядах падающая волна первой компоненты может претерпеть значительные отражения только у облака и появление второй компоненты можно ожидать лишь после подхода первой к облаку.

Таким образом, тонкая структура свечения главного разряда молнии, считавшаяся одним из загадочных явлений, до конца может быть объяснена нестационарными процессами в протяженных электрических цепях.

#### Литература

1. И. С. Стекольников. Молнии. Изд. АН СССР, стр. 183, 1940.
2. М. А. Бак, Н. Н. Николаевская. УФН, № 1, стр. 215, 1939.
3. А. С. Ализаде. Механизм развития молнии. Изд. Азербайджанского филиала АН СССР, стр. 64, 1939.
4. Malan, Collens. Proc. Roy. Soc. ч. А, стр. 174, 1937.

# О классификации методов электрических измерений

Профессор К. Б. КАРАНДЕЕВ

Львовский политехнический институт

Классификационный документ ОСТ 8005 «Приборы электроизмерительные» ВКС

Классификация, утвержденная еще в 1935 г., явно неудовлетворителен. Этот ОСТ касается только приборов; кроме того, принятые при его составлении признаки классификации в большинстве относятся к внешним конструктивным элементам, например, к форме шкалы, к габаритам и никак не затрагивают физической сущности вопроса.

Составленный в 1947 г. бригадой под руководством Е. Г. Шрамкова проект нового ГОСТ (взамен ОСТ 8005) намного содержательнее и выше по качеству. С точки зрения классификации приборов он серьезных возражений не вызывает. Но, к сожалению, и этот проект не касается методов измерения в должной степени: он не дает общей принципиальной классификации именно методов измерения с метрологической и физической, а не конструктивной, точки зрения. Такая общая классификация должна сопровождаться классификациями по разделам, носящими уже технический и даже конструктивный характер.

Некоторые основные соображения, касающиеся метрологической классификации методов измерения вообще, имеются в работах М. Ф. Маликова, например, в его книге «Точные измерения». Но эти соображения чрезвычайно кратки и недостаточно детализированы.

Такое положение побудило автора опубликовать в качестве одного из возможных вариантов классификации те признаки и соображения, которыми он пользуется в течение довольно длительного времени.

Прежде всего определим, что мы будем называть *измерением*. Воспользуемся для этого общепринятым определением, данным М. Ф. Маликовым, «Измерение есть познавательный процесс, заключающийся в сравнении путем фи-

*Изложены общие принципы, которые могут быть положены в основу метрологической классификации методов электрических измерений, основанной на физических, а не конструктивных признаках. Даны основные определения цели и объекта измерения, измерительного процесса, метода измерения и вида измерения. Установлены три основных классификационных признака: по способу сравнения с образцовой мерой, по способу проведения эксперимента сравнения и по технике измерения, а также их дальнейшее деление на группы. В результате предложен вариант стройной классификационной схемы. Вопросы, рассмотренные в статье, актуальны. Некоторые положения, выдвинутые автором, спорны. Помещая статью в порядке обсуждения, редакция приглашает читателей журнала прислать по статье свои замечания.*

зического эксперимента, данной величины с некоторым ее значением, принятым за единицу».

Таким образом измерение, являющееся основным средством для количественного исследования окружающего нас мира, имеет своей целью получение численного значения определенной величины. Во многих случаях одно и то же явление может исследоваться разными

способами. Поэтому первое, что надлежит сделать после установления объекта изучения — определить параметр, нахождение значения которого является целью измерения. В свою очередь может случиться, что искомый параметр по своей природе таков, что не поддается непосредственному измерению; в практике часто приходится прибегать к косвенным приемам (классический пример — измерение недоступных расстояний). В таких случаях, исходя из характера цели измерения — искомого параметра, приходится выбирать какие-то иные величины, связанные с искомым определенной зависимостью и поддающиеся непосредственному измерению. Назовем эту величину (величины) объектом измерения (измеряемым параметром).

Таким образом, мы вправе различать два самостоятельных понятия: цель измерения (искомый параметр) — та основная величина, определение которой в конечном счете является задачей всего исследования, и объект измерения (измеряемый параметр) — вспомогательная величина, поддающаяся непосредственному измерению и не играющая самостоятельной роли, а служащая только для последующего определения (вычисления) основной цели измерений.

Условимся также, что, исходя из приведенного выше определения измерения мы будем различать еще три понятия: измерение, измерительный процесс и метод измерения, подразумевая под *измерением* — весь познавательный процесс в целом, со всеми его элементами, под

измерительным процессом — процесс проведения эксперимента сравнения, независимо от способа его проведения, и наконец, под методом измерения — способ или путь конкретного выполнения физического эксперимента сравнения, характеризующийся, очевидно, некоторой определенной схемой, аппаратурой, экспериментальными приемами (техникой измерения) и пр. Несомненно, что понятие о методе измерения представляет собой дальнейшее развитие и детализацию более общего понятия измерительного процесса.

На первый взгляд может показаться, что измерение и измерительный процесс — понятия совпадающие. Однако, хотя это справедливо в отдельном частном случае — в общем случае это не так. Как уже указывалось, далеко не каждый, интересующий нас параметр — цель измерения, может быть непосредственно измерен. Вследствие этого цель измерения и непосредственный объект измерения в общем случае различны. Эта разница определяет собой и разницу между измерением и измерительным процессом. Измерение начинается с установления цели (искомого параметра) и оканчивается получением результата, включая в себя, в качестве составной части — измерительный процесс, который, в свою очередь, начинается с установления объекта измерения и кончается результатом наблюдения (отсчетом). В отдельных частных случаях (правда, достаточно распространенных), когда цель и объект измерения (искомый и измеряемый параметры) — совпадают, измерение и измерительный процесс — также совпадают.

Следовательно, в зависимости от характера связи между целью и объектом измерения мы можем представить себе несколько разновидностей измерений при одном и том же измерительном процессе. Поэтому условимся различать измерения по видам, характеризующимся природой физической связи между измеряемым и искомым параметром. Внешним выражением этой связи является математическая форма зависимости одного от другого, что и является видовым признаком. Следовательно, под видом измерения будем подразумевать совокупность измерений, объединенных однотипной формой связи между искомым и измеряемым (измеряемыми) параметрами.

Мы различаем три вида измерений: 1) Непосредственные измерения — результат получается путем прямого сравнения объекта измерения, одновременно являющегося и целью измерения, с образцовой мерой (математическая форма связи цели и объекта — тождество).

2) Косвенные измерения — результат получается в итоге непосредственного измерения других параметров, функционально связанных с целью измерения (математическая форма связи — уравнение).

3) Совокупные измерения — результат получается путем решения системы уравнений, составленной на основании непосредственных измерений, чаще всего — при разных условиях (математическая форма связи — система уравнений).

Вид измерения определяется только характером соотношения между целью и объектом измерения. Ни процесс, ни метод измерения с ним не связаны.

Перейдем теперь к анализу измерительного процесса и классификации методов измерений. Как уже указывалось, любое измерение сводится к сравнению при помощи специального физического эксперимента измеряемой величины с образцовой мерой (т. е. через поверочную схему и эталон — с единицей). Сам этот эксперимент выполняется человеком или при его участии. При этом может быть применена та или иная методика эксперимента (техника измерения).

В состав измерительного процесса в явной или неявной форме входят следующие элементы и факторы: а) измеряемый параметр, б) образцовая мера, в) аппаратура сравнения (измерительный прибор или установка) и г) техника измерения.

На основании этого перечня можно наметить следующие три классификационных признака:

1) По способу сравнения с образцовой мерой.

2) По способу (методу) проведения физического эксперимента сравнения («метод измерения» в узком смысле).

3) По технике измерения.

Посмотрим теперь, какие классификационные группы можно наметить, исходя из этих признаков.

Способ сравнения с образцовой мерой прежде всего можно представить себе в двух основных вариантах. По первому мера всегда присутствует и непрерывно принимает участие в работе, являясь объектом непосредственного сравнения. Назовем это способом одновременного или постоянного сравнения. По другому варианту непрерывное наличие меры не обязательно: она применяется только время от времени для градуировки, проверки или контроля результата в сомнительных случаях. Назовем это способом разновременного или эпизодического сравнения.

Каждая из этих групп, в свою очередь, может быть разбита на две подгруппы. При способе одновременного сравнения можно представить себе случай, когда вся мера целиком прямо сравнивается со всей же измеряемой величиной. Назовем это способом прямого одновременного сравнения.

В некоторых случаях измерительной практики такой прием оказывается неудобным. Например, иногда бывает, что сама по себе измеряемая величина неудобна для сравнения по своему значению — слишком велика или слишком мала. В таких случаях рационально отказаться от метода прямого сравнения и объединить измеряемую величину и образцовую меру в одну группу, измеряя при помощи второй образцовой меры суммарный (в алгебраическом смысле) результат для всей группы в целом. Следовательно, в этом случае необходимо одновременное наличие не менее чем двух образцовых мер. Иско-

мая величина вычисляется по непосредственному результату измерения и по известной мере, входящей в группу. В качестве примера укажем измерение больших емкостей путем последовательного соединения с образцовой емкостью, или, наоборот,—малых емкостей, подключаемых параллельно. Тот же прием возможен для группировки сопротивлений и пр.

Этот метод часто применяют и в тех случаях, когда по абсолютной величине измеряемый параметр не выходит из нормы, но желательно понизить погрешность измерения. Такое понижение легко достигается, если объект измерения по характеру является полярным,—например, э. д. с., напряжение и т. д. Тогда, группируя его с образцовой мерой противоположно по знаку, мы в итоге для группы получаем разность значений. Легко видеть, что если эта разность невелика, то погрешность в ее определении мало влияет на результат. Такой прием распространен, например, при проверке измерительных трансформаторов или нормальных элементов.

Наконец, может представиться случай, когда желательно в известной степени изменить самый характер измеряемого объекта. Например, непосредственное измерение индуктивности на емкостном мостике невозможно из-за расхождения фазовых углов. Однако, если эту индуктивность соединить с образцовой емкостью так, чтобы результирующий фазовый угол всей группы был отрицателен, то тогда измерение (и последующее вычисление индуктивности) вполне возможно. Разновидностью этого метода являются резонансные методы. Вне зависимости от вариантов назовем это способом комбинированного (группового) сравнения.

В свою очередь, способ одновременного сравнения может быть представлен в двух крайних вариантах. По первому образцу, в сущности, непрерывно участвует в работе, но не путем прямого сравнения, а путем замещения объекта измерения с последующей регулировкой схемы на прежнее состояние при помощи самой образцовой меры, которая в этом случае обязательно должна быть с переменным значением. Это очень распространенный прием, аналогичный классическому взвешиванию на неверных весах, применяемый тогда, когда правильность работы самой измерительной установки почему-либо внушает опасения. Назовем этот прием способом одновременного сравнения подстановкой.

Второй крайний случай — когда образцовая мера вообще отсутствует и никакого участия непосредственно в измерениях не принимает, применяясь только для градуировки и поверки. Назовем это способом одновременного сравнения градуировкой. К этой группе, естественно, относятся все приборы с непосредственным отсчетом.

Таковы, по нашему мнению, четыре основных классификационных группы по признаку способа сравнения с образцовой мерой. Возможно, несомненно, и более мелкое деление; однако, вряд ли оно необходимо в общей классификации.

Перейдем теперь к рассмотрению второго признака — метода проведения физического эксперимента. Существующие в электрометрии методы измерений, как нам кажется, могут быть разбиты на две основные группы: методы дифференциальные и методы компенсационные.

Под дифференциальным методом мы будем подразумевать метод, основанный на измерении разности двух величин, связанных друг с другом при помощи вспомогательного параметра, неизменяемого и не зависящего от объекта измерения. Образование и измерение этой разности происходит внутри схемы, при помощи специального дифференциального индикатора, включаемого в обе цепи сравнения. Характерными техническими признаками этого метода является наличие одного источника энергии (обобщенной силы) и независимость результата измерения (при нулевом варианте) от состояния этого источника.

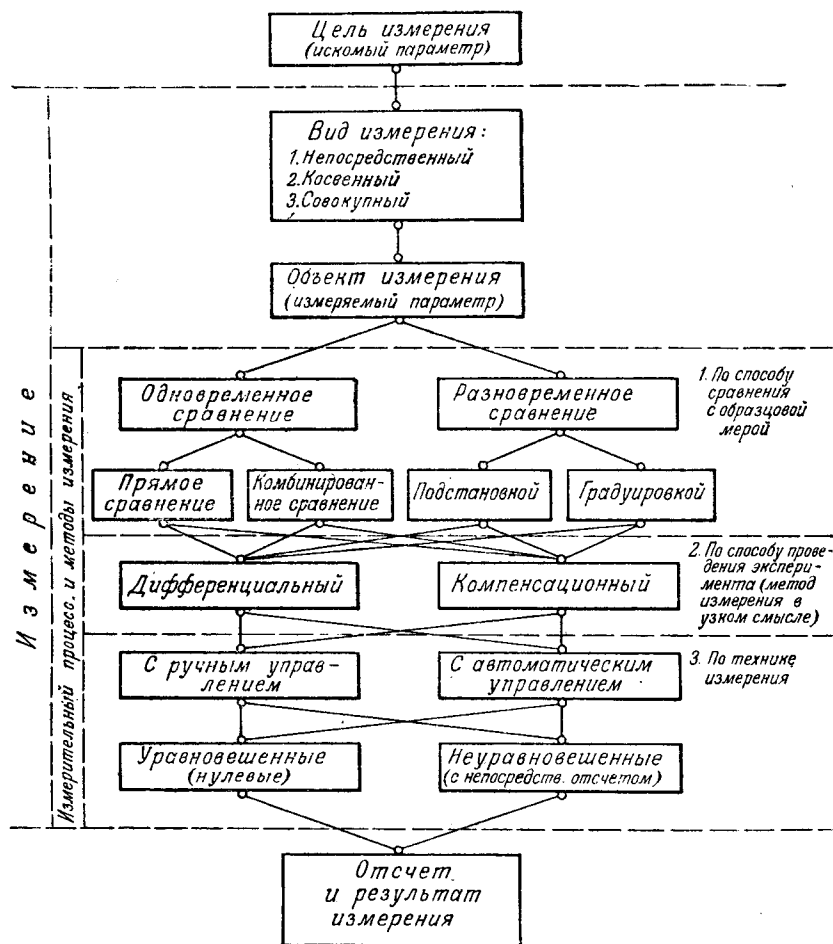
В качестве примера дифференциальных методов можно назвать дифференциальный гальванометр, дифференциальный трансформатор и, наконец, — мосты постоянного и переменного тока (дифференциальный индикатор — схемного типа — два плеча отношения с гальванометром). Вспомогательным, связующим параметром в этих примерах является ток или напряжение источника питания.

Под компенсационным методом мы будем подразумевать метод, основанный на измерении разности двух величин, не связанных друг с другом. Разность эта образуется вне индикатора, который в этом случае не имеет элементов, включаемых в обе цепи сравнения. Характерными техническими признаками являются: наличие двух самостоятельных источников энергии (силы) и зависимость результатов измерения от состояния этих источников даже и при нулевом варианте.

Так как дифференциальный метод принципиально имеет только один источник напряжения — он и пригоден только для измерения параметров цепи. Компенсационный метод, имеющий два источника, один из которых может быть образцовым, — пригоден для измерения э. д. с., напряжений и косвенно, по падению напряжения, токов и параметров цепи. Следует заметить, что если положить в компенсационном методе оба источника энергии равными и соответственно слить их, то метод перейдет в дифференциальный. Так, например, компенсационный метод измерения сопротивлений при  $U_1 = U_2$  обращается в мостовой. Этому правилу не подчиняются мостообразные компенсаторы (типа Диссельхорста).

Указанное деление методов измерений в известной степени можно распространить и на измерительные приборы. Тогда в соответствии с принятыми определениями к дифференциальным методам надлежит отнести приборы типа логометров (движущий момент пропорционален разности вращающих моментов, имеющих общий параметр — магнитное поле; положение равновесия от напряженности поля не меняется),

## Классификация методов электрических измерений



а к компенсационным — остальные стрелочные приборы (движущий момент пропорционален разности двух независимых моментов — вращающего и противодействующего; второй источник энергии — пружина<sup>1</sup>, с изменением упругости которой показания прибора меняются).

Перейдем, наконец, к обсуждению третьего и последнего классификационного признака — техники измерения. Здесь, видимо, не вызовет особых дискуссий разделение методов измерений на четыре группы:

1. По способу управления — методы с автоматическим управлением и методы с ручным управлением.

2. По способу отсчета — методы уравновешенные (нулевые) и методы неуравновешенные (с непосредственным отсчетом).

Заметим, что указанные классификационные группы допускают весьма разнообразное комбинирование.

На основании изложенных соображений предлагаемую классификацию можно представить

<sup>1</sup> Или вообще приспособление, создающее противодействующий момент.

в наглядной — графической форме с указанием возможной взаимосвязи отдельных групп.

Мы исключили из рассмотрения еще один возможный, но менее существенный классификационный признак — способ получения результата измерения непосредственно по отсчету (результату наблюдения) или с учетом погрешности (путем соответствующей математической обработки результатов наблюдения).

Несомненно, что можно предложить и иные варианты классификации (особенно в части терминологии и порядка следования классификационных групп). Однако, изложенный здесь вариант, как нам кажется, хорошо охватывает все методы электрических измерений и достаточно отвечает поставленным целям.

Конструктивных и схемных признаков мы не касались, так как они должны являться предметом локальных классификаций.

Хотя описанная классификация предназначена непосредственно для методов электрических измерений, все же есть основания полагать, что она носит достаточно общий характер и пригодна также, если не для всех, то для многих других категорий методов измерений.

## Индукционный регулятор с соединением обмоток статора и ротора в общий треугольник

Инж. А. И. ВОЛЬДЕК

Ленинградский политехнический институт им. Калинина

Общеизвестны трехфазные индукционные регуляторы, у которых одна из обмоток, например обмотка ротора, приключается параллельно к сети, а вторая обмотка включается пофазно последовательно в ту же сеть. Возможна, однако, иная схема соединения обмоток регулятора (рис. 1), где пофазно последовательно соединенные обмотки статора и ротора включены в общий треугольник. Если к вершинам  $A, B, C$  этого треугольника подвести напряжение  $U_1 = \text{const}$ , то вторичное напряжение  $U_2$ , снимаемое с точек  $a, b, c$  сторон треугольника, будет являться функцией угла  $\beta$  — поворота ротора регулятора относительно статора.

Подобный регулятор во многих случаях имеет существенные преимущества перед регулятором обычного типа. Эти преимущества заключаются, во-первых, в том, что в ряде случаев расчетная или габаритная мощность этого регулятора при прочих равных условиях значительно меньше, чем расчетная мощность регулятора обычного типа. Это обстоятельство становится ясным, если обратить внимание на то, что рис. 1 при одинаковых числах витков на статоре и роторе ( $w_s = w_r$ ), равенстве соответствующих обмоточных коэффициентов ( $k_s = k_r$ ) и совпадении осей фаз статора и ротора одного и того же плеча треугольника ( $\beta = 0$ ) представляет собой схему автотрансформатора с коэффициентом трансформации  $U_2/U_1 = 0,5$ . Как известно, отношение внутренней, расчетной мощности такого автотрансформатора к внешней мощности на вторичных зажимах составляет 0,5, если пренебречь током холостого хода. Регулятор же обычного типа с  $w_s k_s = w_r k_r$  при  $U_2/U_1 = 0,5$  не дает никакого выигрыша в расчетной мощности.

При  $\beta \neq 0$  условия работы рассматриваемого регулятора ухудшаются вследствие возрастания магнитного потока. Однако, если, например, имеется необходимость в регулировании вторичного напряжения в пределах от  $U_2 = 0$  до  $U_2 = U_1$ , то расчетная мощность регулятора рассматриваемого типа составит все же лишь  $\frac{100}{\sqrt{3}} \approx 58\%$  от мощности регулятора обычного типа, который при указанных условиях также должен иметь  $w_s k_s = w_r k_r$ . Интересно отме-

тить, что при указанных условиях рассматриваемый регулятор может быть получен из обычного простым переключением обмоток, так как на крайних пределах регулирования условия насыщения магнитной цепи будут одинаковы и при этом достигается возможность нагружать регулятор в  $\sqrt{3}$  раз большей мощностью. При иных пределах регулирования напряжения выгодность применения регулятора рассматриваемого типа уменьшается, но может все же оказаться значительным.

Вторым преимуществом рассматриваемого регулятора является возможность получать вторичные напряжения, совпадающие по фазе с первичными или сдвинутыми относительно их на  $180^\circ$ . Как известно, для достижения подобных условий с регуляторами обычного типа требуется применение двоянных регуляторов.

Построенная на рис. 2 для некоторого положительного (поворот ротора в сторону вращения поля) угла  $\beta$  диаграмма напряжений „идеального“ (с равными нулю активными и индуктивными сопротивлениями рассеяния обмоток) регулятора рассматриваемого типа поясняет принцип его работы. Неизменный по величине и положению треугольник  $ABC$  представляет систему приложенных первичных напряжений. Индуцированные вращающимся полем э. д. с. в фазах обмоток статора  $E_s$  и ротора  $E_r$  сдвиг-

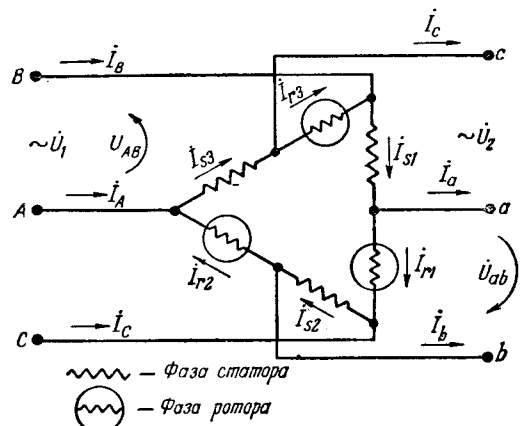


Рис. 1. Схема регулятора.

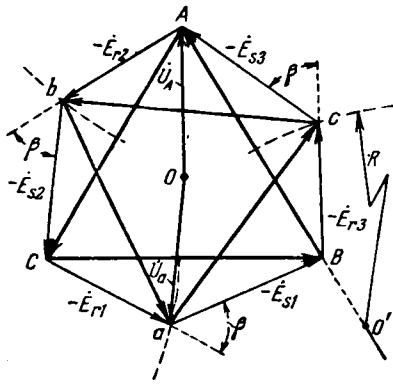


Рис. 2. Диаграмма напряжений идеального регулятора.

ноты друг относительно друга в одном и том же плече треугольника  $ABC$  (рис. 1) на угол  $\beta$  и уравнивают приложенные напряжения. Треугольник  $abc$  представляет систему вторичных напряжений и при изменении  $\beta$  изменяется по величине и по положению относительно треугольника  $ABC$ , скользя своими вершинами, как выясняется ниже, по окружностям, дуги которых показаны на рис. 2. В случае одинаковых по числу витков обмоток на статоре и роторе указанные окружности обращаются в прямые, пересекающие стороны треугольника  $ABC$  (рис. 2) по середине под прямым углом. При  $\beta > -60^\circ$  ( $\beta < -60^\circ$ ) вторичные напряжения сдвинуты по фазе на  $180^\circ$  (совпадают по фазе) относительно первичных напряжений, а при  $\beta = -60^\circ$  вторичные напряжения равны нулю.

Для узла  $c$  (рис. 1) зависимости между токами таковы:

$$\left. \begin{aligned} i'_{r3} &= -c i'_{s3} e^{-j\beta} = c i'_{s3} e^{j(\pi + \beta)}; \\ i_c &= i'_{s3} - i'_{r3} = i'_{s3} (1 + c e^{-j\beta}); \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где

$$\begin{aligned} i'_{s3} &= i_{s3} - i_{\mu 3}; \\ i'_{r3} &= i_{r3} - i_{\mu 3}; \\ c &= \frac{\omega_s k_s}{\omega_r k_r}, \end{aligned}$$

а  $i_{\mu 3}$  — намагничивающий ток в плече  $AB$ .

Векторная диаграмма токов (рис. 3), построенная по полученным зависимостям для случая  $\beta > 0$  и  $c = 1$  иллюстрирует распределение тока нагрузки по обмоткам статора и ротора. В рассматриваемом случае за счет намагничивающих токов  $I_s > I_r$ . Если в схеме рис. 1 поменять местами фазы обмотки статора и ротора или изменить чередование фаз приложенного (первичного) напряжения, то будем иметь  $I_r > I_s$ .

**Основные уравнения регулятора.** Введем обозначения: 1)  $Z_s = r_s + jx_s$  и  $Z_r = r_r + jx_r$  — комплексы активных и индуктивных сопротивлений рассеяния фаз статора и ротора, 2)  $x_1$  и  $x_2$  — индуктивные сопротивления фаз статора и ротора от потоков, замыкающихся через воздушный зазор; при этом  $x_1$  (соответственно  $x_2$ )

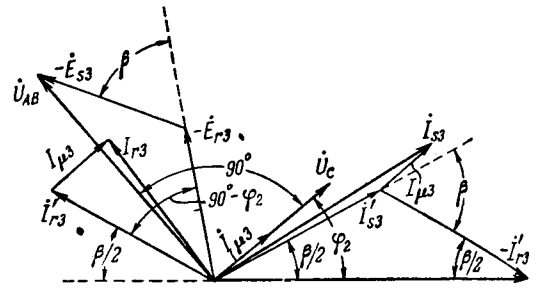


Рис. 3. Диаграмма токов идеального регулятора.

учитывает совокупное действие м. д. с. всех фаз статора (соответственно ротора), 3)  $x = x_{12} = x_{21}$  — сопротивление взаимной индукции фаз статора и ротора.

При этих обозначениях для первичных и вторичных фазных напряжений в системе звезды можно найти

$$\begin{aligned} 3\dot{U}_A &= i_A [Z_s + jx_1] + (Z_r + jx_2) + \\ &+ i_A jx_2 \cos \beta - i_a [a^2 (Z_s + jx_1) + \\ &+ a (Z_r + jx_2)] + i_A jx [\cos \beta + \sqrt{3} \sin \beta], \\ 3\dot{U}_a &= -i_a [(Z_s + jx_1) + (Z_r + jx_2)] - \\ &- i_a jx [-\cos \beta + \sqrt{3} \sin \beta] + \\ &+ i_A [a (Z_s + jx_1) + a^2 (Z_r + jx_2)] - \\ &- i_A jx [\cos \beta + \sqrt{3} \sin \beta], \end{aligned} \quad (2)$$

где

$$a = e^{j \frac{2\pi}{3}}.$$

Уравнения (2) являются основными уравнениями регулятора и аналогичны основным уравнениям трансформатора.

**Геометрические места вторичного напряжения.** Выразив вторичное напряжение  $\dot{U}_a$  в функции первичного напряжения  $\dot{U}_A$  и вторичного тока  $i_a$ , исключив для этого из (2)  $i_A$ , можно вторичное фазное напряжения привести к виду:

$$\dot{U}_a = -k \dot{U}_A - i_a Z_{\kappa 2}. \quad (3)$$

Первый член равенства (3)

$$\dot{U}_{a0} = -k \dot{U}_A \quad (4)$$

определяет вторичное напряжение регулятора при холостом ходе ( $i_a = 0$ ), а второй член

$$\Delta \dot{U}_a = i_a Z_{\kappa 2} \quad (5)$$

падение вторичного напряжения при нагрузке, причем  $Z_{\kappa 2}$  — сопротивление короткого замыкания регулятора, отнесенное к вторичной стороне, и  $k$  — «коэффициент трансформации» при холостом ходе.

Выражения для  $k$  и  $Z_{\kappa 2}$  сложны. Их можно значительно упростить для всех практических случаев без заметного ущерба для точности и



принять:

$$k = \frac{1}{2} + \sqrt{3} \xi \sin \beta - j \frac{\sqrt{3}}{2} \sigma \frac{c^2 - 1}{c} \xi, \quad (6)$$

$$Z_{\kappa 2} = (Z_s + c^2 Z_r) \frac{1}{c} \xi, \quad (7)$$

где

$$\xi = \frac{c}{\sigma(c^2 + 1) + 2c \cos \beta},$$

$$\sigma = 1 + \frac{x_s}{x_1} \approx 1 + \frac{x_r}{x_2}. \quad (8)$$

Для идеального регулятора  $Z_{\kappa 2} = 0$  и  $\sigma = 1$ . В этом случае

$$\dot{U}_a = -k_i \dot{U}_A =$$

$$= -\left(\frac{1}{2} + \sqrt{3} \eta \sin \beta - j \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{c^2 - 1}{c} \eta\right) \dot{U}_A, \quad (9)$$

где

$$\eta = \frac{c}{c^3 + 2c \cos \beta + 1}. \quad (10)$$

Уравнение (9), как можно показать, при переменном  $\beta$  представляет в комплексной плоскости окружность с радиусом

$$R = \sqrt{3} \frac{c}{c^2 - 1} U_A. \quad (11)$$

т. е. конец вектора  $\dot{U}_a$  при повороте ротора движется по окружности.

Окружность напряжения  $\dot{U}_a$  по (9) для случая  $c=2$  представлена на рис. 4 пунктиром. Характерные точки диаграммы определяются равенствами

$$\overline{O} \overline{A} = \frac{1}{2} U_A,$$

$$\overline{AO'} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \frac{c^2 + 1}{c^2 - 1} U_A, \sin \alpha = \frac{c^2 - 1}{c} \eta \sin \beta.$$

Если учитывать сопротивления обмоток („реальный регулятор“), то геометрическое место вторичного напряжения уже при холостом ходе ( $\dot{U}_{a0}$ ) не является окружностью, что иллюстрируется рис. 4, где жирной линией изображено геометрическое место  $\dot{U}_{a0}$  при  $c=2$  и  $\sigma=1,04$ , построенное согласно равенств (3), (6) и (7) для исследованного автором регулятора мощностью 5,4 кВт, а пунктиром [по равенству (9)] — окружность идеального регулятора также при  $c=2$ , причем масштаб определяется вектором первичного напряжения  $\dot{U}_A$ , принятым за единицу. Там же тонкой линией нанесена окружность диаметра

$$D = \frac{2 \sqrt{3} c}{V c^2 (c^2 + 1)^2 - 4 c^2} U_A, \quad (12)$$

которая в рабочей зоне регулятора ( $-150^\circ \leq \beta \leq +150^\circ$ )

почти совпадает с кривой  $\dot{U}_{a0}$ . Величина  $D$  является максимальным размером „хорды“ кривой  $\dot{U}_{a0}$  в направлении, параллельном оси действительных величин. На том же рисунке изображено геометрическое место вторичного напряжения при нагрузке номинальным током с учетом падения напряжения. Величина вторичного тока  $\dot{I}_a$  и его фаза относительно

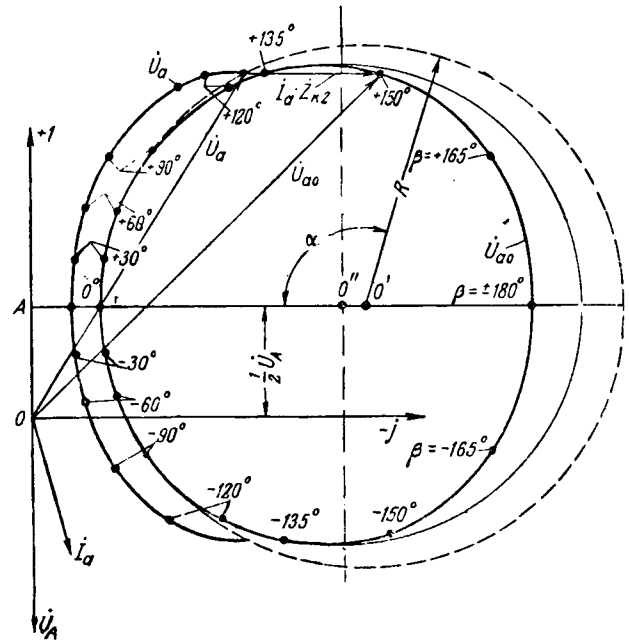


Рис. 4. Геометрические места вторичного напряжения реального регулятора при  $c=2$ .

напряжения  $\dot{U}_A$  сохранены постоянными, что приблизительно соответствует режиму работы регулятора в схеме шунтового коллекторного двигателя переменного тока с регулированием при постоянном моменте.

**Электромагнитные величины регулятора.** Приведем здесь без доказательства равенства, определяющие зависимость электромагнитных величин идеального регулятора от угла  $\beta$ .

Имеем:

$$\begin{aligned} \frac{U_s}{U_{s0}} = \frac{U_r}{U_{r0}} = \frac{\Phi}{\Phi_0} &= \sqrt{\frac{I_\mu}{I_{\mu 0}}} = \frac{c+1}{\sqrt{3}c} \sqrt{\eta}, \\ \frac{I'_s}{I_a} &= \sqrt{\frac{\eta}{c}}, \quad \frac{I'_r}{I_a} = \sqrt{c\eta}, \\ I'_A &= -\left(\frac{1}{2} + \sqrt{3} \eta \sin \beta + \right. \\ &\quad \left. + j \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \frac{c^2 - 1}{c} \eta\right) I_a. \end{aligned} \quad (13)$$

Здесь величины:

- с индексом 0 — значения соответствующих величин при  $\beta=0$ ,
- без индекса 0 — при текущем значении угла  $\beta$ ,
- $I'_s$  и  $I'_r$  — нагрузочные составляющие токов фаз статора и ротора, т. е. токи соответствующих фаз за вычетом намагничивающих токов;
- $I'_A$  — нагрузочная составляющая первичного тока.

Равенства (13) показывают, что при прочих равных условиях электромагнитные нагрузки регулятора с увеличением абсолютного значения угла  $\beta$  растут, являясь минимальными при  $\beta=0$ , когда коэффициент  $\eta$  минимален.

# Расчет токов и напряжений при коротких замыканиях с одновременным обрывом фазы

Инж. Н. М. ГОРБАТОВ

Ленинградский политехнический институт им. Калинина

В последние годы получило широкое распространение однофазное отключение и автоматическое повторное включение (ОАПВ) электропередач с заземленной нейтралью. При анализе поведения релейной защиты в этих режимах обычно требуется производить большое количество расчетов токов и напряжений при к. з. с одновременным обрывом фазы. В настоящее время такие расчеты производятся согласно комплексной схеме замещения, составленной по месту обрыва. Для определения токов и напряжений пользуются формулами, по которым токи каждой последовательности определяются путем суммирования составляющих токов от каждой э. д. с. схемы замещения в отдельности [Л. 1]:

$$\left. \begin{aligned} I_{\kappa 1} &= \frac{E_1 - U_{\kappa 1}}{Z_{рез} I_1} + \alpha_1^2 \frac{U_{\kappa 2}}{Z_{рез} I_2} + \\ &+ \alpha_1^0 \frac{U_{\kappa 0}}{Z_{рез} I_0} + \frac{E_{II} - U_{\kappa 1}}{Z_{II1}}; \\ I_{\kappa 2} &= -\alpha_2^{(1)} \frac{E_1 - U_{\kappa 1}}{Z_{рез} I_1} - \frac{U_{\kappa 2}}{Z_{рез} I_2} + \\ &+ \alpha_2^{(0)} \frac{U_{\kappa 0}}{Z_{рез} I_0} - \frac{U_{\kappa 2}}{Z_{II2}}; \\ I_{\kappa 0} &= -\alpha_0^{(1)} \frac{E_1 - U_{\kappa 1}}{Z_{рез} I_1} + \alpha_0^{(2)} \frac{U_{\kappa 2}}{Z_{рез} I_2} - \\ &- \frac{U_{\kappa 0}}{Z_{рез} I_0} - \frac{U_{\kappa 0}}{Z_{II0}}. \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

При предположении независимости э. д. с. генераторов и их реактивностей от удаленности к. з. допускается возможность применения принципа наложения. Однако, формулы (1) не единственные для решения данной задачи. Для схемы замещения возможно применение метода контурных токов, теоремы Тевенена и т. п. Все это дает иные более простые расчетные выражения. Действительно, если принять за основу схему замещения сети рис. 1, б и контуры цепей положительной и нулевой последовательности обойти в направлении тока  $I_{y1}$  и пути  $K'_0 K_0 K_1 K'_1$ , а контуры цепей отрицательной и нулевой последовательности обойти в направлении тока  $I_{y2}$  и пути  $K'_0 K_0 K_2 K'_2 K'_0$  получим:

$$\left. \begin{aligned} I_{y1}(Z_{11} + Z_{10}) + I_{y2}Z_{10} &= E_1 - U_{\kappa 1} + U_{\kappa 0}; \\ I_{y1}Z_{10} + I_{y2}(Z_{10} + Z_{12}) &= U_{\kappa 0} - U_{\kappa 2}; \\ I_{y0} &= -(I_{y1} + I_{y2}). \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

В самом общем случае при учете нагрузок сопротивления  $Z_{II1}$  и  $Z_{II2}$  суть конечные вели-

чины. Рассматривая правые контуры схемы каждой последовательности, можно написать:

$$\left. \begin{aligned} I_{\kappa 1} &= I_{y1} + \frac{E_{II} - U_{\kappa 1}}{Z_{II1}}; \\ I_{\kappa 2} &= I_{y2} - \frac{U_{\kappa 2}}{Z_{II2}}; \\ I_{\kappa 0} &= I_{y0} - \frac{U_{\kappa 0}}{Z_{II0}}. \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Для расчета сети с односторонним питанием без учета нагрузок имеем уравнения:

$$\left. \begin{aligned} I_{y1}(Z_{11} + Z_{10}) + I_{y2}Z_{10} &= E_1 - U_{\kappa 1} + U_{\kappa 0}; \\ I_{y1}Z_{10} + I_{y2}(Z_{10} + Z_{12}) &= U_{\kappa 0} - U_{\kappa 2}, \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

причем

$$I_{y1} = I_{\kappa 1}; \quad I_{y2} = I_{\kappa 2}; \quad I_{\kappa 0} = I_{y0} - \frac{U_{\kappa 0}}{Z_{II0}}.$$

Если желательно исходным уравнениям придать обычно употребляемый вид, но без вспомогательных коэффициентов, то, решая систему (2) относительно токов  $I_{y1}$ ,  $I_{y2}$ ,  $I_{y0}$  и подставляя результат в (3), получим:

$$\left. \begin{aligned} I_{\kappa 1} &= \frac{1}{k} \left[ (E_1 - U_{\kappa 1})(Z_{10} + Z_{12}) + U_{\kappa 0}Z_{12} + \right. \\ &+ \left. U_{\kappa 2}Z_{10} \right] + \frac{E_{II} - U_{\kappa 1}}{Z_{II1}}; \\ I_{\kappa 0} &= \frac{1}{k} \left[ -(E_1 - U_{\kappa 1})Z_{12} - \right. \\ &- \left. (Z_{12} + Z_{11})U_{\kappa 0} + Z_{11}U_{\kappa 2} \right] - \frac{U_{\kappa 0}}{Z_{II0}}; \\ I_{\kappa 2} &= \frac{1}{k} \left[ -(E_1 - U_{\kappa 1})Z_{10} + Z_{11}U_{\kappa 0} - \right. \\ &- \left. (Z_{10} + Z_{11})U_{\kappa 2} \right] - \frac{U_{\kappa 2}}{Z_{II2}}; \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

где  $k = Z_{11}Z_{10} + Z_{12}Z_{10} + Z_{11}Z_{12}$ .

Из анализа (2) и (3) следует, что токи и напряжения при к. з. с одновременным обрывом фазы не зависят от места обрыва. Это позволяет объединить точки обрыва и к. з. в одну точку (при расположении места обрыва и точки к. з. на одной и той же линии — между двумя одними и теми же узловыми точками системы), что дает дальнейшие упрощения.

Если пользоваться формулами (5), то нет необходимости вычислять все три выражения в квадратных скобках. Достаточно вычислить лишь любые два, — третье будет равно их сумме с обратным знаком. Это аналогично тому, что лю-

бой коэффициент при любом напряжении к. з. в квадратных скобках равен сумме соответственных коэффициентов в двух других квадратных скобках, взятой с обратным знаком. Эти соотношения, справедливые в самом общем случае, непосредственно следуют из (5), а также из условия  $I_{y1} + I_{y2} + I_{y0} = 0$ , характеризующего обрыв фазы.

В применении к формулам (1) это соответствует следующему соотношению между коэффициентами распределения:

$$\begin{cases} \alpha_1^{(2)} + \alpha_0^{(2)} = 1; \\ \alpha_2^{(1)} + \alpha_0^{(1)} = 1; \\ \alpha_1^{(0)} + \alpha_2^{(0)} = 1. \end{cases} \quad (6)$$

Из сопоставления (1) и (5) можно получить также соотношения:

$$\begin{cases} \frac{Z_{рез} I_0}{Z_{рез} I_1} = \frac{\alpha_1^{(0)}}{\alpha_0^{(1)}}; \\ \frac{Z_{рез} I_0}{Z_{рез} I_2} = \frac{\alpha_2^{(0)}}{\alpha_0^{(2)}}; \\ \frac{Z_{рез} I_1}{Z_{рез} I_2} = \frac{\alpha_2^{(1)}}{\alpha_1^{(2)}}. \end{cases} \quad (7)$$

Следовательно, при расчетах по уравнениям (1) в самом общем случае, благодаря наличию зависимостей (6) и (7) достаточно определить лишь три величины  $Z_{рез} I_1$ ,  $Z_{рез} I_2$  и  $Z_{рез} I_0$ .

В качестве примера произведем расчет токов и напряжений при обрыве фазы с одновременным ее заземлением. Пусть  $E_1 = E_{II} = E_2$  и  $Z_1 = Z_2$ . Условия, характеризующие повреждение  $I_{\kappa 1} = I_{\kappa 2} = I_{\kappa 0}$ ;  $U_{\kappa 1} + U_{\kappa 2} + U_{\kappa 0} = 0$ .

Вычитая из первого уравнения системы (2) второе, получим:

$$I_{y1} - I_{y2} = \frac{U_{\kappa 2} - U_{\kappa 1} + E_2}{Z_{11}}.$$

Из (3) аналогично имеем:

$$I_{y1} - I_{y2} = \frac{U_{\kappa 2} - U_{\kappa 1} + E_2}{Z_{11}}.$$

Это соответствует  $U_{\kappa 2} - U_{\kappa 1} + E_2 = 0$ , т. е.

$$I_{y1} = I_{y2}; \quad I_{y0} = 2I_{y1},$$

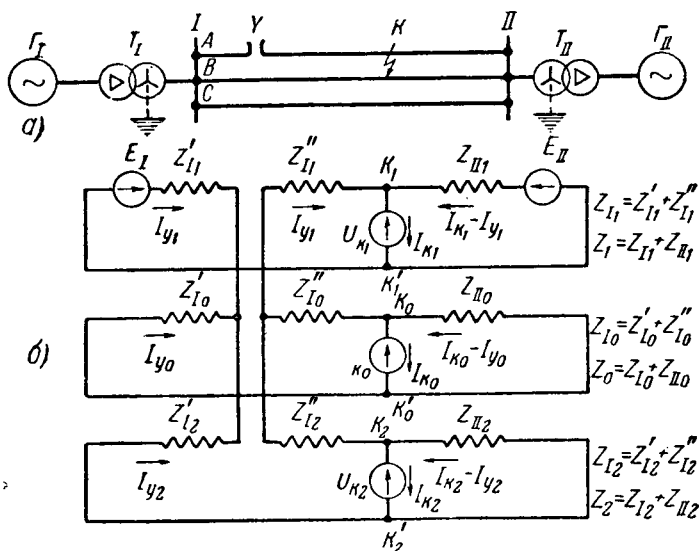
так как в общем случае  $Z_{11} \neq Z_{10}$ .

Первое уравнение системы (2) дает

$$I_{y1} = \frac{E_2 - U_{\kappa 1} + U_{\kappa 0}}{Z_{11} + 2Z_{10}}.$$

Подставляя это выражение в первое и третье уравнения системы (3), получим:

$$\begin{aligned} I_{\kappa 1} &= \frac{E_2 - U_{\kappa 1} + U_{\kappa 0}}{Z_{11} + 2Z_{10}} + \frac{E_2 - U_{\kappa 1}}{Z_{11}}; \\ I_{\kappa 0} &= \frac{-2(E_2 - U_{\kappa 1} + U_{\kappa 0})}{Z_{11} + 2Z_{10}} - \frac{U_{\kappa 0}}{Z_{10}}. \end{aligned}$$



Используя условия, характеризующие повреждение, получим уравнения:

$$\begin{aligned} U_{\kappa 1} \left( \frac{3}{Z_{11} + 2Z_{10}} + \frac{1}{Z_{11}} \right) - U_{\kappa 0} \left( \frac{3}{Z_{11} + 2Z_{10}} + \frac{1}{Z_{10}} \right) &= \\ &= \left( \frac{3}{Z_{11} + 2Z_{10}} + \frac{1}{Z_{11}} \right) E_2; \\ 2U_{\kappa 1} + U_{\kappa 0} &= E_2, \end{aligned}$$

решение которых дает:

$$\begin{aligned} U_{\kappa 1} &= \frac{6 + (Z_{11} + 2Z_{10}) \left( \frac{1}{Z_{11}} + \frac{1}{Z_{10}} \right)}{9 + (Z_{11} + 2Z_{10}) \left( \frac{1}{Z_{11}} + \frac{1}{Z_{10}} \right)} E_2; \\ U_{\kappa 2} &= - \frac{3 + \frac{Z_{11} + 2Z_{10}}{Z_{10}}}{9 + (Z_{11} + 2Z_{10}) \left( \frac{1}{Z_{11}} + \frac{2}{Z_{10}} \right)} E_2; \\ U_{\kappa 0} &= - \frac{3 + \frac{Z_{11} + 2Z_{10}}{Z_{11}}}{9 + (Z_{11} + 2Z_{10}) \left( \frac{1}{Z_{11}} + \frac{2}{Z_{10}} \right)} E_2. \end{aligned}$$

Из второго уравнения системы (2) непосредственно получаем:

$$I_{y1} = I_{y2} = \frac{U_{\kappa 0} - U_{\kappa 2}}{Z_{11} + 2Z_{10}},$$

далее

$$I_{\kappa 1} = I_{y1} - \frac{U_{\kappa 2}}{Z_{11}}.$$

В качестве второго примера рассмотрим случай замыкания фаз B и C на землю при обрыве фазы A.

Условия, характеризующие повреждение:

$$\begin{aligned} I_{\kappa 1} + I_{\kappa 2} + I_{\kappa 0} &= 0; \\ U_{\kappa 1} = U_{\kappa 2} = U_{\kappa 0} &. \end{aligned}$$

Из системы (2) получаем:

$$I_{y1} = \frac{Z_{11} + Z_{10}}{Z_{11}(Z_{11} + 2Z_{10})} E_2;$$

$$I_{y2} = -\frac{Z_{10}}{Z_{11}(Z_{11} + 2Z_{10})} E_2;$$

$$I_{y0} = -\frac{1}{Z_{11} + 2Z_{10}} E_2.$$

Складывая все уравнения системы (3), получим:

$$U_{\kappa 1} = U_{\kappa 2} = U_{\kappa 0} = \frac{\frac{1}{Z_{\Pi 1}}}{\frac{2}{Z_{\Pi 1}} + \frac{1}{Z_{\Pi 0}}} E_2.$$

Токи  $I_{\kappa 1}$ ,  $I_{\kappa 2}$ ,  $I_{\kappa 0}$  получаются непосредственно из (3).

Рассмотренные примеры показывают, что вышеприведенный способ дает значительное упрощение расчетов, а его применение не требует вспомогательных операций и таблиц.

Соотношения (6) и (7) дают дополнительные упрощения для общепринятых формул (1).

#### Литература

1. А. Б. Чернин. Расчет токов и напряжений для целей анализа релейной защиты при к. з. с одновременным обрывом фазы. Электричество, № 6, 1948.
2. А. Б. Чернин. Расчеты токов к. з. при одновременном обрыве фазы для анализа релейной защиты. В сборнике „Релейная защита и системная автоматика“, Госэнергоиздат, 1948.

[2. 12. 1948]



## Экспериментальное исследование динамических перенапряжений

Кандидат техн. наук Г. Н. ТЕР-ГАЗАРЯН

Тбилисский научно-исследовательский институт сооружений и гидроэнергетики

При несимметричном коротком замыкании на холостой линии, приключенной к гидрогенератору без демпферных обмоток, напряжение неповрежденной фазы может оказаться намного выше нормального. Это объясняется развитием резонанса в контуре, составленном из индуктивности и емкости элементов электропередачи. Такие перенапряжения, называемые динамическими, могут представлять опасность для изоляции электрических установок.

В теоретических исследованиях [Л. 1—6], особенно в работах Н. Н. Щедрина, П. С. Жданова, Р. М. Кантор, предложены способы расчета, проанализировано влияние отдельных факторов и развита общая картина возбуждения резонансных перенапряжений. Однако, по причине органической сложности вопроса динамические перенапряжения, как отмечают исследователи, изучены недостаточно ни теоретически, ни практически. Методика исследования и способы расчета, если они основаны на уравнениях переходных процессов в синхронной машине [Л. 1, 3, 6], весьма сложны и не наглядны, поэтому полученные результаты не могут рассматриваться как окончательно установленные. Более же простые методы расчета [Л. 2, 4] не охватывают в должной мере всех сторон процесса, поэтому для дальнейшего их изучения необходимо экспериментальное исследование, которое позволит проверить имеющиеся теоретические выводы, оценить роль как второстепенных факторов, так и упрощающие допущения, сделанные в теоретических работах.

Экспериментальное исследование, описанное в литературе [Л. 5], было проведено на модели, по-

этому полученные данные не могут быть с уверенностью распространены на действующие электропередачи и должны рассматриваться скорее как качественные, но не количественные.

В настоящей работе приведены результаты опытного изучения проведенного не на модели, а в действующей системе, поэтому полученные данные близко соответствуют интересующему нас процессу и с достаточной уверенностью могут быть распространены и на другие установки.

**Постановка опытов.** Динамические перенапряжения изучались на гидрогенераторе без демпферных обмоток, мощностью 16 500 ква, напряжением 10 кв, включенном через трехобмоточный трансформатор той же мощности, соединенный по схеме  $\Delta/\Delta/\Delta$  с заземленным нулем на холостую одноцепную линию 110 кв. Замыкание между двумя фазами и фазы на землю в начале и конце линии осуществлялось включением использованного для этой цели междушинного масляного выключателя. Этим же выключателем производилась и выдержка времени режима короткого замыкания. На осциллограммах получалось вначале напряжение неповрежденной фазы в нормальном режиме, затем оно же в режиме короткого замыкания. Осциллографировалось фазовое напряжение на высоковольтной стороне силового трансформатора. В процессе опытов изменялись: 1) Длина линии: 80 и 100 км. 2) Вид короткого замыкания: фаза на землю и замыкание между фазами. 3) Место короткого замыкания: начало и конец линии. 4) Момент по фазе возникновения короткого замыкания, от чего зависит величина апериодической составляющей тока статора.

**Основные результаты опытов.** На рисунках 1 и 2 представлены полученные осциллограммы<sup>1</sup>, а в таблице сведены основные данные их обработки.

Как видно, напряжение неповрежденной фазы линии состоит из двух составляющих: быстро затухающей и медленно затухающей.

Осциллограммы	Вид и место короткого замыкания	Длина линии, км	$\frac{U'}{U_N}$	$\frac{U''}{U_N}$	$\frac{U'''}{U_N}$	$\frac{U'''}{U''}$	Длительность режима короткого замыкания, сек.
1	Фаза на землю в начале линии . . . . .	100	5,8	4,0	2,8	1,45	3,34
2	Фаза на землю в конце линии . . . . .	100	3,0	2,7	2,4	1,11	3,0
3	Фаза на землю в начале линии . . . . .	80	6,1	5,4	4,3	1,13	2,84
4	Замыкание между двумя фазами в начале линии . . . . .	80	6,0	5,6	4,8	1,07	0,695
5	Замыкание фазы на землю в начале линии . . . . .	80	6,0	5,3	4,5	1,13	0,86

Примечание.

$U_N$  — номинальное напряжение линии электропередачи;

$U'$  — максимальное напряжение с учетом апериодической составляющей;

$U''$  — максимальное напряжение после затухания апериодической составляющей;

$U'''$  — напряжение в конце режима короткого замыкания.

Быстрозатухающая исчезает через 5—6 периодов синхронной частоты. Уменьшение амплитуды медленно затухающей составляющей до установившейся величины продолжается длительное время и на осциллограмме 1 через 3,34 сек. процесс затухания еще продолжается. Затуханием ее амплитуды можно пренебречь лишь при небольшой продолжительности короткого замыкания 0,5 сек. и меньше. При длительных коротких замыканиях амплитуда в конце намного меньше своего начального значения. Например, в той же осциллограмме 1 через 3,34 сек. амплитуда равна  $2,8 U_N$ , а начальное значение  $4 U_N$ . Поэтому расчет лишь по величине установившихся значений [Л. 2, 4] не дает верного представления о действительном характере процесса, что особенно важно для практических целей.

Следует остановиться на резонансной длине линии электропередачи, на которой ставились опыты. Расчет резонансной длины производился по известному соотношению для резонанса в цепях с постоянными параметрами и для токов утроенной синхронной частоты

$$3(X_r + X_\tau) = \frac{X_A}{3} \quad (1)$$

<sup>1</sup> Осциллограммы по техническим соображениям даны не полностью, а именно № 1, 2 и 3 лишь в начальной и средней своих частях, как наиболее интересных, а № 4 и 5 только в начальной части и при большей скорости закрутки.

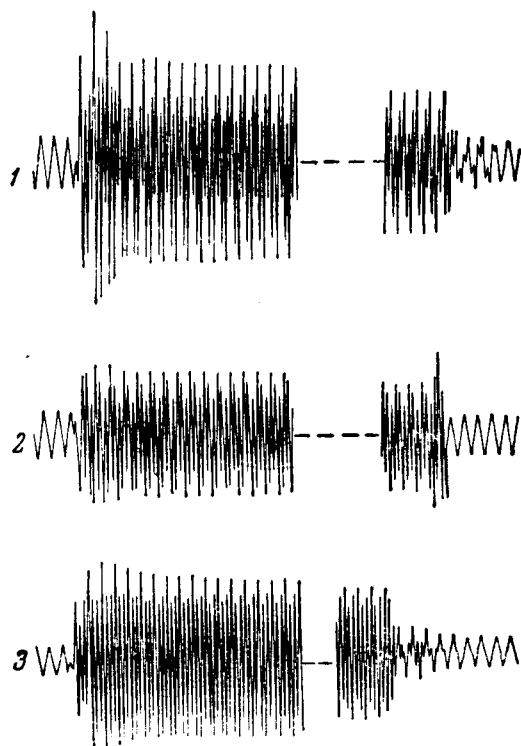


Рис. 1.

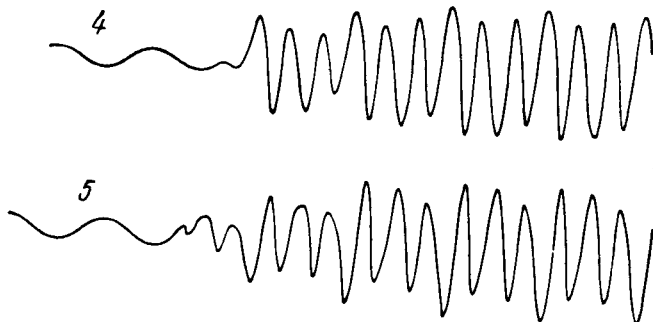


Рис. 2.

Реактивное сопротивление генератора  $X_r$  принималось равным его индуктивному сопротивлению обратной последовательности. Для исследуемой линии электропередачи резонансная длина составила по расчету около 78 км, что и подтвердилось опытной проверкой. Это совпадение свидетельствует, что развитие процесса с точки зрения практических результатов может быть представлено как в обычных резонирующих контурах с постоянными параметрами. Отличием в данном случае является затухание свободных токов в роторе и статоре генератора, которое ведет, как это видно по всем осциллограммам, к соответствующим затуханиям амплитуды напряжения неповрежденной фазы (медленно и быстрозатухающие составляющие).

Изучая полученные осциллограммы и принимая за критерий отношение максимальных амплитуд напряжения при наличии и после исчезновения быстрозатухающей составляющей, т. е.  $U' : U''$ , получаем величину 1,45 для линии 100 км (осциллограмма 1) и 1,13 для линии 80 км (ос-

циллограммы 3 и 5), что свидетельствует о влиянии быстрозатухающей составляющей, если короткое замыкание происходит при длине линии электропередачи не точно соответствующем условиям резонанса. Объясняется это тем, что при практическом резонансе в цепи, контур неповрежденной фазы представляет собой, главным образом, активное сопротивление, и поэтому апериодическая составляющая тока статора невелика. При расстройке же резонанса контур характеризуется индуктивностью, обуславливающей появление значительного апериодического тока статора и значительной быстрозатухающей составляющей напряжения здоровой фазы. Таким образом, динамические перенапряжения могут представлять опасность для изоляции и при отсутствии точных условий резонанса.

Из сравнения осциллограмм 1 и 2 видно, что при прочих равных условиях амплитуда напряжения неповрежденной фазы зависит от места расположения точки короткого замыкания. В данном случае максимальная амплитуда, обусловленная апериодической составляющей при коротком замыкании в начале линии, равна  $4U_n$ , а при коротком замыкании в конце линии  $2,7U_n$ . По осциллограммам 3, 4, 5, и данным их обработки видно, что при наличии условий резонанса металлическое короткое замыкание фазы на землю и замыкание между двумя фазами дают практически одинаковые перенапряжения на линии.

Если разложить кривую напряжения здоровой фазы на гармонические составляющие, то можно убедиться, что в условиях резонанса основную величину (около 85%) дает гармоническая составляющая утроенной синхронной частоты. Это обстоятельство может служить основанием для значительного упрощения инженерного расчета динамических перенапряжений.

Как указывалось, приведенные осциллограммы являются записью напряжения неповрежденной фазы в начале линии. Кроме этого, записывалось напряжение той же фазы на генераторе. Эти осциллограммы совершенно такого же характера, как и снятые в начале линии, лишь по кратности перенапряжений они в 1,5—2 раза меньше, чем снятые на линии.

**Выводы.** Динамические перенапряжения своей амплитудой и возможной длительностью воздействия могут представлять опасность для изоляции электрических установок и вызывать нарушения нормального эксплуатационного режима, особенно в системах с одноцепными линиями передачи. Однако, вероятность появления опасных напряжений в целом ряде случаев исключается в виду отсутствия условий, близких или точно соответствующих развитию резонанса. Поэтому вопрос о надобности специальных мер защиты от динамических перенапряжений должен решаться в каждом конкретном случае отдельно. Опасные напряжения могут иметь место при сочетании в данной системе следующих условий и режимов:

1. На шины гидростанций, генераторы которой не имеют демпферной клетки, оказывается включенной только одна цепь линии электропередачи.

2. При отключении одного из сетевых выключателей вследствие несимметричного короткого замыкания на этой линии она оказывается разомкнутой на конце и приключенной к шинам станции. Это возможно, если защита линии отключает ее не одновременно с обоих концов. Тогда в течение времени, равного ступени выдержки, холостая линия с коротким замыканием на ней будет включена на гидрогенераторы.

3. Холостая линия должна в достаточной мере компенсировать индуктивность контура при токах тройной синхронной частоты. Необходима для полной компенсации длина линии может быть подсчитана по формуле (2)

$$l = \frac{P_n}{(2,5 \div 3,5) \cdot 3 \cdot 10^{-6} U_n^2 \cdot X_2} \quad (2)$$

Формула (2) легко получается из соотношения (1), если все величины выражать в относительных единицах и реактивное сопротивление трансформатора включить в реактивное сопротивление генератора. В формуле (2)  $l$  — длина линии в км,  $P_n$  — номинальная мощность генератора в тыс. ква;  $U_n$  — номинальное напряжение линии;  $X_2$  — реактивное сопротивление обратной последовательности генератора, включающее и реактивное сопротивление повышающего трансформатора. Отклонение на 10—20% от этой длины  $l$  также вызывает высокие перенапряжения.

Возможность появления условий, изложенных в п. 1, 2, 3, легко может быть установлена в эксплуатируемой и проектируемой системе. При отсутствии или малой вероятности их появления специальной защиты от динамических перенапряжений можно не иметь. В противном случае имеется достаточно оснований для принятия специальных мер, направленных к ликвидации условий, при которых возможны резонансные перенапряжения.

Необходимо отметить большое содействие и организационную помощь, которая была оказана Арменэнерго в проведении настоящих опытов.

#### Литература

1. Н. Н. Щедрин. Определение напряжений здоровых фаз при несимметричных коротких замыканиях линий передачи. Труды Ленинградского политехнического института, № 2, раздел электротехники, 1941.
2. П. С. Жданов. О симметричных составляющих. Электричество, № 9, 1945.
3. Р. М. Кантор. К теории динамических перенапряжений в книге „Устойчивость электрических систем“ Госэнергоиздат, 1940.
4. Д. А. Городский. Расчет установившихся значений динамических перенапряжений. Электричество, № 1, 1945.
5. Wagner C. F. Unsymmetrical Short-Circuits on Water-Wheel Generators. Trans. AIEE, т. 56, 1937.
6. Clarke E., Weygandt C., Concordia C. Over voltages Caused by Unbalanced Short-Circuits. El. Eng. № 8, 1938.

# Эквивалентные схемы многополюсников

Инж. В. М. ШТЕЙН

Центральный научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта

В выполненной автором работе показана возможность построения для линейного пассивного многополюсника, с помощью трансформаторов, эквивалентных схем нового вида. При этом использованы такие параметры многополюсника, которые легко могут быть измерены.

Свойства электрических многополюсников описываются уравнениями, связывающими токи и напряжения во внешних цепях. Для линейного пассивного  $n$ -полюсника в общем случае напряжение между любой парой полюсов может быть выражено линейной формой от  $(n-1)$  токов, притекающих к полюсам. Общее число независимых уравнений, связывающих напряжения с токами, также равно  $(n-1)$  и, следовательно, число параметров, определяющих свойства многополюсника, равно  $(n-1)^2$ . Если ограничиться многополюсниками, подчиняющимися принципу обратимости, то число параметров уменьшается до  $1/2 n(n-1)$ . Каждый параметр многополюсника, связывающий один ток и одно напряжение, представляет комплексное число и имеет размерность сопротивления или проводимости. В ряде случаев прямое определение параметров многополюсника связано с значительными трудностями. Такие трудности возникают, например, когда требуется определить параметры многополюсника физическими измерениями. Измерение комплексного отношения напряжения в одной цепи к току в другой цепи представляет сложную задачу, в особенности если измерение необходимо провести на высоких частотах. Значительно проще решается измерительной техникой задача определения комплексного отношения напряжения и тока в одной цепи, т. е. измерения сопротивления или проводимости. С этой точки зрения представляется желательным определять свойства многополюсника такими параметрами, которые могут быть измерены как входные сопротивления или входные проводимости.

Обозначим через  $A_{ik}$  входное сопротивление измеренное между полюсами  $i$  и  $k$   $n$ -полюсника при холостом ходе других полюсов. Общее число сопротивлений  $A_{ik}$  равно числу сочетаний из  $n$  элементов по 2, т. е. равно  $1/2 n(n-1)$ . Если известны  $1/2 n(n-1)$  сопротивлений  $A_{ik}$ , то могут быть определены параметры основных уравнений многополюсника. Эти параметры могут быть определены также и в том случае, когда известны  $1/2 n(n-1)$  проводимостей  $C_{ik}$ , каждая из которых представляет входную проводимость пары полюсов  $i(i+1)$  при коротком замыкании всех других пар кроме  $k(k+1)$  (рис. 1).

Переход от параметров  $A_{ik}$  или  $C_{ik}$  к каким-либо другим параметрам может оказаться трудоемкой операцией. С другой стороны, такой переход не является обязательным, так как с помощью предлагаемых ниже эквивалентных схем, параметры  $A_{ik}$  или  $C_{ik}$  могут быть непосред-

ственно использованы для описания внешних свойств многополюсника.

Рассмотрим свойства трансформаторов, применяемых нами для построения эквивалентных схем многополюсников. Будем называть трансформатором четырехполюсник, входная цепь которого изолирована от выходной. Входное сопротивление такого трансформатора при холостом ходе выхода так же, как и выходное сопротивление при холостом ходе входа, положим равными нулю. Вместе с тем взаимное сопротивление входной и выходной цепи  $Z_{12}$ , т. е. отношение напряжения выхода  $U_2$  к току входа  $I_1$ , будем считать не равным нулю. Уравнения данного трансформатора:

$$U_2 = Z_{12} I_1 + 0 \cdot I_2;$$

$$U_1 = 0 \cdot I_1 + Z_{12} I_2.$$

Система обратных уравнений:

$$I_2 = Y_{12} U_1 + 0 \cdot U_2;$$

$$I_1 = 0 \cdot U_1 + Y_{12} U_2,$$

где  $Y_{12} = \frac{1}{Z_{12}}$  — взаимная проводимость.

Из этих уравнений следует, что входная проводимость трансформатора при коротком замыкании выхода ( $U_2 = 0$ ), так же как выходная проводимость при коротком замыкании входа ( $U_1 = 0$ ), равны нулю.

Трансформатор, описанный выше, может быть получен из обычного трансформатора, имеющего сопротивление первичной цепи  $Z_1$ , сопротивление вторичной цепи  $Z_2$  и взаимное сопротивление  $Z_{12}$ , если включить последовательно в первичную и вторичную цепи, соответственно, сопротивления  $-Z_1$  и  $-Z_2$  (рис. 2).

Условимся изображать этот трансформатор на схемах в виде двух треугольников, около каждого из которых обозначена величина взаимного сопротивления или взаимной проводимости. Будем считать напряжение на одной цепи трансформатора совпадающим по направлению с острием треугольника, если направление тока в другой цепи также совпадает с направлением острия.

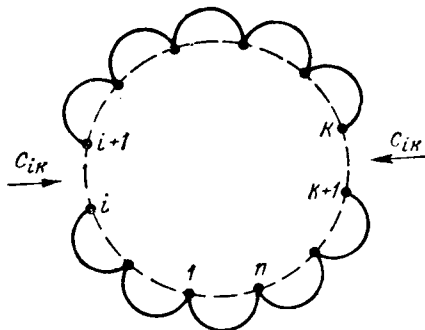


Рис. 1.

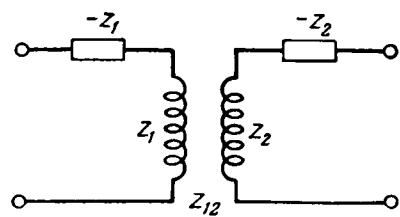


Рис. 2.

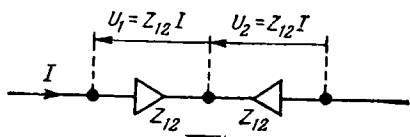


Рис. 3.

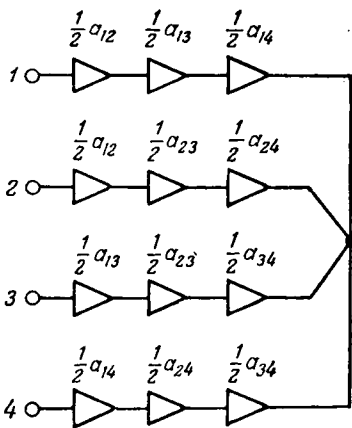


Рис. 4.

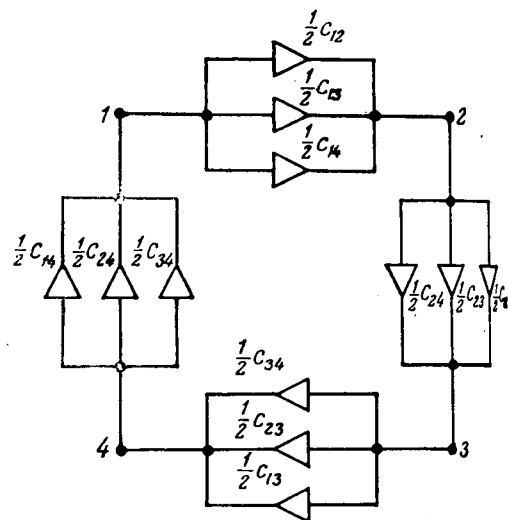


Рис. 5.

Рассмотрим двухполюсник, образующийся при последовательном соединении ветвей трансформатора (рис. 3). Если острия треугольников направлены в разные стороны и через двухполюсник проходит ток  $I$ , то напряжение на двухполюснике  $U = U_1 + U_2 = 2Z_{12}I$ , т. е. сопротивление двухполюсника равно удвоенной величине взаимного сопротивления.

Аналогичным способом можно найти, что проводимость двухполюсника, образующегося при параллельном соединении ветвей трансформатора при разных направлениях острий, равна удвоенной величине взаимной проводимости.

Построим теперь эквивалентные схемы многополюсников. Если  $n$ -полюсник задан  $\frac{1}{2}n(n-1)$  параметрами  $A_{ik}$ , то эквивалентная схема может быть построена, если соединить ветви  $\frac{1}{2}n(n-1)$  трансформаторов в виде звезды так, чтобы каждый луч звезды представлял последовательное соединение  $(n-1)$  ветвей разных трансформаторов и не содержал бы двух ветвей одного трансформатора. Тогда каждая пара лучей  $i$  и  $k$  будет содержать  $2(n-1)$  ветви, из которых две ветви принадлежат одному трансформатору. Положим взаимное сопротивление этого трансформатора равным  $\frac{1}{2}A_{ik}$ , а направления острий выберем одинаковыми по отношению к центру звезды. На рис. 4 представлена построенная таким образом схема четырехполюсника. Нетрудно убедиться в эквивалентности схемы. Если обойти два луча звезды, например, от полюса  $i$  к центру звезды и затем к полюсу  $k$ , то на этом пути встретятся  $2(n-2)$  одиночных ветви разных трансформаторов и две ветви одного трансформатора с взаимным сопротивлением  $\frac{1}{2}A_{ik}$  и разными направлениями острий. Поскольку сопротивления одиночных ветвей равны нулю, то общее сопротивление между полюсами  $i$  и  $k$  будет равно удвоенной величине взаимного сопротивления трансформатора, ветви которого включены в лучи  $i$  и  $k$ , т. е. равно  $A_{ik}$ . Таким образом, можно показать, что все  $\frac{1}{2}n(n-1)$  параметров  $A_{ik}$  заданного многополюсника и построенной схемы равны, что и подтверждает эквивалентность схемы.

Если  $n$ -полюсник задан параметрами  $C_{ik}$ , то ветви  $\frac{1}{2}n(n-1)$  трансформаторов следует соединить в виде  $n$ -угольника так, чтобы с каждой парой соседних полюсов были бы соединены  $(n-1)$  ветвей разных трансформаторов. При этом взаимная проводимость трансформатора, ветви которого соединены с парами полюсов  $i(i+1)$  и  $k(k+1)$ , должна быть равна  $\frac{1}{2}C_{ik}$ . Острия всех трансформаторов должны быть направлены в одну сторону, например, по часовой стрелке. На рис. 5 представлена эквивалентная схема четырехполюсника заданного параметрами  $C_{ik}$ . Для доказательства эквивалентности построенной схемы замкнем все пары соседних полюсов, кроме пар  $i(i+1)$  и  $k(k+1)$ . В этом случае образуется двухполюсник, представляющий параллельное соединение  $2(n-2)$  одиночных ветвей разных трансформаторов и двух ветвей одного трансформатора с взаимной проводимостью  $\frac{1}{2}C_{ik}$  и разными направлениями острий. Поскольку проводимости одиночных ветвей трансформаторов, другие ветви которых закорочены, равны нулю, то проводимость двухполюсника будет равна удвоенной величине взаимной проводимости трансформатора, ветви которого соединены с парами полюсов  $i(i+1)$  и  $k(k+1)$ , т. е. равна  $C_{ik}$ .

С помощью эквивалентных схем построенных на базе параметров  $A_{ik}$  или  $C_{ik}$ , можно непосредственно составлять уравнения Кирхгофа, не прибегая к каким-либо промежуточным преобразованиям. Приведем пример, иллюстрирующий применение эквивалентных схем.

Пусть параметрами  $A_{12}$ ,  $A_{13}$  и  $A_{23}$  задан трехполюсник. Генератор с э. д. с.  $E$  и внутренним сопротивлением  $Z$  соединен с парой полюсов 1, 3, а к полюсам 2, 3 приключено сопротивление  $Z_1$ . Требуется определить ток  $I$  в цепи генератора и  $I_1$  в сопротивлении  $Z_1$  (рис. 6). Будем составлять для контурных токов  $I$  и  $I_1$  уравнения по второму закону Кирхгофа, учитывая, что напряжение на одной ветви трансформатора равно току



3 другой ветви, умноженному на взаимное сопротивление трансформатора.

$$\begin{aligned} I \left( Z + \frac{1}{2} A_{13} + \frac{1}{2} A_{13} \right) + \\ + I_1 \left( \frac{1}{2} A_{12} - \frac{1}{2} A_{13} - \frac{1}{2} A_{23} \right) = E; \\ I \left( \frac{1}{2} A_{12} - \frac{1}{2} A_{23} - \frac{1}{2} A_{13} \right) + \\ + I_1 \left( Z_1 + \frac{1}{2} A_{23} + \frac{1}{2} A_{23} \right) = 0. \end{aligned}$$

Откуда

$$\begin{aligned} I = E \frac{Z_1 + A_{23}}{(Z + A_{13})(Z_1 + A_{23}) - \frac{1}{4}(A_{13} + A_{23} - A_{12})^2}; \\ I_1 = \frac{1}{2} E \frac{A_{13} + A_{23} - A_{12}}{(Z + A_{13})(Z_1 + A_{23}) - \frac{1}{4}(A_{13} + A_{23} - A_{12})^2}. \end{aligned}$$

Характерной особенностью новых эквивалентных схем является соответствие одному пара-

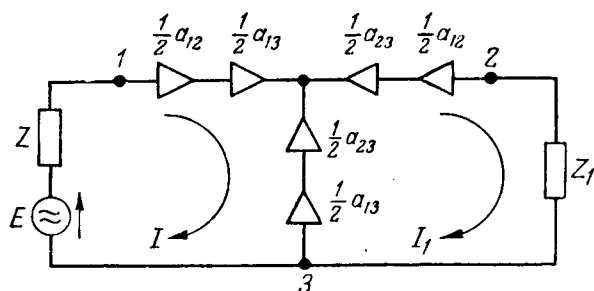


Рис. 6.

метру многополюсника лишь одного элемента эквивалентной схемы. Это означает, что при изменении одного параметра многополюсника меняется лишь один элемент эквивалентной схемы.

Изложенный метод рассмотрения линейных электрических цепей в ряде случаев приводит к значительному упрощению при расчете сложных схем, в частности, при каскадном соединении не- симметричных четырехполюсников.

[16. 3. 1948]



## Электромагнитный стабилизатор напряжения с последовательно включенной емкостью в первичной обмотке

Кандидат техн. наук С. П. ПИВОВАРОВ

Научно-исследовательский институт МПСС СССР

В настоящей работе приведены результаты аналитического исследования электромагнитного стабилизатора, состоящего из нагруженного трансформатора  $T$  и последовательно включенной с его первичной обмоткой емкости  $C_1$  (рис. 1).

При составлении дифференциального уравнения зависимости между токами намагничивания и магнитным потоком определялась по характеристике, аналитическое выражение которой имеет вид:

$$i_1 w_1 - i_2 w_2 = aB + dB^2, \quad (1)$$

где  $a$ ,  $d$  и  $\alpha$  — постоянные, характеризующие магнитную цепь (для листовой стали толщиной 0,35 мм,  $\alpha = 9$ );

$i_1$ ,  $i_2$  и  $B$  — мгновенные значения токов и магнитной индукции.

Для мгновенных значений токов и напряжений имеют место следующие уравнения:

$$\begin{aligned} U_{\max} \sin \omega t = L_1 \frac{di_1}{dt} + i_1 r_1 + \frac{1}{C_1} \int i_1 dt + \\ + w_1 S 10^{-8} \frac{dB}{dt}, \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} -w_2 S 10^{-8} \frac{dB}{dt} = L_2 \frac{di_2}{dt} + i_2 r_2 + i_2 r_3 + \\ + L_3 \frac{di_2}{dt} + \frac{1}{C_2} \int i_2 dt \end{aligned} \quad (3)$$

( $S$  — сечение магнитопровода).

Решение системы уравнений (1) — (3) находится приближенным методом академика Б. Г. Галеркина в виде линейной комбинации конечного числа периодических функций. Рассматриваем приближенное решение в виде синусоидальных функций, имеющих ту же частоту, что и приложенное напряжение, но сдвинутых по фазе:

$$\left. \begin{aligned} B &= B_{\max} \cos(\omega t + \varphi), \\ i_1 &= I_{\max 1} \cos(\omega t + \varphi_1), \\ i_2 &= I_{\max 2} \cos(\omega t + \varphi_2). \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Подставив (4) в (1), получим:

$$\begin{aligned} I_{\max 1} w_1 \cos(\omega t + \varphi_1) - I_{\max 2} w_2 \cos(\omega t + \varphi_2) = \\ = aB_{\max} \cos(\omega t + \varphi) + dB_{\max}^2 \cos^2(\omega t + \varphi). \end{aligned} \quad (5)$$

Согласно упомянутому методу для определения  $B_{\max}$  и  $\varphi$  из (5) нужно, чтобы при произвольных вариациях  $\delta B_{\max}$  и  $\delta \varphi$ :

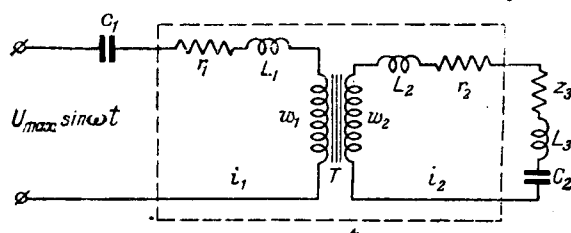


Рис. 1.

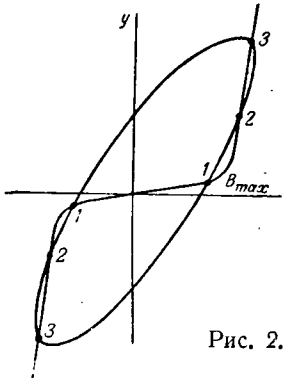


Рис. 2.

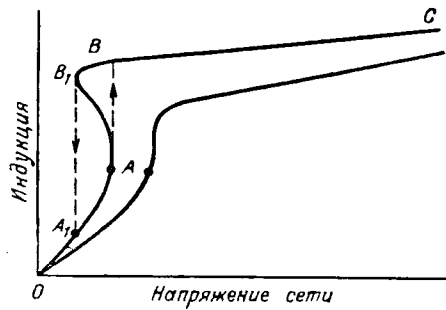


Рис. 3.

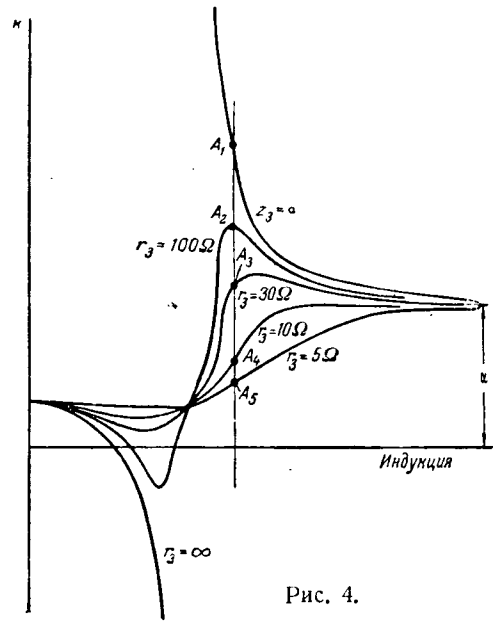


Рис. 4.

$$\int_0^{2\pi} \left[ I_{\max 1} \omega_1 \cos(\omega t + \varphi_1) - I_{\max 2} \omega_2 \cos(\omega t + \varphi_2) - a B_{\max} \cos(\omega t + \varphi) - d B_{\max}^2 \cos^2(\omega t + \varphi) \right] \times \cos(\omega t + \varphi) dt = 0; \quad (6)$$

$$\int_0^{2\pi} \left[ I_{\max 1} \omega_1 \cos(\omega t + \varphi_1) - I_{\max 2} \omega_2 \cos(\omega t + \varphi_2) - a B_{\max} \cos(\omega t + \varphi) - d B_{\max}^2 \cos^2(\omega t + \varphi) \right] \times \sin(\omega t + \varphi) dt = 0. \quad (7)$$

Интегрирование (6)—(7) дает два алгебраических уравнения, из которых получаем:

$$\begin{aligned} \dot{\omega}_1 I_{\max 1} - \dot{\omega}_2 I_{\max 2} &= \\ &= a \dot{B}_{\max} + d \left( \frac{\alpha^2 - 1}{2} \right) \left( \frac{1}{2} \right)^{\alpha-1} \dot{B}_{\max}^{\alpha}, \end{aligned} \quad (8)$$

где  $\left( \frac{\alpha^2 - 1}{2} \right)$  — биномиальный коэффициент.

Аналогично из (2)—(3):

$$\dot{U}_{\max} = \dot{I}_{\max 1} z_1 + j \omega_1 S \omega 10^{-8} \dot{B}_{\max}, \quad (9)$$

$$j \omega_2 S \omega 10^{-8} \dot{B}_{\max} = \dot{I}_{\max 2} z_2, \quad (10)$$

$$\begin{aligned} \text{где } z_1 &= r_1 + j \left( \omega L_1 - \frac{1}{\omega C_1} \right), \quad z_2 = r_2 + j r_3 + \\ &+ j \left[ \omega L_3 + \omega L_2 - \frac{1}{\omega C_2} \right]. \end{aligned}$$

Определив из (9)—(10) токи  $\dot{I}_{\max 1}$  и  $\dot{I}_{\max 2}$  и подставив их в (8), получим:

$$\begin{aligned} \frac{\omega_1^2}{z_1^2} U_{\max}^2 &= \left[ A_2 S \cdot 10^{-8} B_{\max} + a B_{\max} + \right. \\ &+ \left. d \left( \frac{\alpha^2 - 1}{2} \right) \left( \frac{1}{2} \right)^{\alpha-1} B_{\max}^{\alpha} \right]^2 + \left[ A_1 S \omega \cdot 10^{-8} B_{\max} \right]^2, \end{aligned} \quad (11)$$

где

$$\frac{\omega_1^2}{z_1} + \frac{\omega_2^2}{z_2} = A_1 - j A_2.$$

Поскольку режим работы электромагнитного стабилизатора связан с изменением подведенного напряжения, практически удобнее при решении (11) задаваться  $B_{\max}$  и находить напряжение сети  $U_{\max}$ .

Для исследования уравнения (11) перепишем его в виде

$$\begin{aligned} d \left( \frac{\alpha^2 - 1}{2} \right) \left( \frac{1}{2} \right)^{\alpha-1} B_{\max}^{\alpha} &= \\ &= \sqrt{\frac{\omega_1^2}{z_1^2} U_{\max}^2 - (A_2 S \omega \cdot 10^{-8} B_{\max})^2} - \\ &- (A_2 S \omega \cdot 10^{-8} + a) B_{\max}. \end{aligned} \quad (12)$$

Уравнение (12) определяет амплитуду  $B_{\max}$ , как абсциссу точек пересечения кривых

$$y = d \left( \frac{\alpha^2 - 1}{2} \right) \left( \frac{1}{2} \right)^{\alpha-1} B_{\max}^{\alpha}, \quad (13)$$

$$\begin{aligned} v &= \sqrt{\frac{\omega_1^2}{z_1^2} U_{\max}^2 - (A_1 S \omega \cdot 10^{-8} B_{\max})^2} - \\ &- (A_2 S \omega \cdot 10^{-8} + a) B_{\max}. \end{aligned} \quad (14)$$

Первая кривая представляет собой проходящую через начало координат параболу, а вторая — эллипс с центром в начале координат. Точки пересечения 1, 2 и 3 (рис. 2) дают корни уравнения (12).

Если пренебречь активным сопротивлением обмоток трансформатора и нагрузки, уравнение (14) примет вид:

$$y = \pm \frac{\omega_1}{z_1} U_{\max} - (A_2 S \omega \cdot 10^{-8} + a) B_{\max} \quad (15)$$

и корни уравнения найдутся, как абсциссы точек пересечения параболы и прямой линии.

Для стабилизатора наибольший интерес представляет зависимость вторичного напряжения или индукции от изменения напряжения сети. На рис. 3 приведена такая характеристика, построенная по формуле (11). На кривой может быть выделено три характерных участка. На участке OA увели-

ние подведенного напряжения вызывает соответствующее изменение индукции. На участке  $AB$  при одном и том же напряжении сети может получаться два или три значения индукции, и, наконец, на участке  $BC$  большому увеличению напряжения сети соответствует небольшое приращение индукции и, следовательно, вторичного напряжения. Работа на первом участке соответствует прямолинейной части, а работа на двух других в насыщенной части кривой намагничивания. Переход от области многозначности индукции к третьему участку характеристики при увеличении напряжения происходит скачком. При работе трансформатора в режиме стабилизатора может быть использован только третий участок характеристики, т. е. часть кривой, лежащая вправо от точки  $B$ . Длина каждого участка зависит не только от параметров трансформатора и частоты питания, но и от величины нагрузки и соотношения в ней реактивных составляющих.

Для характеристики постоянства вторичного напряжения при изменении напряжения сети удобно пользоваться так называемым коэффициентом стабилизации, который равен отношению относительных изменений напряжения сети к вторичного напряжения или индукции:

$$k = \frac{\frac{dU_{\max}}{U_{\max}}}{\frac{dB_{\max}}{B_{\max}}} = \frac{\left[ a + A_2 S \omega \cdot 10^{-8} + a d \left( \frac{\alpha^2 - 1}{2} \right) B_{\max}^{\alpha-1} \right] \left[ a + A_2 S \omega 10^{-8} + d \left( \frac{\alpha^2 - 1}{2} \right) \left( \frac{1}{2} \right)^{\alpha-1} B_{\max}^{\alpha-1} \right] \left[ A_1 \omega S \cdot 10^{-8} \right]^2}{\left[ a + A_2 S \omega \cdot 10^{-8} + d \left( \frac{\alpha^2 - 1}{2} \right) \left( \frac{1}{2} \right)^{\alpha-1} B_{\max}^{\alpha-1} \right]^2 + \left[ A_1 \omega S \cdot 10^{-8} \right]^2} \quad (16)$$

Очевидно, что чем больше по абсолютному значению  $k$ , тем лучше стабилизировано вторичное напряжение. На рис. 4 приведены характеристики коэффициента стабилизации вычисленные по формуле (16) для различных значений нагрузки и индукции. Из кривых видно, что  $k$  зависит от индукции трансформатора. Точки кривых, лежащие влево от прямой  $A_1 A_2 A_3 \dots$ , соответствуют области многозначности вторичного напряжения. При больших значениях индукции независимо от величины емкости и от нагрузки, коэффициент стабилизации равен  $\alpha$ , т. е. определяется качеством стали. Для промежуточных значений между  $A$  и  $O$  коэффициент стабилизации больше  $\alpha$ . Подбором емкости практически можно получить в нужной области изменения напряжения сети  $k = (2 \div 3) \alpha$ .

Пользуясь выведенными зависимостями, нетрудно получить напряжения и токи на разных

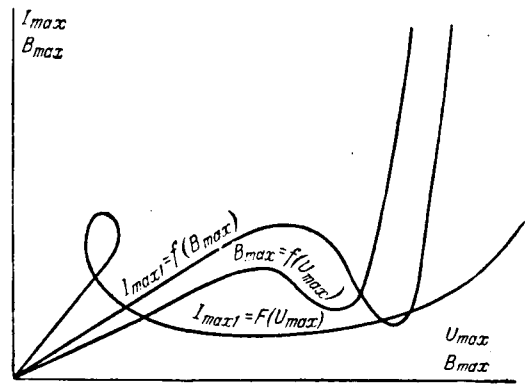


Рис. 5.

участках схемы. Так, например, из (9) и (11) можно получить:

$$I_{\max 1}^2 = \left\{ b_2 S \omega \cdot \omega_1 10^{-8} B_{\max} + \frac{1}{\omega_1} \left[ a B_m + d \left( \frac{\alpha^2 - 1}{2} \right) \left( \frac{1}{2} \right)^{\alpha-1} B_{\max}^{\alpha} \right] \right\}^2 + \left[ g_2 S \omega \cdot \omega_1 10^{-8} B_{\max} \right]^2, \quad (17)$$

где  $\frac{\omega_2}{\omega_1} \cdot \frac{1}{z_2} = g_2 - j b_2$ .

На рис. 5 приведены зависимости  $I_{\max 1} = j(B_{\max})$  и  $I_{\max 1} = F(U_{\max})$ , построенные без учета фазы. Интересно отметить, что исследуемая схема работает при емкостном токе, чего нельзя сказать о других стабилизаторах.

Расчет схемы стабилизатора по приведенным формулам и последующая их экспериментальная проверка показали, что выведенные зависимости довольно точно отражают физическую сторону дела и дают расхождение с опытом не более 10—15%.

#### Литература

1. В. В. Ковалевская. Электромагнитный стабилизатор напряжения. ИЭСТ, № 8—9, 1938.
2. Р. М. Шевчук. Электромагнитный стабилизатор напряжения. Электросвязь, № 3, 1940.
3. А. Г. Никифоров. Электромагнитный стабилизатор напряжения, не чувствительный к частоте. ИЭСТ, № 4—6, 1940.

[3. 9. 1948]

## Осветительные установки промышленных предприятий

Кандидат техн. наук М. С. РЯБОВ

Центроэлектромонтаж

В годы послевоенной Сталинской пятилетки наша страна проводит невиданную созидательную работу, поэтому любое мероприятие, способствующее увеличению производительности труда, умножает наши успехи.

Хорошее искусственное освещение в значительной мере содействует продуктивной работе предприятий в темные часы суток. По данным Ленинградского института охраны труда [Л. 1], замена неполноценного освещения на предприятиях металлообрабатывающей промышленности рационально выполненной осветительной установкой приводит к росту производительности труда на 3—10%, при одновременном снижении себестоимости продукции на 1—2,4%. Подобные результаты могут быть получены на предприятиях всех отраслей нашего хозяйства. Отсюда следует, что правильному устройству осветительных установок должно уделяться серьезное внимание.

Ниже рассматриваются некоторые основные решения, влияющие на качество осветительных установок.

**Нормы освещения.** Отечественные нормы освещения выгодно отличаются от зарубежных следующим:

1. Для освещения места работы, требующей различения мелких деталей, применяется местное освещение совместно с общим.

2. Нормируемое значение освещенности является наименьшим в пределах рабочей поверхности.

3. Уделяется большое внимание защите глаз работников от блескости светильников.

Широкое применение местного освещения позволяет обеспечить на рабочих местах высокие уровни освещенности при наиболее экономном потреблении электроэнергии и высоком качестве освещения. Освещенности на рабочих местах должны быть не ниже указанных в ГОСТ 3825-47. Этим обеспечиваются нормальная работа и должные гигиенические условия. Оптимальная производительность труда, зависящая от освещения, требует более высоких норм освещенности, к которым и надо стремиться.

Не следует, однако, забывать, что повышение уровня освещенностей приведет к большому

*Рассматривается ряд основных решений по выполнению осветительных установок промышленных предприятий. Даются рекомендации для проектирования по принципиальным вопросам нормирования, расчетов, выбора схем питания, рода проводки и применения новых материалов при монтаже.*

расходу электроэнергии и материалов. Поэтому следует принимать более высокие нормы, учитывая возможность резкого

увеличения производительности труда или иные не менее существенные причины.

**Источники света и светильники.** Основным источником света продолжает служить нормальная лампа накаливания. Новые экономичные источники света — люминесцентные лампы не нашли еще широкого применения, вследствие ограниченного размера их выпуска и высокой стоимости. По этим причинам освещение люминесцентными лампами пока целесообразно предусматривать в тех осветительных установках, когда это приносит наибольший эффект. К таким случаям следует отнести, в первую очередь, установки на производствах, где работа связана с различением цветов и их оттенков (некоторые цехи полиграфической и текстильной промышленности), здания общественного назначения, в которых необходима качественная цветопередача, и помещения, лишенные естественного освещения.

Выбор типов светильников определяется, главным образом, характером условий и предъявляемыми требованиями к распределению света в помещениях.

В табл. 1 указаны рекомендуемые типы светильников в зависимости от характера условий, освещенных помещений.

Для местного освещения рабочих мест металлообрабатывающей промышленности наиболее целесообразным следует признать применение зеркальных светильников и кронштейнов, разработанных Московским институтом охраны труда [Л. 1]. При напряженном рассмотрении шлифованных или полированных поверхностей следует прибегать к специальным конструкциям светильников с выходным отверстием значительной площади, перекрытым рассеивающим свет стеклом. При отсутствии зеркальных светильников для местного освещения рекомендуются эмалированные типа Альфа.

**Размещение светильников и светотехнический расчет.** Наиболее выгодное размещение светильников общего равномерного освещения характери-

Таблица 1

## Рекомендуемые типы светильников в зависимости от характера условий освещенных помещений

Характеристика помещений	Рекомендуемые типы светильников	Требования к конструкции светильника
Сухие отапливаемые	Люцетта, Универсаль, Глубокоизлучатель, Шар, плафоны	Специальные требования не предъявляются
Сухие не отапливаемые	Люцетта цельного стекла, Универсаль, Глубокоизлучатель, Шар фарфоровый полугерметический	
Сырые Особо сырые	Люцетта цельного стекла с фарфоровым патроном, Глубокоизлучатель с патроном из фарфора или пластмассы, фарфоровый полугерметический, наружного освещения	а) Корпус патрона должен быть из изолирующих влагостойких материалов; б) части светильника, доступные воздействию среды, должны изготавливаться из материалов, противостоящих этим воздействиям или защищенных от них соответствующими покрытиями; в) ввод проводов в негерметические светильники производится через два отдельных отверстия, снабженных изолирующими втулками
С едкими парами или газами	Фарфоровый полугерметический, водопыленепроницаемый, для химических производств	
Пыльные	Универсаль со стеклами, фарфоровый полугерметический, водопыленепроницаемый, наружного освещения	В зависимости от характера и количества пыли должны применяться защищенные или герметические светильники
Пожароопасные	То же, что и в сухих отапливаемых. Светильники без нижнего стекла должны иметь предохранительную сетку	

зается отношением расстояния между ними ( $L$ ) к высоте их расположения ( $H$ ), требующим наименьшей установленной мощности. В проектной практике получили широкое распространение отношения  $L:H$ , рекомендуемые Г. М. Кноррингом [Л. 2]. Однако, особенности строительных конструкций здания и размещение технологического оборудования часто вынуждают отступать от указанных соотношений. Для уменьшения трудоемкости работ по выявлению оптимального варианта размещения светильников для каждой установки можно рекомендовать пользоваться готовыми типовыми тщательно отобранными решениями.

Практика проектирования показала нецелесообразность расчета освещения помещений пло-

щадью до  $100 \text{ м}^2$  общеизвестными методами коэффициентов использования и точечным. Не менее хорошие результаты расчета могут быть получены при использовании разработанными нормативами удельной установленной мощности (табл. 2).

Для помещений площадью до  $10 \text{ м}^2$  целесообразно пользоваться указаниями Г. М. Кнорринга [Л. 2] по выбору мощностей ламп.

По мере типизации строительных работ должны также разрабатываться соответствующие проекты светотехнических установок как для отдельных помещений, так и для целых зданий. Методы расчета люминесцентного освещения в достаточной мере разработаны В. В. Мешиковым [Л. 3].

**Напряжение на лампах и совмещенные сети для силовой и осветительной нагрузок.** За последние 15 лет укоренилась практика питания силовых и осветительных токоприемников от общих трансформаторов при напряжении сети 380/220 в. Следует иметь в виду, что колебание напряжения резко влияет на срок службы ламп. Так, изменение напряжения на  $\pm 5\%$  против нормального сокращает или удлиняет срок их службы не менее чем на 40%. Нормы устанавливают наименьшее напряжение у ламп в 97,5% номинального значения. Верхний предел напряжения нормами не оговаривается. Для него следовало бы принять значение в 103% номинального напряжения.

Совмещенные сети для силовой и осветительной нагрузок не в состоянии ограничить потери напряжения в сетях, требуемые условиями работы ламп, без значительного увеличения сечения проводов. Из техно-экономического сопоставления различных вариантов питания осветительных установок [Л. 4] следует, что совмещенные сети по сравнению с раздельными не имеют экономических преимуществ. Питание осветительной нагрузки от общих проводов имеет смысл лишь при мощных, надежно выполненных силовых фидерах и для отдельных мелких объектов.

**Групповые щитки.** В осветительных установках до последнего времени применялись исключительно щитки с изоляционным или металлическим основанием, на котором укреплялись пробочные предохранители и выключатели или рубильники. Эти типы щитков трудоемки в изготовлении и имеют значительные габариты и вес (4—5 кг на группу для щитков на изоляционном основании). Более целесообразной следует признать такую конструкцию, когда аппаратура собирается в отдельные блоки на 2 или 4 двухпроводные группы. Эти блоки устанавливаются в типовых металлических шкафах, которые легко могут изготавливаться в крупно-серийном производстве. Подобного рода щитки — типа «ПОН» делаются на заводе «Электроконструкция» Главэлектроустановочного завода. Они имеют два типо-размера по габаритам шкафа — на 6 и 12 двухпроводных групп и комплектуются блоками аппаратуры на 2 двухпроводные группы. В каждом блоке на основании из пластмассы устанавливаются два малогабаритных трубчатых предохранителя на ток 15 а и два перекидных выключателя на ток

Таблица 2

Значения удельной установленной мощности для помещений площадью 11—100 м<sup>2</sup> при напряжении ламп 220 в

Площадь помещения, м <sup>2</sup>	Тип светильников	Освещенность лк при расчетной высоте 2,5÷3,5 м								
		100	75	50	30	20	15	10	5	3
		Удельная установленная мощность, вт/м <sup>2</sup>								
11—20	Люцетта цельного стекла, Универсаль с полуматовым стеклом . . . . .	47	35	23	15	11	8	5	—	—
	Универсаль без стекла, Альфа . . . . .	32	26	19	11	8	6	4	3	2
	Шар, плафоны . . . . .	—	—	40	26	18	14	10	—	—
	Водоупленепроницаемый, фарфоровый, полугерметический . . . . .	—	—	29	20	15	11	7	4	3
21—50	Люцетта цельного стекла, Универсаль с полуматовым стеклом . . . . .	34	26	18	11	8	6	4	—	—
	Универсаль без стекла, Альфа . . . . .	25	19	13	8,5	6,5	5	3,5	2	1,5
	Шар, плафоны . . . . .	52	43	30	20	14	10,5	7	—	—
	Водоупленепроницаемый, фарфоровый, полугерметический . . . . .	40	34	23	13	9	7	5	3	2
51—100	Люцетта цельного стекла, Универсаль с полуматовым стеклом . . . . .	28	24	18	11	7	5,5	4	—	—
	Универсаль без стекла, Альфа . . . . .	22	16	11	7	5	4	3	1,5	1
	Шар, плафоны . . . . .	48	36	24	15	11	8	5	—	—
	Водоупленепроницаемый, фарфоровый полугерметический . . . . .	35	27	19	12	8	6	4	2,5	1,5

Примечание. При напряжении 127 в табличные значения удельных установленных мощностей должны снижаться на 10%.

20 а. Размер шкафа на 12 групп — 770×364 мм при глубине 120 мм.

Особый интерес представляют щитки с автоматами, совмещающими функции предохранителя и выключателя. Их предполагается применить для строящихся в Москве многоэтажных зданий.

**Проводки.** В промышленных предприятиях преимущественное распространение имеют открытые способы прокладки проводов. Для открытых прокладок на изолирующих опорах применяются одножильные провода ПР-380, ПР-500. Техническими условиями допускается применять провода ПР-380 лишь при напряжении между соседними проводами до 220 в, почему изготовление их следует признать вообще излишним.

Открытые прокладки по поверхностям (стенам, потолкам и т. п.) выполняются проводами ТПРФ и кабелями СРГ. Вследствие своей гигроскопичности провод ТПРФ применим только в сухих, отапливаемых помещениях. Для прокладок по поверхностям в сырых помещениях или в

помещениях с разъедающими парами и газами единственно приемлемым следует признать кабель СРГ. Наличие свинцовой оболочки утяжеляет и сильно удорожает кабель, почему отсутствует возможность его массового применения.

Скрытые прокладки (в изоляционных трубах под штукатуркой и в стальных трубах) осуществляются проводами ПРТО, ПРГ и ПР-500. Указанные провода не имеют влагостойкой резиновой изоляции. Практика эксплуатации показала неизбежность появления в скрыто проложенных стальных трубах конденсационной влаги. В этих условиях проложенные провода быстро приходят в негодность.

Подготавливаемое к утверждению новое Уточное Положение по строительству намечает изготовление следующих проводов дополнительно к существующей номенклатуре: а) по типу ПР с влагостойкой резиновой изоляцией для прокладки на изолирующих опорах вне зданий и в сырых, а также особо сырых помещениях; б) по типу ПРТО с влагостойкой резиновой изоляцией для прокладки в трубах; в) по типу ТПРФ с заполнением из негигроскопических материалов для прокладки по поверхностям в отапливаемых

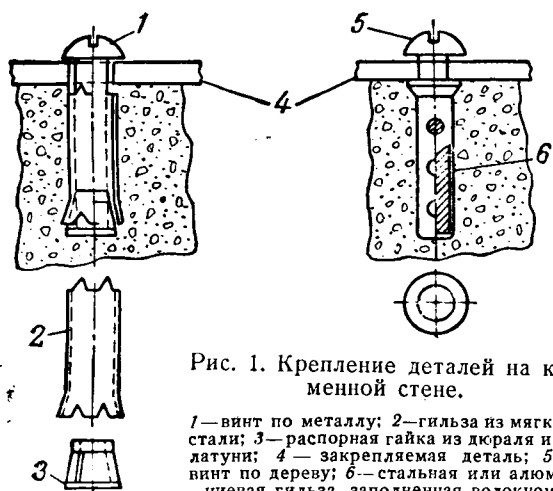


Рис. 1. Крепление деталей на каменной стене.

1—винт по металлу; 2—гильза из мягкой стали; 3—распорная гайка из дюрала или латуни; 4—закрепляемая деталь; 5—винт по дереву; 6—стальная или алюминиевая гильза, заполненная волокном.

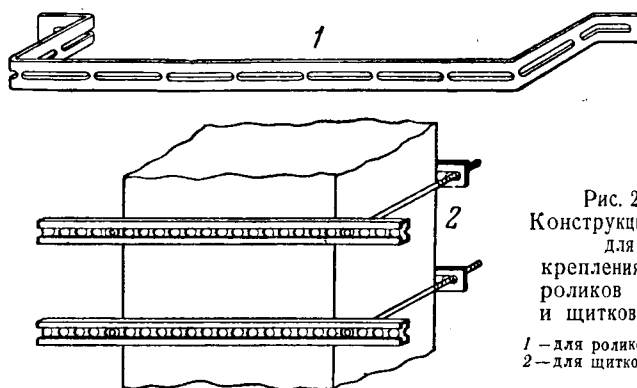


Рис. 2. Конструкция для крепления роликов и щитков.

1—для роликов; 2—для щитков.

Выбор способа проводки в зависимости от характера среды помещений

Таблица 3

Способ прокладки	Марка провода и способ прокладки	Характеристика помещений												
		Сухие отапливаемые				Сухие неотапливаемые	Сырые		Особо сырые	Пыльные	С едкими парами и газами	Пожароопасные	Взрывоопасные	Вне зданий
		Жилые дома	Бытовые помещения и мелкие мастерские	Промышленные объекты	Бытовые помещения и мелкие мастерские		Промышленные объекты							
Открытый на изолирующих опорах	ПРД и ШР на роликах . . . . .	×	×	×	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	ПР-500 на роликах или клицах . . . . .	×	×	+	+	+	×	+	+	×	×	—	—	—
	ПР-500 на изоляторах или клицах . . . . .	—	—	+	+	—	+	×	×	×	×	×	—	+
	Голые провода <sup>4</sup> на изоляторах или клицах . . . . .	—	—	+	+	—	×	×	×	—	+	—	—	—
Открытый по поверхностям стен и потолков	ТПРФ . . . . .	+	+	+	×	—	—	—	+	+	+	+	—	—
	СРГ . . . . .	×	×	×	×	×	×	×	+	×	+	×	—	×
	СРБ и СБ . . . . .	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	+	×
	ПР-500 в изоляционных трубках с металлической оболочкой . . . . .	×	×	×	×	—	—	—	+	—	—	+	—	—
Скрытый и открытый	ПРТО или ПР-500 в стальных (газовых) трубах <sup>7</sup> . . . . .	×	×	+	+	×	×	×	×	+	×	+	+	×
	ПР-500 или ПРТО в скрыто проложенных изоляционных трубках . . . . .	+	+	×	—	—	—	—	×	×	+	×	+	×
Скрытый	СРГ в стальных трубах . . . . .	—	—	—	×	×	×	×	×	×	+	×	+	×

Условные обозначения: +рекомендуется, ×применение допускается, если это целесообразно по местным условиям, —запрещается.

1. Допустимость применения обуславливается характером пыли.

2. Допускается при горизонтальной прокладке на высоте не менее 4 м от пола.

3. По стенам здания или вводы в здания.

4. Внутри здания высота проводов над полом должна быть не менее 3,5 м и над гасителями крагов не менее 2,5 м.

5. Стальные провода запрещаются.

6. При условии прокладки в местах, где провода не могут подвергаться повреждениям от механических воздействий.

7. Провод ПР-500 допускается только при открытой прокладке труб в сухих помещениях.

и неотапливаемых помещениях; г) по типу СРГ с замкнутой оболочкой из свинца более легкой и дешевой оболочкой из алюминия или пластмасс; д) по типу СРГ с защитным антикоррозийным лаковым для помещений с особо тяжелыми условиями среды; е) с теплостойкой изоляцией для зарядки светильников.

Основные рекомендации по выбору способа проводки в зависимости от условий среды для изготавливаемых марок проводов указываются в табл. 3. Естественно, что при выборе марки провода и способа его прокладки должны также учитываться конструктивные, экономические и монтажные соображения, а в отдельных случаях — гигиенические и архитектурно-художественные требования.

В проводках могут применяться в зависимости от сечения жил и степени пожарной опасности помещений провода как с медными, так и с алюминиевыми жилами. Применение стальных проводов для групповой сети в помещениях не рекомендуется из-за трудности обеспечения хорошего контакта большого количества ответвлений.

**Новые детали для монтажа.** До последнего времени для закрепления изолирующих опор и различного рода конструкций на кирпичных и бетонных основаниях применяется широко известный способ вмазки в них спиралей для винтов, разведенных концов якорей и закрепов. Этот способ трудоёмок и связан со сроками схваты-

вания крепящих растворов. В настоящее время все большее применение находят не требующие вмазки винтовые закрепы (рис. 1). Отверстия в основаниях выбиваются точно под размер, специальными пробойниками, являющимися комплектной принадлежностью таких закрепов.

Для ускорения работ по креплениям применяется монтажная сталь, представляющая собою сортамент полос и уголков с различной перфорацией, что освобождает от сверловки отверстий и отгибания концов. Некоторые разновидности такой стали, изготовляемые заводами Главэлектро-монтажа, приведены на рис. 2.

Для ускорения работ по соединению и ответвлению проводов применяются голые или изолированные зажимы для всех видов проводки, кроме шнуровой. В последнем случае сохранена пайка, так как применение зажимов создает неприглядный внешний вид проводки.

### Литература

1. М. М. Епанешников. Освещение металлорежущих станков и мест технического контроля цехов холодной обработки металла. Машгиз, 1948.
2. Г. М. Кнорринг. Справочник для проектирования электрического освещения. Госэнергоиздат, 1948.
3. М. С. Рябов. Упрощенный способ расчета освещения от светильников с флуоресцентными лампами. Изд. ин-та технической информации, № 1231/50, 1947.
4. М. С. Рябов. Сборник материалов Всесоюзной научно-технической сессии по светотехнике 1947 г. Госэнергоиздат, стр. 164 — 180, 1948.

[25. 4. 1949]



## Поляризация и диэлектрические потери твердых и жидких диэлектриков в полях сверхвысокой частоты

Возможность изучения свойств диэлектриков в полях сверхвысокой частоты появилась в последнее десятилетие в связи с развитием техники микрорадиоволн, имеющих длину примерно от 1 м до 1 мм ( $3 \cdot 10^8 \div 3 \cdot 10^{11}$  гц).

Размеры приборов, служащих для генерации сверхвысоких частот, сравнимы с длиной волны. Поэтому чрезвычайно трудно, а порой и невозможно применять для изучения микрорадиоволн обычные методы расчета колебательных контуров с сосредоточенными или даже распределенными постоянными.

Эти обстоятельства заставляют при изучении микроволновых полей прибегать к помощи теории электромагнитного поля, пользоваться при расчетах уравнениями Максвелла. Изучение этого диапазона электромагнитных колебаний привело к открытию ряда замечательных их особенностей, которые в настоящее время широко используются физикой и техникой. Радиосвязь, радионаблюдение различного рода объектов (кораблей, самолетов, а в последнее время — небесных тел и т. д.), изучение ионосферы, управление на расстоянии различными аппаратами — вот далеко неполный перечень тех проблем, которые решила радиолокационная техника, использовав замечательные свойства «микроволновых лучей».

Микрорадиоволновая техника дала новое мощное оружие физике для исследования строения и свойств вещества. В настоящее время радиофизические методы исследования широко применяются для изучения молекулярных термов и характера соударений между молекулами в газе (радиоспектроскопия молекул). Рядом работ [Л. 1, 2] установлена возможность применения подобных методов для изучения структуры атомов и атомных ядер.

В диапазоне микроволн оказались частоты ротационных переходов очень многих молекул, соответствующие тонкой структуре ротационных термов, переходам между подуровнями электрического и магнитного расщепления молекулярных термов и т. д. Этим же области принадлежат частоты переходов между подуровнями сверхтонкой структуры атомных термов и переходов между земановскими подуровнями, которые появляются при помещении в сильное магнитное поле атомных ядер с магнитным моментом.

Развитие микроволновой техники поставило перед физикой диэлектриков задачу отыскания изолирующих материалов, обладающих соответствующими характеристиками в этом диапазоне частот. Вопросы конструирования аппаратуры для генерации, канализации и приема микроволн оказались тесно связанными с проблемой изоляции. Это прежде всего дало начало экспериментальным исследованиям, целью которых явилось создание класса сверхвысокочастотных диэлектриков. В литературе появилось большое количество работ, посвященных методике измерения электрических свойств веществ в микроволновых полях.

Новая техника позволила создать аппаратуру для широких исследований в этой области. Это, естественно, расширило экспериментальные возможности изучения свойств изолирующих веществ.

Теория диэлектриков давно ощущала острый недостаток в надежных экспериментальных данных, относящихся к частотной и температурной зависимостям диэлектрической проницаемости и поглощения в диапазоне электромагнитных колебаний очень высокой частоты. Такой интерес к поведению электрических характеристик веществ в этой области частот вполне естественен. В са-

мом деле, частоты порядка  $10^{10}$  гц близки к собственным частотам слабо связанных ионов некоторых диэлектриков. Обнаружение максимумов поглощения (даже не четко выраженных) путем измерения зависимости показателя поглощения от частоты при данной температуре или изменением температуры при заданной частоте даст возможность судить о механизме колебаний заряженных частиц вещества. Последнее, в свою очередь, прольет свет на механизм диэлектрических потерь, знание которого является фундаментальной проблемой физики диэлектриков.

Указанные радиофизические методы исследования оказались особенно плодотворными в применении к газам [Л. 3, 4]. Характер зависимости показателя поглощения от частоты для достаточно разреженных газов дает возможность судить о свойствах отдельных молекул, так как собственные частоты молекулярных переходов в первом приближении совпадают с частотами максимального поглощения газа.

Несомненный интерес представляет использование подобных методов исследования для изучения свойств жидких диэлектриков. Частотные и температурные кривые диэлектрической проницаемости и поглощения в этом диапазоне частот могут помочь выяснению природы агентов, которые обуславливают потери в жидких диэлектриках.

К сожалению, в литературе имеется очень мало надежных экспериментальных данных, относящихся к зависимости диэлектрической проницаемости и показателя поглощения диэлектриков от частоты и температуры в диапазоне микрорадиоволн. Это обстоятельство объясняется в основном несовершенством измерительной аппаратуры, применяемой для подобных экспериментов, отсутствием эффективной микроволновой методики измерения поглощения и диэлектрической проницаемости изолирующих веществ.

Большинство работ, в которых имеются данные о поглощении и диэлектрической проницаемости ряда материалов, посвящены методике измерения. Найденные значения  $\epsilon$  и  $\operatorname{tg} \delta$  приводятся для иллюстрации достоинств той или другой микроволновой методики измерений диэлектриков. Авторы не интересуются измеряемыми материалами, поэтому не сообщают об их химических характеристиках, условиях, в которых проводились эксперименты. Это обстоятельство приводит к тому, что результаты измерений разных авторов часто не совпадают.

В качестве иллюстрации приведем таблицу, в которой представлены величины  $\epsilon$  и  $\operatorname{tg} \delta$  некоторых диэлектриков, измеренных рядом авторов (см. таблицу).

Спрашивается, за счет каких факторов можно отнести столь большой разброс значений? Неизвестно, вызвано ли это изменением поглощения с частотой, различием химических характеристик измеряемого материала или условиями эксперимента и погрешностями методик. К сожалению, в литературе нет работ, в которых обобщались бы данные о поведении  $\epsilon$  и  $\operatorname{tg} \delta$  диэлектриков в широком диапазоне частот.

Наиболее интересны для физики диэлектриков три работы [Л. 9, 10, 16]. В них основное внимание уделяется изучению физики процессов в различных изолирующих материалах на сантиметровых волнах.

Наибольшее количество относящихся сюда данных приведено в работе [Л. 9]. При помощи оптического метода проведена большая серия измерений  $\operatorname{tg} \delta$  и  $\epsilon$  ряда



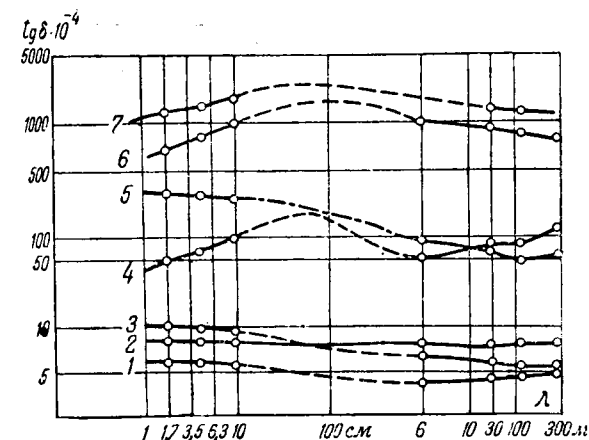


Рис. 1. Зависимость  $\operatorname{tg} \delta$  от длины волны  $\lambda$  для различных материалов.

1—стекло; 2—кристаллический кварц; 3—полистирол; 4—эбонит; 5—фарфор; 6—гетинакс; 7—фибра.

для твердых и жидких диэлектриков на фиксированных волнах 3,5; 6,26; и 7,2 см. Полученные результаты сопоставлены с данными других авторов, производивших измерения на более низких частотах. В результате для некоторых твердых диэлектриков получились кривые частотной зависимости (рис. 1). Естественно, что компилятивные кривые подобного рода не всегда отражают действительное поведение вещей. Подвергать эти результаты теоретической интерпретации весьма рискованно. Но тем не менее приведенные на рис. 3 и 5 зависимости  $\operatorname{tg} \delta = f(\gamma)$  при сравнении с результатами ряда других авторов для тех диэлектриков позволяют сделать некоторые практические выводы.

Характерна прежде всего тенденция большинства измеренных диэлектриков к некоторому уменьшению величины  $\operatorname{tg} \delta$  с ростом частоты в диапазоне сантиметровых волн. Известные высокочастотные диэлектрики: кварц, полиуретан, полиэтилен [Л. 11], стеклит практически не меняют значения величины угла потерь во всем диапазоне частот. Некоторые отступления от линейной зависимости угла потерь, очевидно, отнести за счет различия химических характеристик образцов, условий измерения и процента влажности методики. Разница в абсолютных значениях для этих диэлектриков не характерна. Минимальным значением угла потерь обладает чистый кристаллический кварц; величина  $\operatorname{tg} \delta$  полистирола, согласно данным различных авторов, колеблется в пределах  $2,7 \cdot 10^{-4} \div 20 \cdot 10^{-4}$ . Показано [Л. 16], что в зависимости от условий полимеризации полистирола при  $f = 3 \cdot 10^9$  гц изменяет свою величину в пределах  $8 \cdot 10^{-4} \div 25 \cdot 10^{-4}$ .

Код кривых для каучука, гетинакса и эбонита указывает на возможность существования максимумов потерь в диапазоне от 1 до 6 м.

Возможность существования максимумов поглощения в твердых диэлектриках в диапазоне сверхвысоких частот подтверждается работой [Л. 5]. На рис. 2 и 3 изображены кривые частотной зависимости  $\operatorname{tg} \delta$  и  $\epsilon$  для высушенного целлюлозного картона и инсанола (борноокислый свинец с наполнением слюдой). Интересен явно выраженный максимум (при частоте порядка  $10^8$  гц), напоминающий дипольный максимум диэлектрических потерь. Это раз подтверждает возможность механизма дипольных потерь и в твердых диэлектриках [Л. 15]. Приведенные

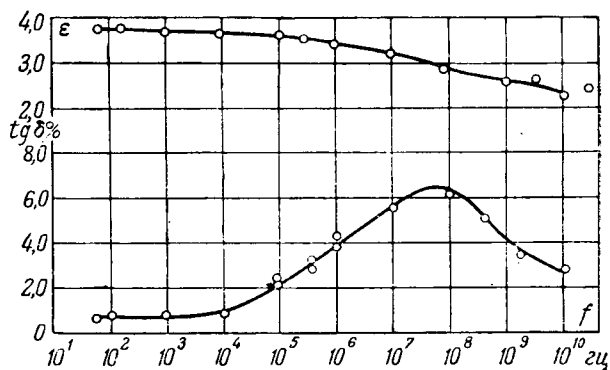


Рис. 2. Диэлектрические свойства целлюлозного картона, высушенного при  $105^\circ\text{C}$  в течение 16 час.

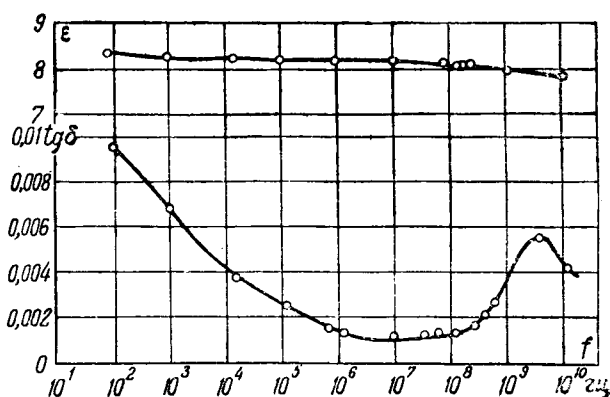


Рис. 3. Диэлектрические свойства инсанола (борноокислый свинец с наполнением слюдой).

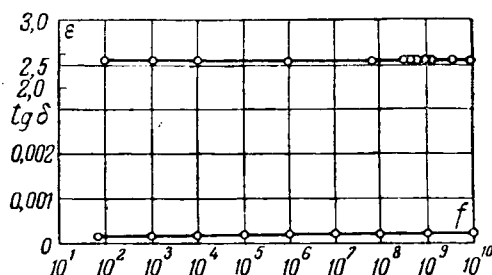


Рис. 4. Диэлектрические свойства полистирола.

частотные характеристики  $\operatorname{tg} \delta$  заслуживают пристального внимания и нуждаются в многократной проверке. Та же работа [Л. 15] подтверждает независимость  $\epsilon$  и  $\operatorname{tg} \delta$  полистирола от частоты (рис. 4).

Исследованы диэлектрические свойства стекла на волнах 3 и 10 см в работе [Л. 17]. Измерены  $\epsilon$  и  $\operatorname{tg} \delta$  различных стекол с целью выяснения влияния  $\text{BaO}$ ,  $\text{PbO}$  и других примесей на их электрические характеристики. К сожалению, богатый экспериментальный материал не

Материалы	[Л. 9] $\lambda = 1,65; 3,5; 6,25; 7,2 \text{ см}$		[Л. 8] $\lambda = 2,5 \text{ см}$		[Л. 6] $\lambda = 10 \text{ см}$		[Л. 7] $\lambda = 14 \text{ см}$	
	$\operatorname{tg} \delta \cdot 10^4$	$\epsilon$	$\operatorname{tg} \delta \cdot 10^4$	$\epsilon$	$\operatorname{tg} \delta \cdot 10^4$	$\epsilon$	$\operatorname{tg} \delta \cdot 10^4$	$\epsilon$
Полистирол . . .	10	2,1	—	2,5	2,7	—	5,7	2,3
Эбонит . . . . .	7	4,9	—	—	—	—	10—19	5,3
Гетинакс . . . .	750—900	4,8	—	—	—	—	540	4,1

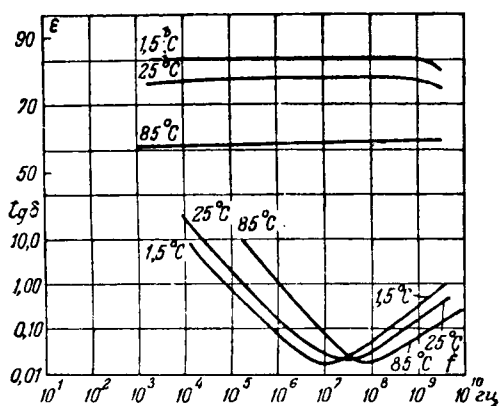


Рис. 5. Диэлектрическая проницаемость и  $\text{tg } \delta$  воды при разной температуре в зависимости от частоты.

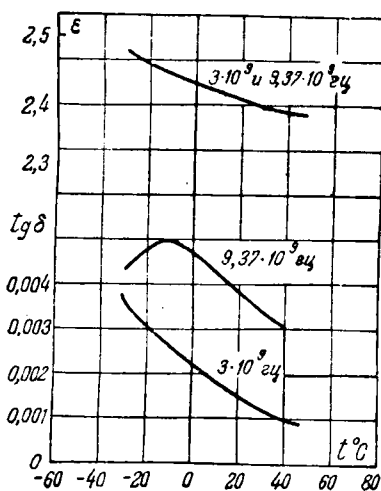


Рис. 6.  $\text{tg } \delta$  и  $\epsilon$  полистирола в зависимости от температуры.

обобщен авторами. Совершенно отсутствует теоретическая интерпретация поведения  $\epsilon$  и  $\text{tg } \delta$  стекол в полях сверхвысокой частоты.

Измерению жидких диэлектриков посвящено еще меньше работ. Данные, которые имеются в литературе, относятся к исследованию метилового и этилового спиртов, трансформаторного масла, глицерина, жидкого парафина, воды и стирола.

Проведена серия исследований в направлении разработки пластмасс на основе полистирола [Л. 16]. В процессе этих исследований получен ряд интересных кривых частотной и температурной зависимости  $\epsilon$  и  $\text{tg } \delta$  для воды и стирола. На рис. 5 изображено изменение  $\text{tg } \delta$  воды в зависимости от частоты. Следует подчеркнуть важность этих характеристик. Вода постоянно присутствует в больших или меньших количествах и в различных состояниях почти во всех диэлектриках. Часто присутствие воды определяет поведение электрических характеристик изолирующих материалов. Таким образом, чтобы выделить влияние структурных элементов данного вещества на его диэлектрическую проницаемость и поглощение необходимо знать характер поведения  $\epsilon$  и  $\text{tg } \delta$  воды в зависимости от частоты и температуры. Представленную на рис. 5 зависимость можно объяснить следующим образом. При низких частотах потери определяются ионной проводимостью; они монотонно растут с увеличением длины волны. При увеличении частоты колебаний электромагнитного поля потери проводимости уменьшаются, но начинают расти дипольные потери. В соответствии с теорией Дебая [Л. 18] при повышении температуры вся картина смещается в область более высоких частот. На рис. 6 изображена кривая зависимости  $\epsilon$  и  $\text{tg } \delta$  от температуры для полисти-

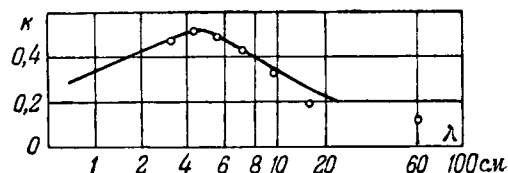


Рис. 7. Кривая поглощения для метилового спирта  $\text{CH}_3\text{OH}$  при температуре  $t = 19^\circ\text{C}$  в зависимости от длины волны.

рола при двух частотах. Характерно, что незначительное уменьшение частоты вызывает резкий сдвиг максимума в сторону низких температур. Авторы [Л. 16] считают, что эти экспериментальные данные хорошо согласуются с дебаевской формулой для мономеров. Следует подчеркнуть, что этот вывод не имеет серьезного обоснования.

Для этилового и метилового спирта при помощи оптического метода измерения получены кривые поглощения, изображенные на рис. 7 и 8 [Л. 10]. Эти результаты находятся в удовлетворительном согласии с данными для более длинных волн (см., например [Л. 12, 13]). Интерпретируя полученные результаты, автор приходит к выводу, что свойства этилового и метилового спиртов вплоть до волны  $\lambda = 2$  см довольно хорошо отражаются дебаевской формулой зависимости показателя поглощения от частоты.

Трансформаторное масло, расплавленный парафин и глицерин были исследованы на тех же фиксированных волнах (1,65; 3,2; 6,5; 7,2 см) [Л. 9]. Для первых двух диэлектриков на всех этих волнах получился одинаково малый  $\text{tg } \delta = 6 \cdot 10^{-4}$ . Этот результат находится в согласии с другими данными, полученными для этих двух жидкостей [Л. 12, 13]. Между волнами 10 и 14 м обнаружены максимумы  $\text{tg } \delta$ . Поэтому естественно, что область сантиметровых волн соответствует минимальным значениям  $\text{tg } \delta$ .

Результаты измерения зависимости поглощения и диэлектрической проницаемости от частоты для глицерина представлены на рис. 9. Коэффициент поглощения  $k$  монотонно возрастает при увеличении длины волны. Известно, что для чистого глицерина область максимальной дисперсии диэлектрической проницаемости и поглощения лежит в диапазоне метровых—дециметровых волн; в полях сверхвысокой частоты дисперсионных явлений не наблюдалось. В данном случае мы наблюдаем левую ветвь характерной для дипольных веществ кривой поглощения с резко выраженным максимумом.

Вследствие сложности молекулярной структуры глицерина и его гигроскопичности, которая очень сильно влияет на поглощение, проводимость и диэлектрическую проницаемость, формулы Дебая оказываются неприменимыми.

**Выводы.** Несмотря на малое количество опубликованных экспериментальных данных, можно обобщить результаты измерений различных изолирующих материалов и сделать некоторые практически важные заключения относительно поведения диэлектриков в электромагнитных полях сверхвысокой частоты.

Анализ результатов, полученных при исследовании электрических характеристик ряда изолирующих веществ позволяет прийти к следующим выводам:

1. Большинство диэлектриков, обладающих хорошими электрическими характеристиками при частотах до  $8 \cdot 10^8$  гц, сохраняют свои высокие качества и в полях микрорадиоволн.

Этот вывод имеет большую практическую важность, так как те ценные результаты, которые достигнуты в направлении разработки высокочастотных диэлектриков, не теряют своего значения для класса сверхвысокочастотных диэлектриков.

2. Характерна тенденция большинства твердых и жидких диэлектриков к некоторому уменьшению угла потерь с ростом частоты.

Для кварца, полистирола и полиэтилена обнаруживается практически полная независимость диэлектрической проницаемости и поглощения от частоты.

3. У ряда жидких и твердых диэлектриков в области микроволн существуют максимумы поглощения. Этот ре-

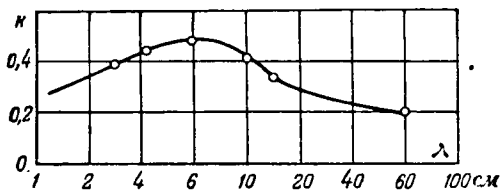


Рис. 8. Кривая поглощения для этилового спирта  $C_2H_5OH$  при температуре  $t=20^\circ C$  в зависимости от длины волны.

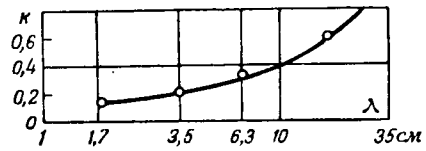


Рис. 9. Зависимость для чистого глицерина коэффициента поглощения  $k$  от длины волны.

зультат подтверждает мнение о возможности механизма диэлектрических потерь в твердых диэлектриках, подобного механизму дипольных потерь в жидких полярных диэлектриках.

4. Неполярные жидкие диэлектрики обладают очень малым углом потерь в диапазоне микроволн. Естественно предположить, что частицы примесей, за счет которых в основном возникают диэлектрические потери в жидкостях, при относительно низких частотах, не участвуют в поглощении энергии сверхвысокочастотных колебаний.

Полярные жидкости сохраняют большую величину угла потерь и в полях микрорадиоволн.

### Литература

1. I. B. M. Kellogg, S. Meilman. Review of Modern Physic, т. 18, стр. 323, 1946.
2. E. M. Purcell, H. C. Torrey, R. V. Pound. Phys. Rev., т. 69, стр. 37, 1946.
3. W. D. Hersberger. J. Appl. Phys., т. 17, стр. 465, 1946.
4. I. E. Walter, W. D. Hersberger. J. Appl. Phys., т. 17, стр. 814, 1946.

5. C. N. Works. J. Appl. Phys., т. 18, стр. 609, 1947.
6. F. Borgnis. Phys. Z., т. 35, стр. 284, 1942.
7. F. Borgnis. Hochfrequenz und Elektroakustik, т. 59, стр. 22, 1942.
8. G. Fejer, P. Scherer. Helvetica Physica Acta, т. 15, стр. 645, 1942.
9. W. Kebbел. Hochfrequenz und Elektroakustik, т. 53 стр. 81, 1939.
10. G. B. z. Phys. Z., т. 40, стр. 394, 1939.
11. W. Jackson, P. Forsyth. JIEE, ч. I, т. 92 стр. 17, 1945.
12. K. Rohde. Z. f. techn. Phys., т. 12, стр. 637, 1937.
13. K. Rohde, O. Schlegelmilch, ETZ, т. 34, стр. 580, 1933.
14. F. Seeberger. Annalen der Physik, т. 16, стр. 77, 1933.
15. W. Kauzman. Rev. Mod. Phys., т. 14, стр. 12, 1942.
16. R. Hippel, M. Wesson. Ind. End. Ch., т. 38, стр. 11, 1946.
17. L. Navis, R. Green. J. Am. Cer. Soc., т. 29, стр. 267, 1946.
18. П. Дебай. Полярные молекулы. ОНТИ, 1931.

Инж. В. М. ДУКОВ

## Полупроводниковый усилитель

Описывается прибор — полупроводниковый усилитель. Это кристаллический триод, являющийся полупроводниковым усилителем мощности и обладающий многими свойствами, близкими к овойствам усилительных вакуумных ламп, но без вакуумного сосуда и накаливаемого катода. Конструкция разработанного прибора близка к конструкции неуправляемого германиевого вентиля (кристаллического диода). Кристаллический триод отличается наличием не одной, а двух вольфрамовых проволочек, касающихся поверхности полупроводника.

Следует отметить, что приоритет в области исследования явлений усиления с помощью полупроводников принадлежит советским исследователям А. Л. Горелику и О. Лосеву [Л. 1].

Основными частями управляемого вентиля (рис. 1) являются: тонкая пластинка кристаллического германия 1, припаянная к металлическому диску 2, который служит основой прибора (общим электродом) и имеет малое контактное сопротивление с германием; две тонких заостренных вольфрамовых проволочки (пружинки), которые образуют контакт на поверхности германия на расстоянии около 0,05 мм друг от друга; при этом одна из вольфрамовых проволочек 3 присоединена к входной, а другая 4 к выходной цепи прибора; названные части прибора располагаются в металлическом цилиндре 5 диаметром 3/16 дюйма и длиной 5/8 дюйма.

На рис. 2 показана принципиальная схема включения полупроводникового усилителя. Источник напряжения сигнала 5 переменного тока включается последовательно с источником постоянной электродвижущей силы 6 (порядка нескольких вольт) и присоединяется к входной цепи прибора таким образом, что входная вольфрамовая пружинка 3 имеет положительное напряжение по отношению к общему электроду 2 вентиля. Нагрузочное сопротивление 8 соединяется последовательно с источником постоянной

электродвижущей силы 7 (порядка нескольких десятков вольт) и присоединяется к выходной цепи прибора таким образом, что выходная вольфрамовая пружинка 4 имеет отрицательное напряжение по отношению к общему электроду 2 выпрямителя. Вольфрамовая пружинка 3 является «управляющим электродом» — в статье [Л. 2] названа эмиттером, а вольфрамовая пружинка 4 («выходной электрод») — коллектором.

Напряжения входной и выходной цепи прибора вследствие наличия источников постоянной электродвижущей силы действуют так, что от электрода управления 3 к основному (общему) электроду 2 проходит прямой ток, а от основного электрода 2 к выходному электроду 4 обратный ток. Поэтому внутреннее сопротивление входной цепи прибора приблизительно в 100 раз меньше сопротивления выходной цепи прибора.

С помощью кристаллического триода было получено усиление мощности в 100 раз. Прибор потребляет мощность около 0,1 вт и дает на выходе полезную мощность до 25 мвт, что соответствует коэффициенту полезного действия 25%. Авторы предполагают, что срок службы управляемых германиевых вентилях дол-

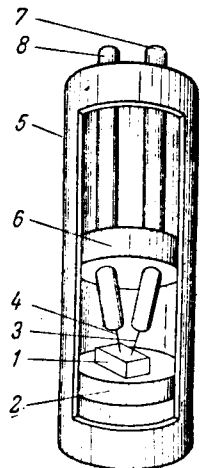


Рис. 1. Устройство полупроводникового усилителя.

1 — пластинка кристаллического германия; 2 — металлическая основа; 3 — вольфрамовая пружинка входной цепи; 4 — вольфрамовая пружинка выходной цепи; 5 — металлический цилиндр; 6 — изолирующая часть; 7 — вход; 8 — выход.

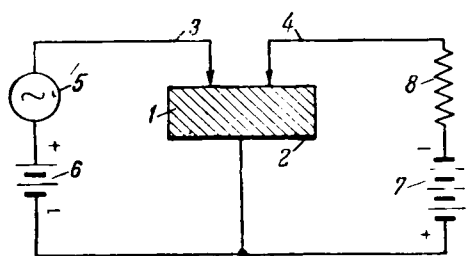


Рис. 2. Принципиальная схема включения полупроводникового усилителя.

1—германий; 2—металлическая основа; 3—управляющий электрод; 4—выходной электрод; 5—источник напряжения сигнала; 6—источник постоянной электродвижущей силы входной цепи; 7—источник постоянной электродвижущей силы выходной цепи; 8—нагрузка.

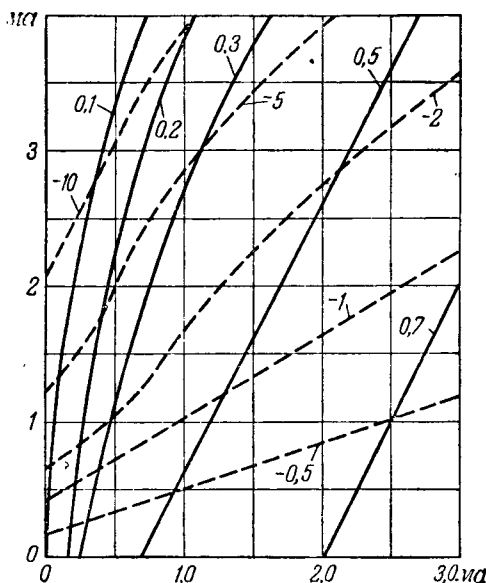


Рис. 3. Характеристики полупроводникового усилителя. По оси абсцисс указан ток управляющего электрода; по оси ординат указан ток выходного электрода; сплошными линиями показано напряжение управляющего электрода; пунктирными линиями показано напряжение выходного электрода.

жен достигать многих тысяч часов. На рис. 3 показаны характеристики нового прибора.

Указываются преимущества кристаллических триодов по сравнению с вакуумными усилительными лампами: полупроводниковые усилители потребляют малую мощность, так как не имеют цепей накала и обладают высоким коэффициентом полезного действия; они имеют малые размеры, меньше, чем самые миниатюрные электронные лампы; при массовом производстве должны иметь стоимость меньше стоимости электронных ламп; должны обладать большим сроком службы; они вступают в работу сразу после включения, так как не имеют накаливаемых электродов. Указанные преимущества имеют весьма большое значение в тех случаях, где особенно необходимо иметь малый расход электроэнергии и где особенно важна портативность исполнения, ибо полупроводниковые усилители (вследствие малых потерь мощности) допускают размещение их в большом количестве в малом объеме без трудностей, обусловленных отводом тепла.

Указываются недостатки выполненных образцов управляемых вентилях. Они имеют малую мощность на выходе (25 мвт на единицу и 50 мвт при двухтактной схеме соединения). При параллельной работе нескольких кристаллических триодов мощность на выходе может быть увеличена. Наибольшая рабочая частота достигает около  $10^7$  гц, поэтому кристаллические триоды применяются при радиочастотах звуковой передачи, но не подходят для ультракоротких волн и для микроволн. Собственный шум кристаллического триода заметно больше, чем у вакуумной лампы. Для использования полупроводниковых триодов в многокаскадных усилительных устройствах необходима разработка новых способов соединения каскадов, так как выходное сопротивление полупроводникового триода (порядка 10 000—100 000 ом) в противоположность вакуумной лампе больше входного сопротивления (приблизительно в 100 раз).

Указываются примеры применения полупроводниковых усилителей для телефонной и телеграфной службы и для радиоприемников. Был изготовлен радиоприемник без вакуумных ламп. Он имел 11 кристаллических триодов в усилительных каскадах, два германиевых диода (детектирование) и два селеновых выпрямителя для силового питания. Приемник принимал передачи местных радиостанций и имел мощность 25 мвт у громкоговорителя. Управляемый полупроводниковый вентиль назван транзистор (transistor) от слов transfer, resistor. Авторы полагают, что управляемые полупроводниковые вентили заменят электронные лампы во многих областях применения.

Объяснение авторами принципа действия управляемого полупроводникового вентиля основано на предположении, что германий в вентиле обладает в основной своей толще электронной проводимостью. В тонком же поверхностном слое у контакта с вольфрамом германий обладает дырочной проводимостью вследствие недостатка электронов.

Между указанными слоями, обладающими разным рода проводимостью; возникает запирающий слой, обладающий весьма высоким электрическим сопротивлением вследствие очень малой концентрации в нем носителей тока. При прохождении обратного тока (от германия к вольфраму) сопротивление контакта германий—вольфрам увеличивается, так как уменьшается концентрация носителей тока в запирающем слое и толщина последнего возрастает. При прохождении прямого тока (от вольфрама к германию) сопротивление контакта германий—вольфрам уменьшается, так как толщина запирающего слоя становится меньше, ибо в нем возрастает концентрация носителей тока.

При отсутствии тока в цепи управляющего электрода после включения цепи выходного электрода под действием постоянной электродвижущей силы в выходной цепи проходит обратный ток. При этом запирающий слой в полупроводнике около выходного электрода обладает весьма большим сопротивлением. Если теперь включается цепь управляющего электрода и начинает проходить через полупроводник, кроме того, ток от управляющего электрода, то концентрация дырок около последнего возрастает. Вследствие близости двух вольфрамовых контактов при этом возрастает концентрация носителей тока и около выходного электрода. Поэтому сопротивление запирающего слоя у выходного электрода уменьшается и ток в выходной цепи возрастает.

Такое объяснение принципа действия управляемого полупроводникового усилителя соответствует разработанной Б. И. Давыдовым современной теории вентильного действия полупроводниковых усилителей. Однако, не приведено экспериментального подтверждения данного объяснения и вполне возможно, что вопреки утверждению авторов основную роль в процессе усиления мощности играет изменение концентрации электронов проводимости в запирающем слое, а не дырок. Следует отметить, что сделанное авторами предположение о возникновении запирающего слоя в полупроводниковом усилителе на границе двух слоев полупроводника, обладающих разным рода проводимостью (дырочной и электронной), было еще раньше высказано советскими физиками. В. Е. Лошкарёв экспериментально изучал такой переход в полупроводниках от одного рода проводимости к проводимости другого рода. А. Ф. Иоффе отметил, что для работы полупроводниковых усилителей имеет большое значение образование запирающих слоев в тех местах полупроводника, где дырочная проводимость переходит в электронную.

В заключение следует отметить, что управляемые полупроводниковые усилители, безусловно, имеют большие перспективы применения.

#### Литература

1. А. Л. Горелик. Применение полупроводников в качестве управляемых сопротивлений. Электричество, № 1940.
2. Electronics, № 9, 1948.
3. Е. и. М., №-1 1949.

Кандидат техн. наук, доц. В. Г. КОМАР



## Системы механических единиц

(К проекту ГОСТ)

Кандидат физ.-матем. наук, доц. В. Е. СОЛОВЬЕВ

Днепропетровский государственный университет

Обилие существующих систем единиц затрудняет их практическое использование. ОСТ 169, 1928 г. (Абсолютная система механических единиц—МТС) охватывает единицы силы, работы и энергии, мощности и механического напряжения, дает соотношения между единицами MTS и CGS и таблицу перевода механических единиц технической системы в единицы абсолютной системы при точных и приближенных расчетах. ОСТ ВКС 3358, 1933 г. (Масса, вес, плотность) устанавливает буквенные обозначения и размерность, а также определяет вес, ускорение свободного падения, плотность и удельный объем. ОСТ ВКС 6052, 1934 г. устанавливает наименования, обозначения, определения и соотношения для единиц силы, работы и энергии, мощности и механического напряжения. ОСТ ВКС 6053, 1934 г. включает определение системы, классификацию установленных стандартом систем CGS, MTS и MKS, область применения каждой системы и единицы измерения системы. Таким образом, в этих многочисленных стандартах повторяется почти один и тот же материал, избыточный часто противоречиями и неточностями. Настоятельно требуется унификация систем единиц и области механических, тепловых и электромагнитных явлений.

Путь к унификации лежит через вводимую в рассматриваемом новом проекте ГОСТ систему единиц MKS (метр, килограмм-масса, секунда).

**Общий обзор проекта.** Самой существенной частью проекта является система MKS. Для единицы силы в этой системе узаконено название: ньютон  $= 10^5$  дин. Единица энергии—джоуль—открывает перспективы распространить эту систему на тепловые и электромагнитные явления.

В отличие от прежних стандартов новый проект не загружен кратными и дольными единицами, а выносит необходимые метрические приставки в отдельное приложение. Список пополнен четырьмя приставками, что позволяет широко разнообразить масштабы единиц.

Все это является серьезными достоинствами Проекта и делает его крупным вкладом в дело упорядочения механических единиц и в дело унификации единиц вообще. По мотивам унификации из Проекта правильно исключена система MTS, но неосознанно стандартизировать три системы, а не одну только — MKS.

Этим самым Проект повторяет два крупных принципиальных недостатка, имеющих в прежних стандартах, а именно: обилие стандартизованных систем и двусмысленность термина килограмм. Эта двусмысленность яв-

ляется вопиющей несообразностью метрологии XIX—XX вв.

В настоящее время в СССР действуют четыре стандарта, определяющие применяемые системы механических единиц и самые единицы (ОСТ 169, ОСТ ВКС 5858, ОСТ ВКС 6052 и ОСТ ВКС 6053). Рассматриваемый проект нового ГОСТ был внесен Комитетом по делам мер и измерительных приборов и принят Всесоюзным комитетом стандартов как проект 10 апреля 1947 г. Отмечая, что проект стремится к унификации механических, тепловых и электромагнитных единиц на базе новой системы MKS, статья подчеркивает слишком нерешительный переход на новую систему и рекомендует через короткое время вовсе упразднить техническую систему MKfS, а систему CGS оставить как вспомогательную. Диапазон единиц системы MKS может быть значительно расширен применением метрических приставок, но для этого необходимо, чтобы в названия основных единиц приставки не входили. В статье соответственно предлагается переименовать единицу массы: килограмм. В статье, как и в проекте ГОСТ, имеется ряд спорных положений, которые должны быть обсуждены.

Проект вообще как-то нерешительно вводит новую систему MKS, но подчеркивая ее унификационные преимущества перед другими двумя системами, в то время как в будущем ГОСТ должно быть прямо указано, что система MKS является базой для унификации систем единиц во всех областях физики и потому она должна заменить собою все прежние системы единиц, включая и систему CGS.

Классификация систем единиц. В каком же отношении к прежним системам находится новая?

К. М. Поливанов [Л. 1] указывает четыре независимых классификационных признака для систем единиц: 1) число основных единиц, 2) системы уравнений, 3) величины, единицы которых приняты за основные, и 4) основные единицы.

Системы единиц, которым соответствует одна и та же система уравнений, К. М. Поливанов называет голоморфными. Переход между подобными системами не представляет труда. В частных случаях и в общем виде он широко освещен в литературе [Л. 2 и др.]. Все механические системы единиц (CGS, MTS, MKS, техническая, британская) — голоморфны между собой, так как уравнения механики стабилизировались достаточно прочно и сохраняют неизменный вид во всех этих системах. Все эти системы совпадают и по числу основных единиц. Возможные различия между системами механических единиц сводятся к вышеназванным признакам 3 и 4.

**Выбор основных величин.** Две величины — длина и время — приняты во всех основных механических системах единиц. Дискуссионной является третья величина: масса или сила; соответственно возможны два варианта LMT или LFT. Вокруг выбора одного из этих вариантов и разгораются наиболее горячие споры.

В Проекте первый вариант представлен двумя системами единиц: CGS и MKS, а второй, так называемой, технической системой: MKfS, т. е. метр, килограмм-сила, секунда.

И прежние стандарты и новый Проект ставят техническую систему на последнее место и тем самым отдают формальное предпочтение вариантам LMT. Но прежние стандарты были последовательнее: так ОСТ/ВКС 6052 допускает лишь ограниченное применение технической системы для расчетов небольшой точности и рекомендует в основных случаях пользоваться системами CGS или MTS.

Новый же Проект эклектически допускает оба варианта LMT и LFT.

Однако, унификация систем единиц обязывает нас остановить свой выбор на одном из этих двух вариантов. Вопрос должен решаться комплексно с учетом как метрологических данных, так и с возможностью распространить унификацию на тепловые и электромагнитные явления.

Метрологически единица массы, безусловно, удобнее, так как эталон массы легко реализуется в виде определенной гири, а эталон силы изготовить и хранить значительно сложнее, так как этот эталон будет зависеть от ряда побочных условий: от упругих констант эталонного динамометра или от гравитационных параметров данной местности.

Единица энергии системы MKS — джоуль — уже закончен, как единица тепловой и электрической энергии [Л. 3]. Таким образом, система типа LMT, именно система метр, килограмм-масса, секунда открывает перспективы для унификации единиц в этих разделах физики.

Не менее важным вопросом является выбор величины для характеристики «количества вещества». Как известно, количества одинаковых химических веществ при постоянной температуре можно сравнивать по их объемам. В общем же случае пытаются характеризовать количество вещества по весу. Но вес тел меняется в зависимости от гравитационных условий и потому не является неизменным свойством тела. На поверхности Земли изменение веса тела может достигать 0,5%. Более надежным постоянством при скоростях, далеких от скорости света, обладает масса тел.

Одним из основных физико-химических приборов — рычажными весами — измеряют именно массу тел. Действительно, перемещение всего прибора целиком в новые гравитационные условия в равной мере изменит вес и гири и измеряемого тела; поэтому показания весов не изменятся. Таким образом, слово «весы» не отражает физического назначения прибора. Его правильнее было бы назвать «массометр».

Независимо от того, какую систему единиц мы выберем, количество вещества в теле следует характеризовать не весом, не единицами силы, а единицами массы, т. е. килограммами или граммами. Так поступают, например, в учении о теплоте.

Правда, Проект вводит новую единицу массы для технической системы — *инерту*, чем восполняет пробел прежних стандартов, не имевших специального названия для единицы массы в этой системе. Введение этой единицы открывает принципиальную возможность характеризовать количество вещества в инертах, плотность в инертах, теплоемкость в инертах, градус и т. д. Однако, эти единицы настолько неудобны, что вряд ли они смогут привиться. Да и настаивать на их внедрении — явно нецелесообразно. Для других разделов физики техническая система совершенно неприемлема. Какие неприятные коэффициенты появились бы в уравнениях электротехники, если бы единицей энергии стал килограмметр вместо джоуля.

Техническая система MKiS не имеет перспектив обобщения на смежные области физики и должна быть вовсе оставлена.

**Переходный период.** Возможно, что немедленная отмена технической системы была бы нецелесообразной. В таком случае следовало бы в будущем ГОСТ отметить временный характер этой системы на срок примерно 5 лет. Все новые книги и учебники следовало бы издавать только по новой системе MKS и через 3—5 лет техническая система вовсе прекратила бы свое существование.

Однако, тут выступает уже упомянутая двусмысленность термина килограмм. Эту двусмысленность нельзя терпеть даже самое короткое время. Проект, пытаясь устранить ее, становится на правильный путь и вводит термин килограмм-сила ( $\kappa\Gamma$ ), призванный заменить термин килограмм-сила. Но до конца дело не доводится и старая двусмысленная терминология легко может сохраниться.

Так, на главном листе проекта ГОСТ основным термином дан килограмм-сила, да еще в примечании сказано,

что слово «сила» может опускаться. И только вторым термином в скобках поставлен килограмм. Таким образом, термин килограмм достаточно прочно закреплен для измерения сил. Латинский символ единицы  $\text{kgf}$  еще резче подчеркивает то же самое, так как буква  $f$  в этом символе никак не может обозначать часть слова *kilogram*. Это начальная буква слова *for*s (сила) из термина *kilogram-for*s.

Русский же символ  $\kappa\Gamma$  — значительно лучше, так как его вполне возможно связать именно со словом килограмм. Кроме того, символ  $\kappa\Gamma$  надежно вошел в практику и различается от символа  $\text{kg}$ .

На последующих страницах мы находим единицы килограмм на квадратный метр и килограмметр. Как видим, здесь от килограмма не осталось и следа. Даже слово «сила» выпало из этих терминов.

Итак, Проект возвращает нас к прежней двусмысленности термина килограмм.

На время сохранения технической системы нужно совершенно устранить из нее термин килограмм или даже килограмм-сила. Надо ввести единый термин килограмм и его символы  $\kappa\Gamma$  и  $\text{kg}$ . Соответственно производные единицы должны получить название килограмм на  $\text{м}^2$ , килограмметр и т. д.

**Кратные системы единиц.** Под этим термином будем понимать [Л. 4] системы единиц, у которых совпадают основные величины, но масштабы одной или нескольких основных единиц выбраны различными (пример: CGS и MTS). Разумеется, производные единицы кратных систем получаются вообще различными (эрг и килоджоуль), что вызывало частые нарекания: одна система давала единицы — «лилипуты», другая — единицы — «гиганты». Прежняя структура кратных систем исключала их совместное использование. При решении задач приходилось уделять очень много внимания переводу всех данных задачи в единицы выбранной системы.

Система MKS находится в более выгодном положении. Проект предусматривает, что почти все ее единицы имеют простые названия без метрических приставок. Эта особенность позволяет обслуживать основную систему любые кратные варианты. Для этого нужно при подстановке в формулу числовых значений одновременно представлять десятичные множители — синонимы метрических приставок.

Пример:

Вычислить работу расширения газа при постоянном давлении  $P = 20 \frac{\text{ньютон}}{\text{сантиметр}^2}$ , если приращение объема  $\Delta V = 5 \text{ дециметр}^3$ . Нам надо учесть, что  $\text{сант} = 0,01$ , а  $\text{деци} = 0,1$ .

По общей формуле  $A = p \Delta V$ ,  
имеем  $A = 20 \frac{\text{ньютон}}{(0,01 \text{ метр})^2} \cdot 5 (0,1 \text{ метр})^3 = 20 \cdot 5 \frac{10^{-3}}{10^{-4}} \text{ ньютон} \cdot \text{метр} = 1000 \text{ джоуль} = 1 \text{ килоджоуль}$ .

И в условии и в ответе у нас фигурируют единицы, считавшиеся «внесистемными» по отношению к MKS.

Единственным исключением из этой стройной системы является сам килограмм — основная единица массы. Целесообразно переименовать его так, чтобы из его названия исчезла метрическая приставка. Я уже однажды предлагал для синонима килограмма старое слово — фунт [Л. 5]. Но это слово встретило возражения со стороны М. Ф. Маликова, указавшего на исторические примеры, когда совмещение в одном названии двух понятий старой и новой единиц приводило к серьезной путанице [Л. 9]. В таком случае есть смысл придумать совсем новое слово. Можно, например, пойти навстречу укоровшемуся названию — кило. Это слово следует слегка изменить и придать ему склоняемую форму: кил или кило н. Думаю, что в широкой практике такая замена пройдет совершенно безболезненно, а в вычислительной технике получатся серьезные упрощения. Очевидно:

1 грамм = 1 милликилу; 1 тонна = 1 килокилу.

В свете этих соображений, килограмм-силу тоже правильнее было бы переименовать не в килограмм, а в грав, считая:

1 грав = 9,8 ньютон; 1 гравметр = 9,8 джоуля и т. д.

**Прочие замечания к проекту.** а) Было бы не лишним присвоить большинству производных единиц основной си-

системы собственные названия, как это сделано для единиц электромагнитных. Например:

[v] = метр<sup>3</sup> = стер (старый метрический термин);

[S] = метр<sup>2</sup> = план (по аналогии с предыдущим);

[a] =  $\frac{\text{метр}}{\text{сек}^2}$  = гал (изъять этот термин из системы CGS);

[D] =  $\frac{\text{кил}}{\text{метр}^3}$  = архимед;

[p] =  $\frac{\text{ньютон}}{\text{метр}^2}$  = ломон.

Название единицы давления — ломон — предлагается в честь М. В. Ломоносова, много работавшего по изучению воздушных явлений на Земле, открывшего атмосферу на Венере и впервые высказавшего идеи о кинетической теории газов.

б) В ГОСТ следует одновременно указывать буквенные символы данной величины, а также уравнения, определяющие ее через величины, введенные ранее. Так поступает, например, Л. А. Сена [Л. 6], а в отношении электрических величин также М. Ф. Маликов [Л. 7] и С. Ф. Маликов [Л. 8]. Проект соответствующей формы ГОСТ предложен мною [Л. 5].

в) Латинские заглавия системы единиц MKS, CGS и MkGS следует оставить в качестве параллельных русским: МКС, ЦЖС и МкГС.

г) В прежних стандартах отсутствовала единица точа-сила. Вряд ли следует вводить ее в новый ГОСТ.

д) Прежние стандарты отдавали предпочтение киловатту перед «лошадиной силой». В новом Проекте этих оговорок уже нет. В будущем ГОСТ следует еще резче подчеркнуть временный характер этой единицы или же изъять ее вовсе.

**Выводы.** 1) Будущий ГОСТ должен стандартизировать в качестве основной только одну систему единиц МКС — МКС с последующим расширением ее на тепловые и электромагнитные явления.

2) Системы CGS и техническую МкGS следует стандартизировать как вспомогательные, причем техническую систему — только на короткий срок (3—5 лет).

3) Целесообразно переименовать основную единицу массы — килограмм так, чтобы новое название не содержало метрической приставки.

4) Единицу силы в технической системе переименовать в килограмм или еще лучше просто в грам. Термин килограмм-сила — изъять вовсе.

5) Большинству производных единиц основной системы МКС—МКС присвоить собственные названия.

6) Термин инерта следует считать удачным нововведением для технической системы.

7) Добавить к ГОСТ колонки с указанием символа величины и уравнения, ее определяющего.

### Литература

1. К. М. Поливанов. Сборник работ комиссии по единицам мер. ОН АН СССР, стр. 39, 1938.
2. О. Д. Хвольсон. Курс физики. Т. 1, 1933.
3. ОСТ ВКС 6259 — Тепловые единицы и ОСТ 515 Международные электрические единицы.
4. В. Е. Соловьев. Классификация систем единиц. Научные записки Днепропетровского Гос. университета, т. 34, 1948.
5. В. Е. Соловьев. Электричество, № 1, стр. 59, 1949.
6. Л. А. Сена. Единицы измерения физических величин, 1948.
7. М. Ф. Маликов. Об определении электрических и магнитных единиц в абсолютной электромагнитной системе МКС<sub>до</sub>. Л. 1939.
8. С. Ф. Маликов. Практические электрические единицы. М. Л. 1947.
9. М. Ф. Маликов. Электричество, № 1, стр. 71, 1949.

[29. 1. 1949]



## К статье Б. М. Яковлева „Спрямяющее число в расчетах электроприводов“

(Электричество, № 6, 1947)

Кандидат техн. наук А. Н. ИРОШНИКОВ

Центральный научно-исследовательский институт технологии и машиностроения

В статье Б. М. Яковлева поднят весьма важный для расчета электропривода вопрос: введена новая универсальная кинетическая «характеристика» механизма — «спрямяющее число».

$$J = \frac{n}{60v} = \frac{\omega}{2\pi v} \left[ \frac{1}{м} \right],$$

не зависящая от скорости и от величины передаваемых через механизм усилий, дающая возможность с минимальной затратой времени строить кривые приведенных статических и маховых моментов механизма и кривую действительных скоростей. Идея введения универсальной кинетической «характеристики» дает значительный эффект при расчете электропривода многозвенных механизмов при построении графиков  $M_c = f(\varphi)$  и  $GD^2 = f(\varphi)$ , особенно при проверке электродвигателя на нагрев, когда приходится строить серию графиков  $M_c = f(\varphi)$  для различных режимов работы.

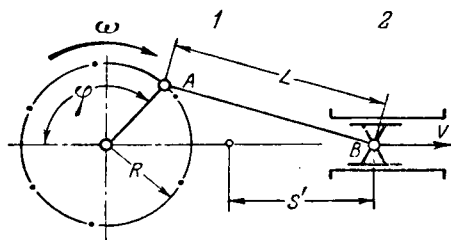
Касаясь самой кинетической «характеристики», наша практика расчета электропривода показывает, что обычно применяемая нами величина «приведенный радиус» является более целесообразной. Такой термин имеет определенный физический смысл и размерность «метра». Ее значения всегда имеют конечную величину, что весьма удобно при графических построениях, в то время как «спрямяющее число» около мертвых положений многозвенных механизмов будет, как правило, стремиться к бесконечности, что лишает построенные графики наглядности и снижает точность расчета.

Введенная нами величина «приведенный радиус»  $\rho$  для звеньев кинематической цепи, двигающихся с поступательной скоростью  $v$  м/сек, представляет собой отношение:

$$\rho = \frac{v}{\omega} = 9,55 \frac{v}{n} = f(\varphi) [м]. \quad (1)$$

Вторая введенная нами величина «скоростное число»  $\xi$  для звеньев, совершающих вращательное или качательное движение с угловой скоростью  $\omega_k$  1/сек представляет собой отношение:

$$\xi = \frac{\omega_k}{\omega} = \frac{n_k}{n} = f(\varphi), \quad (2)$$



где  $\omega$  — угловая скорость «основного вала» (на рисунке кривошип), с которым механизм через редуктор, связывается с электродвигателем.

Для рассматриваемого кривошипного механизма мгновенные значения пути ползуна  $s$  будут определяться общезвестной приближенной формулой:

$$s = R(1 - \cos \varphi - \frac{\lambda}{2} \sin^2 \varphi),$$

где  $\lambda$  — отношение радиуса кривошипа  $R$  к длине шатуна  $L$ .

Дифференцируя это уравнение по времени, находим выражение для скорости ползуна:

$$v = R(\sin \varphi - \frac{\lambda}{2} \sin 2\varphi) \omega,$$

а подставляя полученное выражение в уравнение (1), находим расчетную формулу для определения значений «приведенного радиуса» ползуна

$$\rho = R(\sin \varphi - \frac{\lambda}{2} \sin 2\varphi).$$

Построенные по этим формулам кривые  $\rho = f(\varphi)$  и  $\xi = f(\varphi)$  являются своего рода кинетическими «характеристиками» механизма. Они не зависят от действительной скорости вращения «основного вала» и от величины передаваемых усилий.

**Приведенный статический момент.** Чтобы на основании полученных кинетических «характеристик»  $\rho = f(\varphi)$  и  $\xi = f(\varphi)$  можно было бы построить кривую приведенных к «основному валу» статических моментов  $M_c = f(\varphi)$ , воспользуемся «принципом возможных перемещений» и выводимым из него законом мгновенных мощностей  $M_c \omega = P \cdot v$  или  $M_c \omega = M_k \cdot \omega_k$ , откуда после подстановки уравнений (1) и (2) получаем расчетные формулы для приведения к «основному валу» действующих на рабочем органе механизма внешних сил  $P$  кг и моментов  $M_k$  кгм:

$$M_c = P \rho = f(\varphi) [кгм], \quad (3)$$

$$M_c = M_k \xi = f(\varphi) [кгм]. \quad (4)$$

Для получения приведенного непосредственно к валу двигателя статического момента механизма, необходимо правые части уравнений (3) и (4) разделить на передаточное число редуктора  $i$ , определяемое как отношение числа зубьев шестерен  $Z_2:Z_1$ , считая шестерню от двигателя к механизму.

Чтобы при исследовании приведенного на рисунке кривошипного механизма можно было воспользоваться уравнением (3), надо предварительно построить (по заданному исходному графику  $P = f(s)$ ) кривую усилий на ползуне в зависимости от угла поворота «основного вала» [т. е.  $P = f(\varphi)$ ], пользуясь кривой  $s = f(\varphi)$ . После этого значения приведенных статических моментов на «основном валу» определяются согласно уравнению (3), как произведения усилия на ползуне  $P$  кг на соответствующие приведенные радиусы  $\rho$  м.



**Приведенный маховой момент.** Чтобы по кинетическим „характеристикам“  $\rho = f(\varphi)$  и  $\xi = f(\varphi)$  построить кривую, приведенных к „основному валу“ маховых моментов  $GD^2 = f(\varphi)$ , воспользуемся выражением для кинетической энергии  $E$  звена механизма, участвующего одновременно и в поступательном движении со скоростью центра тяжести  $v$  м/сек, и во вращательном движении с угловой скоростью  $\omega$  1/сек (на рисунке — шатун).

$$E = \frac{m \cdot v^2}{2} + \frac{J_k \omega_k^2}{2} = \frac{J \cdot \omega^2}{2}, \quad (5)$$

откуда приведенный к „основному валу“ момент инерции звена будет:

$$J = m \left( \frac{v}{\omega} \right)^2 + J_k \left( \frac{\omega_k}{\omega} \right)^2,$$

где  $m$  и  $J_k$  — масса звена (кг·сек<sup>2</sup>/м) и его момент инерции (кг·м·сек<sup>2</sup>) относительно центра тяжести.

Подставляя в полученное выражение уравнения (1) и (2), находим расчетную формулу для подсчета приведенных к „основному валу“ моментов инерции звеньев кинематической цепи механизма, совершающих сложное движение:

$$\left. \begin{aligned} J &= m \rho^2 + J_k \xi^2 \text{ [кгм сек}^2\text{]}, \\ GD^2 &= 4 G \rho^2 + GD_k^2 \xi^2 \text{ [кг} \cdot \text{м}^2\text{]}. \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

для получения приведенного непосредственно к валу двигателя момента инерции механизма, необходимо правую часть уравнения (6) разделить на квадрат передаточного числа редуктора  $i^2$ .

Если рассматриваемое звено механизма совершает только поступательное движение (на рисунке — ползун), то „скоростное число“  $\xi$ , а следовательно, и весь второй член правой части уравнения (6) становится равным нулю и уравнение принимает вид:

$$\left. \begin{aligned} J &= m \rho^2 \text{ [кгм сек}^2\text{]}, \\ GD^2 &= 4 \cdot G \rho^2 \text{ [кг} \cdot \text{м}^2\text{]}. \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

Это основная формула для подсчета приведенных моментов инерции у звеньев, имеющих только поступательное движение.

В заключение следует заметить, что в сводной таблице формул в статье Б. М. Яковлева допущена ошибка — в формулах для пути и ускорения „спрямляющее число“  $j$  следует ставить соответственно после знака интеграла и дифференциала, так как „спрямляющее число“ является величиной переменной.

### Инж. Б. М. ЯКОВЛЕВ

#### Московское проектно-конструкторское управление ЦЭМ

1. „Спрямяющее число“ для приводов с прямолинейным движением рабочего органа есть аналогия общепринятого понятия — „передаточное число“ для приводов с вращательным движением рабочего органа. Оно вводится ради обобщения выражений приведения у приводов с прямолинейным движением, структурой однородности с аналогичными выражениями для приводов с вращательным движением и предельной простоты выражений.

Результаты, достигнутые введением параметра  $j$ , наглядно видны в моей статье.

2. „Приведенный радиус“  $\rho$ , как справедливо указывает А. Н. Ирошников, является величиной обратной спрямляющему числу, но без учета передаточного числа редуктора  $i$ .

$$\rho = \frac{i}{2 \pi j}.$$

Для оправдания своего контрпредложения А. Н. Ирошников приводит два довода:

Во-первых, он считает  $\rho$  более целесообразным из-за размерности — м (метры пути на 1 оборот вала

редуктора), вместо размерности спрямляющего числа  $\frac{1}{m}$  (обороты вала двигателя на 1 м пути). Усмотреть какие-либо преимущества или недостатки у каждой из этих двух размерностей — затруднительно.

Во-вторых, он считает у многозвенных механизмов, в частности, у кривошипно-шатунных, более удобным пользоваться для приведения  $M_c$  и  $GD^2$  параметром  $\rho$  потому, что у мертвых точек  $j \rightarrow \infty$ , а  $\rho \rightarrow 0$ . Здесь тоже очень трудно найти какие-либо преимущества или недостатки. Приведенные значения  $M_c$  и  $GD^2$  у кривошипных механизмов, как известно, в мертвых точках заведомо равны нулю как в результате деления на  $j = \infty$ , так и в результате умножения на  $\rho = 0$ .

При построении же кривых  $M_c = f(\varphi)$  и  $GD^2 = f(\varphi)$  ближайшая точка к мертвой никогда не берется ближе  $10^\circ$ , где по сравнению с предельным  $j$  будет примерно в шесть раз большим, а  $\rho$  в шесть раз меньшим. Таким образом, в обоих случаях приходится оперировать величинами, далекими от бесконечно-большого или бесконечно-малого.

З. А. Н. Ирошников предлагает еще новый термин: „скоростное число“ —  $\xi$  для кинематических пар, связанных переменным передаточным числом, что имеет место у эллиптических колес, кулис, шатунов и т. п. независимо от того, совершает ли звено вращательное движение вокруг действительной или мгновенной оси вращения. Никогда не ощущалось затруднений в операциях с передаточным числом, независимо от того — постоянно оно или переменное. Под термином „скоростное число“ —  $\xi$  скрывается не что иное, как величина, обратная передаточному числу  $i$ .

$$\xi = \frac{1}{i}.$$

Зачем понадобилось для  $i = \text{var}$  вводить „скоростное число“ вместо общепринятого — „передаточное число“, — остается непонятным.

4. Основное место в письме А. Н. Ирошникова занято изложением выводов приближенных формул приведенных значений  $M_c$  и  $GD^2$  для частного случая — коаксиального кривошипно-шатунного механизма, что представляет собой варьирование общеизвестными истинами.

5. В заключении А. Н. Ирошников сообщает о том, что он видит ошибку в двух формулах таблицы моей статьи, где спрямляющее число  $j$  стоит перед знаками  $\int$  и  $d$ .

Ряд формул моей таблицы охватывает, разумеется, из всех возможных — только наиболее часто встречающиеся зависимости, т. е. с постоянным  $j$ . Естественно, что в тех, относительно редких, случаях, когда  $j$  переменное, его следует писать после знака  $\int$  или  $d$ .

Таким образом, имеет место не ошибка в формулах, а лишь их справедливость для наиболее распространенного случая —  $j = \text{const}$ .

Заявление А. Н. Ирошникова о большой простоте формул с „приведенным радиусом“ не подтверждается фактами. Формулы с „приведенным радиусом“, нарушая структурную однородность с формулами для вращательного движения, являются и более громоздкими. Понятие, аналогичное „приведенному радиусу“, уже предлагалось ранее. Еще в 1936 г. М. Р. Николайчук<sup>1</sup> предложил такое же понятие под более правильным названием „радиус приведения“. „Радиус приведения“ М. Р. Николайчука —  $\rho'$  более удобен и по содержанию, так как включает передаточное число редуктора:

$$\rho' = \frac{\rho}{i}.$$

Однако, и это, более общее понятие, не доведенное до обобщения с общепринятым понятием передаточного числа и не давшее структурной однородности и простоты основных выражений, не нашло себе широкого применения.

<sup>1</sup> М. Р. Николайчук. Приведение маховых моментов к валу двигателя посредством планов скоростей. Изд. Харьковского отделения Электропрома, 1936.

## Празднование 150-летия со дня рождения А. С. Пушкина

150-летию со дня рождения великого русского поэта Александра Сергеевича Пушкина (1799 — 6/VI — 1949) было посвящено торжественное заседание общего собрания Академии наук СССР, состоявшееся 7 июня с. г. в Колонном зале Дома союзов в Москве.

Президент Академии наук СССР акад. С. И. Вавилов, открывая торжественное заседание, сказал:

— Великая победа в октябре 1917 г. осуществила мечту Пушкина. Над его родиной взошла, наконец, прекрасная заря свободы, заря социализма. Пушкин был не только поэтом и литературоведом, но и выдающимся ученым, прежде всего историком. Исторические исследования Пушкина, касающиеся восстания Пугачева и царствования Петра Первого, ставят его в ряды лучших наших отечественных историков.

— Осуществление широкой программы празднования юбилея поэта — яркий пример внимания большевистской партии, советского правительства и лично товарища Сталина к истории русской культуры, к памяти величайшего русского поэта.

С докладом «Мировое значение А. С. Пуш-

кина» выступил доктор филологических наук Д. Д. Благой.

В память пребывания А. С. Пушкина в селе Захарово, вблизи Звенигорода Московской области, Академия наук СССР открыла в торжественной обстановке мемориальный обелиск.

Всесоюзный комитет по проведению 150-летия со дня рождения А. С. Пушкина пригласил в СССР на пушкинские торжества ряд зарубежных писателей. Подавляющее число приглашенных прибыли в Москву. Известный английский писатель Бернард Шоу прислал Послу СССР в Великобритании письмо в котором сказано:

«Мне оказана большая честь, и я очень благодарен за приглашение Комитета по празднованию пушкинских дней, переданное мне Вашим Превосходительством, и очень сожалею, что мои годы (93) не дают мне возможности повторить мой визит 1931 года в Москву, который остался самым ярким из всех моих дорогих воспоминаний. До сих пор СССР интересует меня больше, чем какое-либо другое государство в мире, включая мою страну. Дж. Бернард Шоу».



## Киевская конференция читателей журнала „Электричество“

Киевское межобластное отделение Всесоюзного научного инженерно-технического общества энергетиков (КОНИТОЭ) и редакция журнала «Электричество» провели 23 мая с. г. в Доме ученых Академии наук УССР в г. Киеве конференцию читателей журнала «Электричество». В порядке подготовки к конференции в первичных организациях КОНИТОЭ (Южэлектромонтаж, Укрсельэлектро, Укрсельэнерго, Киевэнерго, ГЭС-1, ГЭС-2, Теплоэлектропроект, КПЗМ, УКЭП и др.) на протяжении мая были проведены собрания инженерно-технической общественности, на которых были заслушаны и обсуждены доклады на тему «Старейший научно-технический журнал Электричество — летопись отечественной электротехники». Докладчиками выступали С. Е. Ходоров, П. Г. Городецкий, В. Г. Холмский, С. Е. Кампровский, П. Я. Берман, А. И. Сытников.

В числе читателей, принявших активное участие в заключительной конференции 23 мая, были: инженеры-электрики киевских электростанций, заводов и проектных организаций, научные работники Института электротехники Академии наук УССР и научно-исследовательских организаций, преподаватели электротехники киевских высших технических учебных заведений, работники печати и др.

Открывая конференцию, председатель КОНИТОЭ проф. А. В. Орловский отметил важную роль журнала «Электричество» — одного из старейших в мире журналов по электротехнике — в развитии науки об электричестве и отечественной электротехнике.

Редактор журнала проф. Г. Н. Петров выступил с докладом об итогах работы и о задачах журнала.

— Журнал должен знакомить широкие круги электротехников Советского Союза — сказал докладчик, — с развитием и достижениями научно-технической мысли в различных областях электротехники путем публикации оригинальных работ советских ученых и инженеров; ставить на обсуждение перед читателями наиболее важные

практические и теоретические проблемы электротехники; стимулировать участие читателей в актуальных темах путем организации дискуссий; способствовать повышению технического и теоретического уровня широких слоев инженеров-электриков, помещая в журнале обзорные статьи по отдельным отраслям электротехники; пропагандировать творческое объединение науки и производства, помогать новаторству в электротехнике, содействовать формированию у читателей правильных научных материалистических взглядов по современным проблемам электрофизики; знакомить читателей с наиболее важными моментами деятельности советских научных и общественных электротехнических организаций; обобщать и популяризировать опыт по проектированию, монтажу и эксплуатации электрического оборудования в различных отраслях народного хозяйства; знакомить читателей в специальных обзорах с современным состоянием отдельных областей электротехники в СССР и за границей; освещать вопросы разработки стандартов, норм, правил; знакомить читателей с новыми материалами по истории русской электротехники, содействовать установлению приоритета отечественных электротехников; знакомить читателей с новой электротехнической литературой путем критического рецензирования основных изданий по этим вопросам; сообщать читателям текущий критико-библиографический материал в области электротехники.

Г. Н. Петров подробно охарактеризовал тематический план журнала на 1949 и 1950 гг., указав на соответствие плана текущим задачам развития советской электротехники.

Докладчик подчеркнул, что участие электротехников УССР в журнале «Электричество» в качестве авторов недостаточно. Вместе с тем, научные учреждения Украинской ССР и электротехническая промышленность республики имеют высококвалифицированные кадры, способные деятельно участвовать в журнале и таким путем знакомить со своими оригинальными научно-исследовательскими

скими работами и достижениями широкие круги электротехников всего Советского Союза.

Перечисляя еще неизжитые недостатки в работе журнала, Г. Н. Петров отметил: наличие ряда статей по узким темам, интересующим лишь ограниченные круги читателей; недостаточность статей по современным актуальным темам электрификации СССР и обзорных статей по современному развитию отдельных отраслей электротехники, а также статей с конкретным материалом, могущим быть использованным читателями в их практической работе на электростанции, на заводе, в проектно бюро и т. п. Говоря о борьбе редакции журнала с элементами низкопоклонства перед заграницей, докладчик остановился на неустраненной засоренности языка журнала иностранными терминами; на практикующихся часто без всякой нужды ссылках на иностранных авторов, не представляющих достаточной научной ценности, и на иностранные источники, ничего по существу не добавляющие к тому, что известно из отечественных изданий; на недостаточном еще освещении выдающейся работы советских ученых за годы сталинских пятилеток и достижений отечественной промышленности в ряде областей электротехники.

По докладу развернулись оживленные прения. Подавляющее большинство участников конференции подчеркивало значение журнала «Электричество», как передового органа электротехнической мысли, представляющего советскую социалистическую страну в важнейшей области техники. Это обстоятельство, по единодушному мнению всех выступавших, обязывает к повышению требований, предъявляемых к журналу «Электричество». В выступлениях, а также в письмах, поступивших от читателей в адрес Оргкомитета и Президиума конференции, содержались следующие замечания.

В журнале должно быть расширено освещение вопросов электрификации, поскольку в настоящее время стало совершенно ясным, что ближайший скачок в развитии электротехники произойдет на основе более полного раскрытия закономерностей, отражающих внутреннюю микроструктуру вещества. Необходимо открыть в журнале борьбу с сохранившимися в электротехнике пережитками механистических и формалистических воззрений на основные электротехнические процессы. Журнал «Электричество» должен занять в этом направлении наряду с журналами теоретической и технической физики Академии наук СССР ведущее место (доц. И. К. Федченко, КПИ и кандидат техн. наук Л. В. Цукерник, Институт электротехники Академии наук УССР).

Всемерное внедрение электричества в сельское хозяйство — это актуальнейший вопрос современной электрификации СССР. Роль журнала «Электричество» в этом деле должна быть особенно значительной, однако журнал до сих пор уделяет недостаточное место этой области электрификации, хотя отдельные статьи, напечатанные в журнале, имели для инженерно-технических работников сельской электрификации огромное значение и были использованы в работе над генеральной схемой развития

сельской электрификации Украинской ССР. Следует увеличить число страниц, отводимых этому разделу в тематическом плане журнала (инж. П. А. Шамрай, Укрсельэлектропроект и инж. Л. Н. Гезенцев, Укрсельэлектро).

Необходимо отказаться от чисто математической формы освещения многих материалов, помещаемых в журнале; необходимо приблизить форму изложения к пониманию среднего читателя — инженера электростанции, инженера энергоцеха завода, проектировщика и конструктора; следует максимально облегчать язык статей (инженеры С. Е. Кашпровский, А. И. Сытников и С. Ц. Голянский, Киевэнерго и инж. Ф. Я. Мищенко, Облсельэлектро).

Редакция журнала должна ускорить процесс прохождения статей, сокращать их объем, чтобы увеличить число статей, принятых к опубликованию, и максимально приблизить срок опубликования к моменту поступления материала в редакцию (доктор техн. наук, проф. А. Д. Нестеренко, КПИ).

На страницах журнала должны найти большее отражение проблемы экономики и организации работы энергосистем, вопросы внедрения на электростанциях и в сетях передовой техники, автоматизации и методов борьбы с аварийностью (кандидат техн. наук И. М. Сирота, Институт электротехники Академии наук УССР, инж. Л. А. Вайнбаум, Южэлектромонтаж и инж. С. Е. Кашпровский).

В случаях помещения статей, авторы которых различно подходят к решению принципиальных вопросов затронутой ими темы или придерживаются разных взглядов на рассматриваемый в статьях вопрос, редакции необходимо, аналогично тому как это делается в заключениях по дискуссиям, указывать в примечании свою точку зрения (кандидат техн. наук М. Ю. Шухатович, Академия наук УССР).

Весьма полезно для читателей ввести в журнале страничку критико-библиографических аннотаций о материалах публикуемых по вопросам электротехники в других журналах, издаваемых в СССР. Такое мероприятие помимо всего усиленно бы ответственность энергетических и прочих журналов за помещаемые в них статьи на электротехнические темы (кандидат техн. наук, доц. П. Г. Гордечкий, Институт киноинженеров).

В одном из помещений Дома ученых КОНИТОЭ организовало в период работы конференции выставку новой техники. Экспонаты представляли: Южэлектромонтаж, Укрсельэлектропроект, завод Точэлектробиор, лаборатория Киевэнерго, Теплоэлектробиор и Филиал Московской выставки контрольно-измерительных приборов. Участники конференции с большим вниманием знакомились с выставкой.

В заключение собравшиеся по предложению председателя конференции проф. А. В. Орловского тепло приветствовали редактора журнала «Электричество» проф. Г. Н. Петрова, в связи с исполнившимся 50-летием со дня рождения и 25-летием его научной, инженерной и педагогической деятельности.

Д. Р.



## Совещание по координации научной деятельности энергетических учреждений

После окончания 19 мая 1949 г. пятой сессии Совета при Академии наук СССР по координации научной деятельности академий наук союзных республик в Энергетическом институте им. Г. М. Кржижановского Академии наук СССР в период с 20 по 25 мая с. г. состоялось третье совещание по координации научной деятельности энергетических учреждений Академии наук СССР и академий наук союзных республик.

В совещании приняли участие представители министерств, отраслевых научно-исследовательских и учебных институтов, промышленности и т. д.

На совещании были организованы 5 секций: электротехническая (руководитель доктор техн. наук Э. А. Меевич), гидротехническая (руководитель акад. А. В. Вин-

тер), энергетическая (руководитель член-корр. Академии наук СССР В. И. Вейц), теплотехническая (руководитель акад. М. В. Кирпичев) и энергохимическая (руководитель член-корр. Академии наук СССР А. С. Прядовителев).

На пленуме и секциях было заслушано и обсуждено 107 научных докладов и сообщений.

Пленум совещания был открыт большим докладом акад. Г. М. Кржижановского об очередных задачах науки в области энергетике, в котором были подробно освещены соответствующие задачи научно-исследовательских институтов, в частности, по передаче электроэнергии постоянным и переменным током высокого напряжения на большое расстояние.

Доклад об энергетической проблеме

Енисей—Обь—Арал—Каспийском водном соединении сделал на пленуме инж. М. М. Давыдов. Идея Енисей—Обь—Арал—Каспийского водноэнергетического соединения призвана решить проблему комплексного использования рек Оби и Енисея путем создания ряда мощных гидроэнергетических узлов и переброски части стока этих крупных сибирских рек в пустынные засушливые районы Средней Азии и Казахстана. Эта проблема имеет исключительное народнохозяйственное значение. Осуществление проблемы позволит получить миллионы киловатт установленной мощности г/э для электроснабжения Западной Сибири, Урала, Средней Азии и других районов. Предложенная схема предусматривает самотечное соединение бассейнов Северного Ледовитого океана, озера Байкал, Аральского и Каспийского морей для прохода морских судов. Осуществление проблемы связано с улучшением климата, изменением влагооборота, увеличением водоносности рек и общим преобразованием природы на обширных территориях Западной Сибири, Средней Азии и Южного Урала. Вместе с тем решаются задачи орошения, обводнения и облесения миллионов гектар пустынных земель, зарегулирования уровней Каспийского и Аральского морей. Изучение и решение по этой проблеме широкого круга принципиальных и практических вопросов в различных областях науки и техники требуют участия в ее разработке ряда учреждений Академии наук СССР и академий наук союзных республик, а также отраслевых научно-исследовательских институтов.

В *электротехнической секции* были заслушаны и обсуждены: работы Энергетического института им. Кржижановского по проблеме передачи электроэнергии постоянным током высокого напряжения (член-корр. Академии наук СССР К. А. Круг); доклад по вопросам теории инвертирования (доктор техн. наук Н. Н. Шедрин, Узбекская ССР); работы Ленинградской группы Энергетического института Академии наук СССР по проблеме постоянного тока (член-корр. Академии наук СССР М. П. Костенко и доктор техн. наук Л. Р. Нейман).

По проблеме передачи на большое расстояние электроэнергии переменным током и о режимах крупных энергетических систем доклады сделали: член-корр. Академии наук СССР И. С. Брук «Работа ЭНИН Академии наук СССР по проблеме увеличения расстояния передачи электроэнергии переменным током»; член-корр. Академии наук СССР М. П. Костенко «Динамическая модель электросистем»; кандидат техн. наук К. Ф. Фазылов (Академия наук Узбекской ССР) «Расчет динамической устойчивости электросистем»; кандидат техн. наук М. Е. Сыркин (Академия наук Узбекской ССР) «Резонанс в многофазных цепях»; кандидат техн. наук Г. Т. Адонц (Академия наук Азербайджанской ССР) «Метод расчета сложных несимметричных режимов электрических сетей».

О работе Энергетического института Академии наук Азербайджанской ССР доложил кандидат техн. наук К. Н. Кулизаде. Он же сделал доклад об основных задачах теории и практики электропривода в нефтяной промышленности. Доклад «Электропривод станков-качалок» сделал кандидат техн. наук Я. Б. Кадымов. Об энергетических характеристиках установок роторного бурения доложил кандидат техн. наук М. П. Назаров.

Секция признала важнейшими задачами энергетических институтов: установление тесной связи науки с производством, организацию работы по обобщению опыта эксплуатации и по выявлению технико-экономических параметров энергосистем, использование энергосистем как базы для экспериментальных исследований, привлечение практических работников энергосистем к участию в разработке и внедрении новой энергетической техники.

Секция отметила необходимость включения в план работ энергетических институтов академий наук союзных республик тем по проблеме электропередачи на большое расстояние переменным током высокого напряжения. С разработкой этой проблемы связано дальнейшее изучение режимов сложных электрических систем, исследование вопросов системной автоматики, изучение специфических свойств систем с мощными преобразовательными ус-

тановками и ряд других вопросов режима электрических систем.

В связи с этим совещание признало актуальным направление работ Энергетического института им. Кржижановского, разрабатывающего основные мероприятия по повышению пропускной способности электропередачи переменным током на большое расстояние.

Доклады Энергетического института Академии наук Узбекской ССР показали, что этот институт становится научным центром по исследованию общих вопросов режима электрических систем и, в частности, систем, обладающих характерными для энергетики Узбекской ССР свойствами.

Из работ, проводимых энергетическими институтами академий наук союзных республик в области электрических систем, обращают на себя внимание начатые Энергетическим институтом Академии наук Грузинской ССР исследования по объединению электросистем Кавказа.

Институт электротехники Академии наук УССР ведет исследования по проблеме повышения эффективности и автоматизации работы энергосистем и по новым методам передачи электроэнергии.

Энергетический институт Академии наук Грузинской ССР работает над повышением эффективности энергосистем республики, над вопросами электрификации железнодорожного транспорта.

Энергетический институт Академии наук Азербайджанской ССР работает, главным образом, над вопросами электрификации нефтепромыслов. Исследуются новые схемы распределения электроэнергии для глубоконасосных установок нефтяных промыслов, разрабатывается абсорбционный метод испытания изоляции высоковольтных нефтепромысловых кабельных линий, исследуется продольная компенсация линий электропередачи для нефтяных промыслов, проводятся исследования в области автоматизации процессов при компрессорной добыче нефти. Проводятся также теоретические и экспериментальные исследования в области электропривода установок глубоконасосной добычи нефти (станков-качалок); результаты исследований внедрены в нефтяную промышленность.

Секция рекомендовала Энергетическому институту Академии наук Азербайджанской ССР продолжать работы по исследованию вопросов грозащиты линий электропередачи в горных районах и сооружений нефтяной промышленности; продолжать исследования переходных режимов при сложной несимметрии в электрических сетях и возможности работы линий электропередачи Азэнерго при несимметричных режимах; расширить работы по электроприводу в бурении нефтяных скважин и принять непосредственное участие в работах по созданию электробур.

Лаборатория электротехники Академии наук Армянской ССР ведет работу в области высокогорных электрических систем и в области электрооборудования для малых электросистем.

В *энергетической секции* работа велась по двум основным проблемам: 1) научные основы местной энергетики и комплексной электрификации сельскохозяйственных районов и 2) научные основы развития сложных электросистем и их объединение.

Большая работа проведена энергетическими учреждениями академий наук союзных республик по подготовке материалов для генеральной схемы электрификации сельского хозяйства. Выдвинуты практические мероприятия по созданию в каждой республике опытных районов по комплексной электрификации сельского хозяйства, по созданию местной электроэнергетической системы и электромашиноtractorных станций.

Третье совещание приняло ряд конкретных решений относительно рационального распределения научной тематики между энергетическими институтами академий наук союзных республик в полном соответствии с местными условиями, наличием экспериментальной базы и научных кадров.

Кандидат техн. наук Г. А. МАТВЕЕВ  
Инж. А. Б. МАРКИН



## В НТО Московского энергетического института им. Молотова

НТО и Отдел научно-исследовательских работ МЭИ организовали научно-техническую конференцию по подведению итогов научной деятельности института за 1948 г. В работе конференции приняли участие представители промышленности и работники ряда научно-исследовательских учреждений.

В *электротехнической секции* конференции был заслушан доклад кандидата техн. наук, доц. **О. А. Горьянова** «Код импульсного устройства телеизмерения с декадным кодом». Использование декадного кода позволило применить в качестве указывающего прибора десятичные счетчики, т. е. воспроизводить телеизмеряемый параметр в виде двухзначного числа и тем самым устранить погрешность воспроизведения. В результате работы созданы три оригинальных образца кодоимпульсных устройств телеизмерения (один с полярным и два с временным кодированием).

С докладом «Электронная сенситометрия» выступили кандидат техн. наук, доц. **Н. Г. Сушкин** и ассистенты **И. А. Ковнер** и **Е. Н. Второв**. За последнее время нашли широкое применение электронные приборы, в которых индикатором служит фотопластинка. Появилась необходимость определения характеристик и параметров пластинок, экспонированных электронными лучами. Кафедра физики МЭИ создала на базе 100 кВ электронного микроскопа электронный сенситометр. Разработанная система оценки электронных параметров фотографических эмульсий и определены чувствительностью широта, контрастность и оптимальное почернение для большинства пластинок, выпускаемых отечественными заводами.

Кафедра физики представила также доклад «Рассеяние электронов в тонких слоях», отразивший результаты работы, выполненной кандидатом техн. наук, доц. **Л. М. Биберманом**, кандидатом техн. наук, доц. **Н. Г. Сушкиным**, доктором техн. наук, доц. **Б. М. Яворским**, ассистентами **Е. Н. Второвым** и **И. А. Ковнером**. Исследовалось рассеяние электронов на малые углы при прохождении тонких слоев различных веществ помимо теоретического интереса, рассеяние на малые углы представляет и технический интерес, поскольку определяет контраст и хроматическую аберрацию в электронной микроскопии.

Получено интегральное уравнение, описывающее единичное, кратное и многократное рассеяние.

В докладе «Измерительный телеграф» кандидат техн. наук, доц. **Ф. Е. Темников** сообщил о разработанном им телеизмерительном устройстве, которое является наиболее простым из всех существующих. Диспетчер принимает ряд измеряемых параметров как телеграмму, которая может быть нужным образом обработана.

Кафедра светотехники представила на конференцию два доклада. Доклад «Ослепленность, вызываемая сигнальными огнями» был сделан доктором техн. наук, проф. **М. В. Соколовым**.

Доклад «Разработка оптимальных типов электрических светосигнальных приборов для знаков речной обстановки» сделал кандидат техн. наук, доц. **С. В. Батусов**.

В *электроэнергетической секции* были заслушаны доклады кандидата техн. наук, доц. **А. А. Васильева** и кандидата техн. наук, доц. **Н. И. Соколова** на тему «Автоматический регулятор напряжения для генераторов, предназначенных для постоянного подзаряда аккумуляторных батарей на напряжении 115—230 в».

Доклад «Особенности измерения  $\tan \delta$  и емкости промышленной изоляции в условиях эксплуатации» был прочитан кандидатом техн. наук, доц. **П. В. Борисоглебским**, который показал, что электростатические влияния в перевернутой мостовой схеме ослабляются проще, чем в обратной. Измерением  $\tan \delta$  при переключении проводов от сети к мосту эти влияния исключаются усреднением результатов двух измерений почти во всех практических случаях.

В *электромеханической секции* доктор техн. наук, проф. **Г. Н. Петров** сделал доклад «Влияние насыщения на диаграмму тока и характеристики асинхронной машины». Классическая теория асинхронной машины с неизменными параметрами во многих случаях приводит к неточным результатам. Важной и интересной поэтому становится задача исследования работы асинхронной машины с учетом насыщения. Решение этой задачи найдено, причем оно получается достаточно простым и вполне пригодным для практических целей.

В докладе «Компенсация погрешностей трансформаторов тока по методу МЭИ» кандидат техн. наук **С. С. Окунь** сообщил о проводившейся на кафедре электрических машин МЭИ работе по применению нового метода компенсации погрешностей высоковольтных трансформаторов тока. Разработана новая конструкция магнитного шунта, которая позволила свободно варьировать параметры компенсации и в широких пределах изменять характеристики, устанавливая оптимальные условия работы трансформаторов тока.

Работы этой же кафедры были отражены в докладе «Универсальный асинхронный двигатель», сделанном доктором техн. наук, проф. **Ю. С. Четочем** и инж. **Л. О. Животовским**. Показаны пути решения весьма интересной идеи использования одной модели — нормального асинхронного микродвигателя трехфазного тока — без каких бы то ни было изменений статорной и роторной обмоток для получения четырех типов микродвигателей: трехфазных, однофазных с пусковым сопротивлением, однофазных с пусковой емкостью и однофазных с пусковой и постоянно включенной емкостями.

Доктор техн. наук, проф. **С. М. Брагин** (кафедра кабельной техники) представил доклад «Разработка новых методов контроля производства кабелей». Этот доклад касался наиболее важных процессов кабельного производства технологических процессов связанных с изготовлением кабельной изоляции; процессов наложения лент бумажной изоляции и сушки силовых кабелей. Разработанный и выполненный кабельной лабораторией МЭИ новый прибор для фотоконтроля качества наложения лент бумажной изоляции открывает новые пути не только в отношении текущего контроля качества наложения бумажных лент изолирующего слоя, но дает возможность исследовать пути пробоя кабельной изоляции.

От той же кафедры был сделан доклад «Новые типы обмоточных проводов» проф. **В. А. Привезенцевым**. Докладчик рассмотрел новейшие достижения и дальнейшие задачи в области производства эмалированных проводов, проводов с волокнистой и пленочной изоляцией и комбинированных проводов.

«Теория электромагнитного экранирования и расчет индукционных систем» были освещены в докладе доц. **Б. К. Буля** (кафедра электроаппаратостроения), который рассмотрел также и методы аналитического определения активных, реактивных и полных магнитных сопротивлений и потерь в стали. Новые уравнения для подсчета потерь в стали на гистерезис и вихревые токи охватывают больший диапазон индукции, чем ранее известные уравнения. Предложенный метод расчета индукционных систем дает принципы составления символических схем магнитной цепи с учетом сопротивления стали, рассеяния и с учетом реакции экранов и диска.

Доктор техн. наук **Л. С. Гольдфарб** сделал доклад «К вопросу о теории вибрационных регуляторов». Рассмотрена теория регуляторов, у которых регулирующий орган занимает лишь два крайних положения, соответствующих минимальному и максимальному притоку энергии к регулируемому объекту. Система такого регулирования может рассматриваться как состоящая из линейного и нелинейного элементов; линейная часть системы регулирования может описываться дифференциальным уравнением любого порядка. Дано приближенное решение, позволяющее определить статизм, частоту и амплитуду автоколебаний, оценить влияние параметров системы на указанные величины.

В числе докладов на секции электрификации промышленности и транспорта был заслушан доклад кандидата техн. наук, доц. Б. П. Петрова «Основные принципы автоматического управления электроподвижным составом постоянного тока». Эта тема разрабатывается кафедрой *электролокомотивостроения* в продолжение ряда лет. В истекшем году обобщены материалы и выработаны основные положения теории автоматического управления электроподвижным составом постоянного тока.

Доц. С. М. Мессерман сообщил о работе «Исследования блуждающих токов в сооружениях Московского метрополитена и защита от них».

Кандидат техн. наук, доц. А. Д. Степанов (кафедра *электролокомотивостроения*) в докладе «Автоматическое регулирование электрической передачи мощных тепловозов» рекомендует применение комбинированного регулирования, при котором генератор имеет характеристику, близкую к гиперболе, и, кроме того, предусматривается регулятор, предотвращающий перегрузку дизеля. Подобная схема, примененная на тепловое ДБ, показала хорошие результаты.

Доклад «Конденсаторный рудничный электровоз» был сделан кандидатом техн. наук О. А. Некрасовым. Применение конденсаторного двигателя для электрической тяги предложено проф. В. С. Кулебакиным еще в 1935 г. и тогда же на кафедре электрической тяги МЭИ был разработан первый проект электровоза с конденсаторными двигателями. С 1943 г. кафедра возобновила свои работы в этой области, в результате которых создан опытный рудничный электровоз и сейчас выпускается первая серия рудничных электровозов. Докладчик рассмотрел вопросы пускового режима и движения на линии, указав, что пусковые свойства определяются характеристиками двигателя, пусковой емкостью и пусковыми сопротивлениями, обеспечивают нормальный пуск электровоза при значительных колебаниях напряжения в контактной сети; рабочая емкость обеспечивает движение электровоза на линии с минимальными потерями в двигателе.

В докладе кандидата техн. наук, доц. А. С. Сандлера «Электрический привод мощных вентиляторов из двух асинхронных двигателей, один из которых — с поворотным статором», представленном кафедрой электрификации промышленных предприятий, была рассмотрена новая система электрического привода мощных вентиляторов. Эта система позволяет обеспечить весьма плавное устойчивое регулирование скорости установок с моментом нагрузки, изменяющимся по вентиляторному закону. Полученные новые теоретические данные, подтвержденные экспериментально, позволили сделать вывод, что установленная мощность новой системы электрического привода будет немногим превышать мощность, потребляемую вентилятором при максимальной скорости в отличие от ряда существующих систем, где установленная мощность в два—три,

а иногда и большее число раз превышает максимальную мощность вентилятора.

Доклад «Сравнительное испытание теплоизоляционных материалов для электрических печей сопротивления» был сделан кандидатом техн. наук, доц. А. Д. Свенчанским. В результате работы сделаны выводы о возможности замены в электрических печах сопротивления теплоизоляции из диатомитового кирпича менее дефицитными теплоизоляционными материалами — пеношамотом с шлаковой ватой или же с диатомитовой засыпкой.

В *гидроэнергетической секции* в докладе «Гидроэнергетическая наука» доктор техн. наук, проф. Т. Л. Золотарев дал определение гидроэнергетики и ее взаимосвязей с другими науками и рассмотрел современную электроэнергетическую систему и этапы энергетико-экономических расчетов в гидроэнергетике. Докладчик рассмотрел задачи советской гидроэнергетической науки, занимающей ведущее место в мировой гидроэнергетике.

Результаты работы «Исследование энергетического процесса в гЭС методом особых режимных точек» доложил кандидат техн. наук, доц. Д. О. Сейфулла. Режимные и энергетические характеристики энергетического процесса, получаемые в результате испытаний или специальных исследований, отражают весь процесс преобразования или изменения форм и параметров подведенной энергии. Метод особых режимных точек может быть применен при исследовании любых энергетических процессов, начиная с характеристик отдельных элементов агрегата и кончая гЭС и системой в целом. Для этого необходимо наличие общих энергетических режимных характеристик. Исследование энергетического процесса методом особых режимных точек представляет новые возможности изучения, усовершенствования и управления энергетическим процессом гЭС.

В докладе кандидата техн. наук, доц. В. А. Веникова «Моделирование гидроэнергетических систем на динамической модели» рассмотрена теория моделирования, сформулированная в виде общих теорем и критериев подобия, показывающих возможность осуществления комплексного или же приближенного (локального) моделирования. Теория приближенного моделирования и разработанная на основе ее схема модельного агрегата позволили снять трудности, связанные с различием параметров малых машин и мощных агрегатов. Для моделирования оказывается возможным применять как специальный универсальный генератор-модель, сконструированный в МЭИ, так и типовые генераторы малой мощности. Разработанная автором теория моделирования позволила создать универсальную динамическую модель системы. Такая первая в мире модель сооружается на кафедре гидроэнергетики МЭИ. Модель позволяет вести как комплексное, так и раздельное изучение гидромеханических или электромеханических процессов с учетом регуляторов всех факторов нелинейности.

Кандидат техн. наук, доц. В. А. ВЕНИКОВ



## Выставка „Промышленность средств связи СССР“

Министерством промышленности средств связи СССР совместно с Всесоюзным обществом по распространению политических и научных знаний организована в Государственном политехническом музее (Москва, Китайский

проезд № 3/4, подъезд № 1) выставка «Промышленность средств связи СССР».

Выставка открыта: по вторникам, четвергам и субботам с 12 ч. до 19 ч. и по средам, пятницам и воскресеньям с 10 ч. до 17 ч.





Г. И. БАБАТ, Г. В. ДЕРШВАРЦ, А. Д. СВЕНЧАНСКИЙ, М. Я. СМЕЛЯНСКИЙ. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПРОМЫШЛЕННЫЕ ПЕЧИ. Под общей редакцией А. Д. СВЕНЧАНСКОГО. Допущено Министерством высшего образования СССР в качестве учебника для энергетических и электротехнических вузов. 328 стр., ц. 20 руб. 25 коп. Госэнергоиздат, 1948

Несмотря на то, что электропечи играют значительную роль в современной промышленности до самого последнего времени не было ни одной книги, охватывающей с достаточной полнотой все виды промышленных электропечей. Поэтому появление рецензируемой книги является весьма отрядным явлением.

Ценность книги повышается тем, что в ней рассматриваются вопросы расчета, конструирования и эксплуатации всех видов печей (сопротивления, индукционных и дуговых) и она призвана служить учебником для вузов, имеющих специальности по электротермическим установкам.

Книга написана коллективом кафедры электрических печей Московского энергетического института им. Молотова. Общая часть и раздел о печах сопротивления написаны доц. А. Д. Свенчанским, раздел об индукционных печах доктором техн. наук Г. И. Бабатом и кандидатом техн. наук Г. В. Дершварцем, а раздел о дуговых печах—доц. А. Д. Свенчанским и доц. М. Я. Смелянским.

В планах наших вузов курсу электрических печей отводится около 200 часов, объем же книги составляет около 40 печатных листов; следовательно, объем книги выбран правильно. Несколько неудачно соотношение между отдельными разделами курса. В то время как всем остальным видам печей отведено примерно по 50 страниц, материал по индукционным печам растянут на 100 страниц.

Изложению отдельных видов печей предварена общая часть, в которой определяется область применения и классификация электропечей, даются общие законы теплопередачи в электропечах и описываются материалы электропечестроения.

Классификация печей построена по принципу превращения электрической энергии в тепловую и достаточно хорошо охватывает все типы современных промышленных электропечей. В целях полноты картины классификацию следовало бы дополнить принципом лучистого нагрева.

Во второй главе в краткой и сжатой форме изложены основные законы теплопередачи (теплопроводности, конвекции и лучеиспускания). Выводы иллюстрированы числовыми примерами применительно к электропечам, что, несомненно, облегчит учащемуся усвоение этих законов. Для облегчения расчетов в приложениях дан ряд графиков, иллюстрирующих законы теплопередачи.

В третьей главе описаны применяемые в электропечестроении огнеупорные, теплоизоляционные и жароупорные материалы. Несмотря на небольшой объем эта глава охватывает и краткую технологию производства и физико-химические свойства рассматриваемых материалов. Основной упор сделан на материалы отечественного производства. Здесь же описаны материалы для нагревательных элементов печей сопротивления. В ряде приложений даны характеристики почти всех описанных в тексте материалов с указанием области их применения, что жажет значительную помощь учащемуся в процессе проектирования. Недостатком этих приложений является почти полное отсутствие ссылок на ГОСТ. Студент уже в процессе обучения должен усвоить преимущества стандартизации и получить представление о наших стандартах.

Второй раздел посвящен печам сопротивления. Сначала описывается конструкция печей, потом

дается их тепловой расчет и, наконец, расчет нагревательных элементов печей. С методической точки зрения такое расположение материалов спорно. Логически целесообразнее было бы сначала дать общее понятие рассматриваемой группы печей, затем изложить теорию и расчет, а потом уже рассмотреть конструкции и узлы. Это тем более важно, что курс предназначен для электриков, а не технологов. При принятом расположении материала учащемуся после освоения теории поневоле придется возвращаться к конструкциям.

Конструкции современных печей сопротивления изложены достаточно подробно, и курс охватывает почти все виды существующих промышленных печей сопротивления. Крупным недостатком главы о конструкциях печей является недостаточная наглядность чертежей. Большинство из них дано в малом масштабе и без указания размеров, что отнюдь не будет способствовать развитию у студента представлений о габаритах реальных печей.

В главу пятую «Тепловой расчет электрических печей сопротивления» включены вопросы выбора типа и количества печей, определения времени нагрева и остывания изделия и конструирования печи (габариты, футеровка, каркас, детали, нагреватели). Таким образом, по содержанию эта глава описывает не тепловой, а по существу общий расчет печи. И только в следующей, шестой главе, дается расчет нагревательных элементов. Эти две главы построены непоследовательно. Теорию нагрева надо было бы перенести в главу о теплопередаче и осветить ее подробнее, так как проблема разогрева играет важную роль и в других типах печей, особенно в дуговых. Расчет же нагревательных элементов следовало поместить перед общим расчетом печи, тогда расположение материала получилось бы более логичным и легко усвояемым.

Слишком мало места уделено каркасу и деталям печи. В процессе проектирования учащийся всегда встречает здесь большие затруднения; поэтому в учебнике должны быть приведены типичные примеры разумного инженерного решения конструктивных вопросов.

Большим достоинством рассматриваемого раздела курса являются доведенные до конца числовые примеры расчета печей. Надо было бы привести также расчеты деталей и отдельных узлов печи и по этим расчетам дать несколько образцово выполненных чертежей.

Третий раздел курса, посвященный индукционным печам, больше похож на отдельную монографию, чем на часть учебника.

В седьмой главе, посвященной печам без сердечника, фактически нет описания конструкций печей этого типа. Большая часть этой главы посвящена отдельным вопросам поверхностной закалки. Однако, глава не дает полного и ясного представления об этом процессе, так как в ней не приводится описания ни одной установки для закалки. В этой же главе описывается нагрев полупроводников и диэлектриков в электрическом поле. Странно звучит тут утверждение автора, что «эти (медицинские высокочастотные) установки могут быть с полным основанием отнесены к электрическим печам». Такие неосторожные определения могут дезориентировать учащегося.

Значительно лучше восьмая глава об источниках токов высокой частоты для индукционного нагрева. Здесь приведено описание всех существующих типов ге-

нераторов (машинных, ламповых, искровых и ионных). Описание сопровождается чертежами машин, электрическими схемами и спецификацией всей аппаратуры установок.

Следующая девятая глава посвящена теории индукционного нагрева вихревыми токами. Исходя из основных уравнений электромагнитного поля, авторы выводят законы распространения полей и преобразования энергии для плоскости, цилиндра и шаров. Выводы очень громоздки, не подкреплены числовыми примерами и не иллюстрированы фотографиями.

Также громоздко и тяжело изложена десятая глава об основных соотношениях при передаче энергии электромагнитной индукцией. Достаточно указать, что четвертый параграф этой главы имеет название, состоящее из 15 слов, а восьмой параграф—из 23 слов; сами же параграфы изложены на одной—двух страницах.

В главе одиннадцатой, посвященной расчету индукционных печей без стального сердечника, опять вначале даются громоздкие формулы теоретического характера, не иллюстрированные примерами, затем приводятся «практические формулы для расчета». Последние не вытекают из теоретических выводов, и учащийся при чтении не почувствует ценности теоретических выводов. Численный пример расчета печи не доведен до конца, не показаны контуры рассчитанной печи и не дана критическая оценка результатов расчета.

Значительно лучше изложена вторая часть этого раздела, касающаяся индукционных печей со стальным сердечником.

В двенадцатой главе дается довольно подробное описание почти всех типов существующих печей со стальным сердечником. Конструкции почти всех приводимых типов печей иллюстрируются чертежами. К сожалению, и тут авторы редко дают габаритные размеры печей.

В тринадцатой главе авторы дают основы расчета печей со стальным сердечником. Глава эта написана несколько неравномерно. В то время как векторной диаграмме печи посвящено буквально несколько строк, теория динамических и термических эффектов в печах описывается на пяти—шести страницах.

В этой же главе дается теория расчета индуктивного сопротивления рассеяния. Теория эта изложена крайне кратко и недоходливо. Вообще, расчет индуктивности электрических печей представляет весьма сложную проблему, и он одинаково важен как для индукционных, так и для дуговых печей, поэтому надо было бы этот вопрос выделить в отдельную главу учебника, дать ему более глубокое теоретическое освещение и вместе с тем указать практические методы расчетов. Расчетный пример печи со стальным сердечником составлен хорошо, но, к сожалению, он не иллюстрируется чертежами.

Четвертый раздел посвящен дуговым печам.

В четырнадцатой главе сначала дается классификация и область применения рассматриваемых печей и краткий исторический обзор их развития, а затем описываются современные конструкции дуговых печей. С достаточной полнотой освещены также отдельные узлы и детали печей. К сожалению, очень мало места отведено электрическому оборудованию и электрическим схемам печей. В книге дана всего одна элементарная однолинейная схема печной установки. Это может создать у учащегося ложное представление об электрической части печи. Этот параграф можно было бы целиком опустить, так как студентам читается специальный курс «Проектирование и монтаж электропечных установок». Весьма скупо освещен также вопрос об энергетических балансах печей. В тексте приводится всего один пример такого баланса. Следовало дать несколько таких балансов, проиллюстрировать их графиками и показать изменение статей баланса в зависимости от мощности печи.

Шестнадцатая глава (электрический режим дуговой печи) начинается элементарным изложением дуги постоянного тока. Затем приводится теория С. И. Тельного о природе горения дуги переменного тока в сталеплавильной печи. Описание дуги постоянного тока можно было бы целиком опустить и за счет этого расширить

параграф о дуге переменного тока, используя новейшие работы наших исследователей. Здесь же следовало дать несколько осциллограмм токов и напряжений дуги в печи.

В этой же главе рассматриваются круговые диаграммы и рабочие характеристики печей. К сожалению, ни в выводе основных соотношений, ни в анализе диаграмм не подчеркнута важность правильного выбора номинальной мощности печи и возможные пределы перегрузки.

Недостатком этого раздела является отсутствие числового примера расчета печи.

Последний раздел книги посвящен рудотермическим печам. По стилю изложения он сильно отличается от остальной части книги и почти целиком носит описательный характер. Ввиду большого разнообразия сплавов, производимых в рудотермических печах, автор в начале раздела дает краткую характеристику различных процессов и подчеркивает необходимость учета особенностей сплава при конструировании печи.

Очень хорошо освещена теория М. С. Максимиенко о распределении мощности ванны, поглощаемой в дуговой шихте. Расчет самой печи приведен крайне схематично, и едва ли студент сумеет рассчитать печь по этим данным. Конструкции печей различного типа описаны довольно подробно. Недостаточно места уделено печам закрытого типа, хотя эти печи наиболее экономичны и в будущем большую часть парка наших печей мы должны перевести на закрытый тип. Здесь также опущена короткая сеть. Нет в этом разделе и примерного расчета печи.

Остановимся теперь на общих недостатках книги.

Роль и значение наших ученых в деле развития электропечей освещены в книге недостаточно, а между тем основания электрометаллургии, как известно, были заложены именно у нас. Необходимо было уже в начале курса дать развернутую историю вопроса и осветить работы В. В. Петрова и А. Н. Лодыгина. В разделе об индукционных печах нужно было рассказать о достижениях школы В. П. Володина, наконец, в разделах о дуговых и рудотермических печах следовало подчеркнуть ведущую роль советских ученых и подробнее осветить работы советских ученых.

В книге недостаточно использованы последние достижения наших ученых. Например, в разделе о сталеплавильных печах не нашли отражения работы Н. В. Окоркова, А. Н. Соколова, Б. С. Барского, в изложении теории электрической дуги не приводятся результаты исследований Г. А. Сисояна и т. д.

Список литературы очень скуден. В нем указано всего 20 источников; отсутствуют такие важные учебные пособия как «Основы электротермии» М. С. Максимиенко, «Номографические расчеты электроплавильных печей» Н. В. Окоркова и Д. Е. Левита и т. д. Библиографии по специальным предметам нужно составлять по разделам и в ней надо указывать не только основные учебные пособия, но и журнальную литературу и диссертации по отдельным вопросам, чтобы приучать учащегося к пользованию и специальными, а не только учебными материалами.

В книге не во всех разделах освещена экономия вопроса. Мощные печные установки требуют больших капиталовложений, и студент уже в процессе изучения предмета должен освоиться с размерами этих капиталовложений и экономикой эксплуатации. Приводимые в книге расчетные примеры нужно было дополнить краткими сметами.

Определения следовало выделять другим шрифтом, чтобы легче было учащемуся освоить и запомнить их.

Как уже отмечалось, большинство конструктивных чертежей дано в малом масштабе и трудно читается. Едва ли следовало экономить место на чертежи. Чертежи и таблицы не имеют надписей; с методической точки зрения это—очень большой недостаток. Наличие надписей значительно облегчает и понимание и запоминание материала.



Книга откорректирована небрежно. В приложении указано всего шесть опечаток, а при чтении мы обнаружили их около сотни.

Создание хорошего советского учебника является весьма важным и вместе с тем сложным делом. Учебник должен быть написан на уровне современной науки и построен методически правильно. Несмотря на ряд отме-

ченных выше недостатков, авторам рецензируемой книги в значительной степени удалось выполнить эти высокие требования. Будем надеяться, что при повторном издании авторы устранят указанные выше дефекты.

Доктор техн. наук, прсф. Г. А. СИСОЯН

Грузинский политехнический институт им. Кирова



Министерство строительства предприятий тяжелой индустрии СССР. Главэлектромонтаж. СПРАВОЧНИК ПО ЭЛЕКТРОМОНТАЖНЫМ РАБОТАМ. Под общей редакцией М. Д. Суховольского. 2-е дополненное и переработанное издание. 564 стр., ц. 23 руб. 30 коп. Стройиздат, 1948.

Большой объем электромонтажных работ, предусмотренный планами строительства и восстановления предприятий тяжелой индустрии, применение скоростных методов строительства и внедрение новой техники требуют от электромонтажников быстрого решения сложных технических вопросов, связанных с монтажом и наладкой самого разнообразного электрооборудования. Значительную помощь инженерам, техникам и мастерам в оперативном решении таких вопросов и в ускорении ввода электроустановок в эксплуатацию могут оказать специализированные справочники. С этой точки зрения выход в свет справочника по электромонтажным работам Министерства строительства предприятий тяжелой индустрии заслуживает самого серьезного внимания. К тому же он является по существу первой попыткой обобщить и систематизировать накопленный в СССР громадный практический опыт по монтажу электрических установок промышленных предприятий. Справочник состоит из тринадцати разделов и охватывает все основные виды электромонтажных работ.

Раздел I справочника содержит сведения общего характера. Сюда вошли наиболее часто требующиеся в монтажной практике математические и электротехнические формулы, графические обозначения, характеристики электротехнических, строительных и конструктивных материалов и т. д. В этот же раздел включены данные об электрическом прогреве грунта, бетона и замерзших трубопроводов. Электрический прогрев, получивший большое распространение в СССР, оказывает существенную помощь строителям при производстве ими работ в зимнее время и включение в справочник сведений о нем следует приветствовать. Весь первый раздел справочника составлен весьма экономно и не содержит излишеств, столь свойственных подобным разделам некоторых других справочников.

Разделы II—VII посвящены монтажу силового и осветительного электрооборудования, подстанций и распределительных устройств, а также монтажу заземления и зануления. Эти вопросы рассмотрены весьма обстоятельно, причем в основу всех рекомендаций положен более чем тридцатилетний опыт многочисленных монтажных организаций Главэлектромонтажа и электротехнических заводов. Получили отражение и вопросы, связанные с монтажом таких видов электрооборудования, по которым указания в литературе приводятся сравнительно редко. К ним относятся проводки вторичной коммутации, шинопроводы низкого напряжения и т. д. В значительной мере использованы работы Центральной научно-исследовательской лаборатории по электрификации промышленности (ЦНИЛЭП).

Раздел VIII содержит краткие сведения о такелажных работах, а разделы IX—XI посвящены механизации монтажных работ и организации монтажных участков. Особый интерес представляют три последних раздела, и включение их в справочник является полезным начинанием. Практика монтажных работ показывает, что при скоростных методах строительства механизация трудоемких электромонтажных работ имеет решающее значение для своевременного ввода в эксплуатацию электрических

установок. В то же время она повышает качество монтажных работ, экономит рабочую силу и удешевляет строительство промышленных предприятий. Приведенные в справочнике сведения о специальном оборудовании и многочисленных стахановских приспособлениях, предназначенных для механизации электромонтажных работ, будут весьма полезны практическим работникам. Большую помощь окажут им и указания по организации электромонтажных участков. Эти указания касаются состава рабочих по специальностям, организации монтажных мастерских, набора необходимого оборудования, приспособлений и инструментов, устройства складского хозяйства и т. д. Кроме того, они, что очень важно, содержат элементы экономики (процентное соотношение стоимости монтажа различных видов электроустановок, соотношение стоимости заготовительных, подготовительных и монтажно-сборочных работ, нормы расхода основных электротехнических материалов, электроэнергии и топлива при производстве электромонтажных работ и т. д.).

Раздел XII посвящен испытаниям и проверке электромонтажных работ при сдаче и, наконец, раздел XIII — основным вопросам техники безопасности и противопожарным средствам.

Можно считать, что коллектив авторов справочника в общем удачно разрешил поставленную перед ним задачу и создал доброкачественную и полезную книгу.

Тем не менее в справочнике имеются недостатки, которых следовало бы избежать при повторном его издании. Известно, что завершающей и наиболее квалифицированной частью электромонтажных работ является наладка смонтированного электрооборудования. Особенно сложна комплексная наладка (например, сложных электроприводов), требующая от монтажного персонала определенных навыков и технических знаний. Между тем, в справочнике вопросы наладки электрооборудования вовсе не затронуты. Существует точка зрения, согласно которой вопросы наладки электрооборудования требуют разработки специальных справочников, отличных от монтажных. Однако, эту точку зрения едва ли следует считать правильной, так как монтаж и наладка органически связаны между собой. Попытки издания отдельных справочников по вопросам наладки практически приводили к тому, что при наладке оборудования монтажному персоналу приходилось пользоваться двумя справочниками — монтажным и наладочным.

К недостаткам справочника следует отнести отсутствие в нем сведений о некоторых новых типах электрооборудования и о монтаже его. Так, не приведены данные по разъединителям новых типов, по двигателям серии «Урал», по новым типам пускателей и другой пускорегулирующей аппаратуре. Нет данных и по электромашинным усилителям, которые получают все большее распространение в промышленных приводах. Не затронуты вопросы, связанные с монтажом электроприводов и панелей автоматики.

В главах, посвященных проводкам и кабелям, ничего не сказано об алюминиевых проводах и о проводах и кабелях с полихлорвиниловой изоляцией и оболочкой. От-

существуют также сведения по монтажу кабелей по вертикальным и круто наклонным трассам.

Несмотря на ценность приведенных в справочнике данных о приспособлениях для механизации монтажей в освещении этих вопросов чувствуется ведомственный подход. Все приспособления и механизмы, перечисленные в справочнике, являются изделиями Главэлектромонтажа, тогда как механизмы и приспособления других ведомств и организаций в справочнике не рассматриваются. Отсюда — недостаточно полное освещение механизации таких трудоемких работ, как монтаж кабельных и воздушных линий, крупных электрических машин, трансформаторов и т. д. Так, в справочнике ничего не сказано о столбоставах, бурах для высверливания ям под опоры, канавокопателях, механизмах для засыпки траншей, приспособлениях для размотки кабелей с барабанов и т. п. Нет сведений и о приспособлениях для очистки внутренних и внешних поверхностей труб от окалины и ржавчины и для окраски их; отсутствуют данные по химической обработке труб для особо ответственных сооружений и т. д. Разработанный ЦНИЛЭП весьма ценный прибор, ускоряющий трудоемкие работы по определению тождественных концов жил контрольных и силовых кабелей и экономящий рабочую силу, не приведен. Нет в справочнике и испытанного в той же лаборатории фарадомера — при-

бора, определяющего окончание сушки трансформаторов и электрических машин, хотя метод контроля сушки трансформаторов путем сравнения емкостей обмоток в холодном и разогретом состоянии, в справочнике приводится (стр. 237). Совершенно недостаточны приведенные в справочнике указания по монтажу ртутных выпрямителей и крупных электрических машин.

В заключение следует отметить весьма неудачное оформление справочника. Вследствие того, что он печатался на плохой бумаге, его толщина превосходит «Справочник по электрической изоляции» (Госэнергоиздат, 1948 г.) больше, чем в два раза. Между тем справочник, изданный Госэнергоиздатом, имеет 624 страницы, а справочник по электромонтажным работам — 564 страницы. Весьма нечетки в рецензируемом справочнике графические изображения.

Несмотря на отмеченные недочеты, справочник по электромонтажным работам представляет собой весьма качественный труд, и выход его в свет во втором издании следует приветствовать. Он окажет большую помощь электромонтажникам.

Кандидат техн. наук, доц. И. И. ПЕТРОВ

Всесоюзный заочный энергетический институт



#### А. Д. КАПЛАН. ПОРАЖЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ТОКОМ И МОЛНИЕЙ. 92 стр., ц. 2 руб. 50 коп. Медгиз, 1948.

Книга написана врачом и входит в издаваемый Медгизом «Библиотеку практического врача». Настоящая рецензия не затрагивает медицинских вопросов; она относится к вопросам статистики электротравматизма и электротехническим вопросам, связанным с изучением электротравматизма. В трактовке электротехнических вопросов авторы из числа медицинских работников проявляют нередко большую смелость, что, однако, не приводит к хорошим результатам. Рецензируемая книга вызывает много замечаний.

В начале раздела «Электричество как материальная причина травмы» (стр. 5—6) автор попытался на двух страницах популярно изложить строение атома и электронную теорию. Естественно, что замечаний по такой трудной и столь кратко изложенной теме можно было бы сделать значительно больше, чем по любым другим страницам данной книги, не имеющим прямого отношения к специальности автора. Ограничимся приведением фразы, описывающей устройство генератора: «При вращении намагничиваемой подвижной части (ротор) вокруг неподвижной части (статор) в последней создаются ... положительный и отрицательный полюсы» (стр. 6).

В разделе «Особенности электрического тока» (стр. 6—8) подчеркиваются некоторые свойства электрического тока как источника электротравматизма. Автор приходит к выводу, что травматизм, вызываемый электрическим током, по своему удельному весу занимает несоразмерно большое место среди всех случаев промышленного травматизма (стр. 8). Это неправильно. Из работы Белинского, которую автор неоднократно цитирует, видно, что число несчастных случаев от электрического тока по отношению к общему числу несчастных случаев составляло в 1924 г. всего лишь 0,34%, а в 1925 г. — 0,31%.

На стр. 8—14 излагается статистика электротравматизма. Общеизвестно, насколько осторожного отношения требуют статистические данные с точки зрения их сопоставимости и пригодности для обобщений. Между тем сам автор подчеркивает несопоставимость данных, а следовательно, недоброкачественность сводной таблицы (стр. 10). Имеется также резкое несоответствие между данными таблицы (стр. 13), относящейся к Москве, и ана-

логичными данными по Ленинграду. Еще в большей степени этот упрек относится к таблице на стр. 14; из нее неясно даже, что понимать под смертностью от высокого и низкого напряжений: отношения чисел несчастных случаев, повлекших за собой смертельный исход, к общему числу несчастных случаев отдельно для низкого и отдельно для высокого напряжений, или же отношения чисел смертельных случаев на низком и высоком напряжениях к общему числу несчастных случаев от электричества. Эти недостатки публикуемых таблиц не являются случайными. Действительно, А. Д. Каплан приводит список литературы, содержащий около 80 наименований, но среди них мы не находим ни одной работы, посвященной методологии статистики электротравматизма. Между тем целесообразная методология может появиться лишь в результате серьезной научно-исследовательской работы.

Целесообразность предложения о регистрации электротравм, не вызвавших потери трудоспособности, сомнительна. Это предложение могло бы представлять интерес, если бы по каждому такому случаю можно было бы проводить весьма трудоемкие обследования, что, однако, возможно лишь в весьма ограниченном количестве случаев, причем шансы получить представляющие интерес результаты весьма незначительны.

Автор объясняет наличие большого числа несчастных случаев на низком напряжении среди электротехнического персонала, главным образом, незнанием правил монтажа, ремонта и эксплуатации электроустановок (стр. 9—10). Однако, в несравненно большей степени это объясняется весьма распространенным пренебрежением ко всякой не слишком резко выраженной опасности. Особенность эта присуща не только электротехникам, но и лицам других профессий. Например, квалифицированные медицинские работники в ряде случаев не принимают достаточных мер против заражения при соприкосновении с больными.

В книге не приводятся четкие данные о смертности среди лиц, подвергавшихся воздействию тока низкого и высокого напряжения.

Автор указывает, что в нашей литературе можно найти указания на безопасность напряжений 250 ÷ 300 в. Это неверно. Наоборот, имеются излишества в отношении преувеличенной оценки опасности весьма низких напряжений, например, 36 и даже 24 в.

Для утверждения, что снижение электротравматизма в предвоенные годы произошло вследствие ведения интенсивной техпропаганды (стр. 11), нет достаточных оснований. Эффективность обучения рабочих безопасным методам производства работ настолько очевидна, что эту истину не следует компрометировать неубедительными доказательствами.

В разделе «Основные вопросы электропатологии» указание (стр. 23), что одним из источников несчастных случаев является «применение приборов, рассчитанных на более низкие напряжения, чем рабочий ток»(?), неправильно уже по одному тому, что все приборы 220 и 127 в имеют одинаковую изоляцию. Термины «однополюсное» и «двухполюсное включение» не применяются при трактовке вопросов в области электротравматизма. Следует говорить «однополюсное и двухполюсное прикосновение». Укажем также, что двухполюсные прикосновения являются таковыми независимо от того, осуществляются ли они через посредство одной и той же или же различных частей тела (стр. 25). Непонятен термин «знаки тока на протяжении» (стр. 26—27); его нужно заменить термином «протяженные знаки тока». «Взрыв» отнюдь не является синонимом короткого замыкания (стр. 28). Материал, изложенный на стр. 29—30 («Влияние физических, биологических и психических факторов на патогенез электротравмы»), изобилует неправильностями и неточностями изложения.

Вопросу о влиянии напряжения на сопротивление человеческого тела не уделено достаточного внимания. Между тем это необходимо было сделать для того, чтобы разобраться в самом процессе поражения человека электрическим током и в роли, которую играет в нем электрический и тепловой пробой кожи, а также и появление юта, как следующие друг за другом фазы единого процесса поражения человека.

Неясна таблица на стр. 31. Прежде всего непонятна иная рубрика «сопротивление». Сопротивление чего? тела

или же пути тока через тело (т. е. тело+обувь+пол)? Если речь идет о сопротивлении только тела, то это сопротивление даже при столь небольшом напряжении, как 100 в не может быть столь высоким, как 100 000 ом. В работе не указано, над какими животными производились эксперименты и в течение какого промежутка времени каждое подвергалось электризации. Не приводятся также и другие обстоятельства, при которых протекали опыты (каким образом накладывались электроды, каков был процент смертности и т. п.). Что касается вывода о меньшей опасности напряжений не более низких, а, наоборот, более высоких, то в этом вопросе нужно проявлять большую осторожность. Из литературы уже давно известно, что электротравматизм при токах, значительно превышающих «смертельную дозу», принимает совершенно иной характер, чем при токах порядка 0,1 а. Однако, вопрос о том, можно ли распространить данные экспериментов, производимых в лабораторных условиях (электротруция) на несчастные случаи, протекающие в обычных условиях, ждет еще своего разрешения.

Непонятно выражение «пребывание в электромагнитных и электросиловых (?) полях, в области действия блуждающих токов, образующихся вблизи достаточно мощных по напряжению (?) электровозбудительных (?) машин...» (стр. 70). Конструкторам радиоаппаратуры отнюдь не приходится в связи со своей профессией «пробовать пальцами наличие тока в аппаратуре».

Книга А. Д. Каплана не дает современных сведений в области электротравматизма, что вызвано неудовлетворительной трактовкой электротехнических вопросов, а также вопросов статистики.

Кандидат техн. наук, доц. Л. П. ПОДОЛЬСКИЙ

Зав. кафедрой техники безопасности Всесоюзного заочного энергетического института



**НЕМЕЦКО-РУССКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ СЛОВАРЬ.** Под редакцией проф. Л. Д. Белькинда. 370 стр., ц. 38 руб. 50 коп. Гостехиздат, 1948.

**ФРАНЦУЗСКО-РУССКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ СЛОВАРЬ.** Под редакцией проф. Л. Д. Белькинда. 654 стр., ц. 43 руб., Гостехиздат, 1948.

После вышедшего в свет в 1947 г. «Англо-русского политехнического словаря»<sup>1</sup> Гостехиздат выпустил два аналогичных словаря: Немецко-русский и Французско-русский. Два коллектива специалистов под общим руководством проф. Л. Д. Белькинда проделали большую по объему и по своему значению работу.

Прежде всего следует остановиться на избранном редакцией типе обоих словарей, — политехническом. При сопоставлении специализированных словарей по отдельным отраслям техники с политехническими словарями практика отдаст предпочтение последнему типу словарей. Имеется неоспоримое удобство в пользовании единым изданием, в котором сконцентрированы технические термины из всех главных отраслей техники, включая и общенаучные термины по физике, математике, механике и пр. Существующая в настоящее время тесная взаимосвязь между различными областями техники также требует словарей политехнического типа.

В нижеследующем мы рассмотрим содержание обоих рассматриваемых словарей в части электротехнической терминологии и их соответствия задачам перевода на русский язык текстов электротехнического содержания на немецком и французском языках.

Инженеры-электрики предъявляют высокие требования к политехническим словарям. Электротехника, как отрасль техники, чрезвычайно выросла и расширилась. Стерты существовавшие раньше границы между, «сильными

ми» и «слабыми» токами; множество новых терминов привнесло развитие вакуумной техники, электроники, автоматического регулирования, телемеханики, электрической изоляции, синтетических материалов и пр.

Начнем рассмотрение с «Немецко-русского политехнического словаря». Он содержит около 60 000 терминов и является наиболее полным из аналогичных словарей, когда-либо издававшихся на русском языке. В предисловии справедливо отмечается, что такого словаря не было и в заграничных изданиях. В нем представлены 53 отрасли техники и знания. Кроме собственно электротехнических терминов, словарь содержит значительное количество терминов из смежных областей — физики (электричество), телеграфии, телефонии, радиотехники, светотехники, сварки и пр.

Несмотря на все это, инженер-электрик может предъявить к словарю целый ряд достаточно обоснованных претензий. В нем встречается много неправильных терминов, искаженных переводов. Например, Beanspruchung, elektrische переведено, как «электрическое тяжение» вместо «электрическое напряжение (изоляция)». Слово Schütz неправильно переведено, как «защитное реле, защитный автомат, защитный выключатель» вместо «контактор». Слово Kippmoment, кроме правильного значения «опрокидывающий момент», придается почему-то еще значение «скручивающий момент». Даже к столь распространенному слову, как Kurzschlussläufermotor, наряду с правильным переводом, приведен неупотребительный и ненужный термин — «клеточный мотор». Термин Stoßerregung — ударное возбуждение — неправильно отнесен только к области радио-

техники; термин *Grenzwellе* вместо „промежуточная волна“ переводится, как „предельная волна, пограничная волна“. Термин *Schaltmaschine* — „распределительный (коммутационный) ящик“ переводится, как „поворотная машина“ (?).

Еще больше упреков можно сделать по части неполноты словаря. Пропущено много важных терминов из области теоретической электротехники и математики, например: *Mitsystem*, *Gegensystem*, *Nullsystem* (системы положительного, отрицательного и нулевого следования векторов), *Ortskurve* (геометрическое место), *Fakultät* (факториал), *Einheitsfunktion* (единичная, возмущающая функция) и многие др.; из области радиотехники, как *Tausender-Wellen* (длинные волны), *Zehner-Wellen* (короткие волны), *Zwergwellen* (сантиметровые волны), *Überlager* (гетеродин), *Gittergleichrichtung* (сеточное детектирование), *Superhet*, *Super* (супергетеродинный приемник), *Trägerfrequenz* (несущая частота) и некоторые другие.

Но больше всего пробелов обнаруживается в части наиболее ходовых практических терминов из области силовых установок. В качестве иллюстрации приведем небольшую часть из пропущенного: *Verriegelung* (блокировка), *Stromspitze* (пик тока), *Leistungsaufnahme* (потребление мощности), *Schlupf Widerstand* (реостат скольжения), *Durchzuglüftung* (протяжная вентиляция), *Einschalt-dauer* (продолжительность включения, относительная продолжительность работы), *Überlastungsrelais* (реле перегрузки), *Schaltkasten* (распределительный ящик), *Sparschaltung* (экономическая схема включения), *Selbstmordschaltung* („самоубийственная схема“ — для устранения остаточного магнетизма), *Dimensionierung* (расчет размеров) и т. д. Эти пробелы тем более непростительны, что почти все из приведенных выше и других не вошедших в словарь слов помещены в изданном в 1931 г. „Техническом немецко-русском словаре“, составленном А. А. Эрасмусом.

В то время как для значительного количества важнейших электротехнических терминов в словаре не нашлось места, составители, по явному недосмотру, допустили кое-где засорение его словами, не имеющими никакого отношения к технике, например: *Ausführungsmittel* — слабительное (?) или *kurzsichtig* — близорукый.

Значительно более благоприятное впечатление оставляет «Французско-русский политехнический словарь». По ряду причин французская техническая (и, в частности, электротехническая) литература до самого последнего времени имела у нас гораздо меньшее распространение, чем, например, англо-американская или немецкая. Этим до известной степени объясняется отсутствие у нас до сих пор французско-русского технического словаря. Рецензируемый словарь является первым изданием такого рода: он содержит около 100 000 терминов, относящихся к различным областям техники, а также математики, физики, механики, биологии и пр.

В предисловии к словарю отмечается, что работа по его составлению была закончена еще в 1941 г.; этим самым составители предупреждают о возможной неполноте словаря в отношении новой терминологии, появившейся в последние годы, в связи с развитием ряда отраслей техники.

Хотя рассматриваемый труд является, действительно, первым у нас опытом французского технического словаря, он производит весьма хорошее впечатление, по крайней мере, с точки зрения инженера-электрика. В словаре представлена обширная электротехническая терминология; подбор терминов отличается систематичностью, а их переводы — достаточной точностью.

Небольшие дефекты в переводах все же хотелось бы отметить в интересах совершенствования словаря в его возможных последующих изданиях. Так, для слова *traitement* (des enroulements) приведен ряд значений, но нет значения „пропитка (обмоток)“. Термин *résistance de décharge* переведен „сопротивление разряда“ вместо „разрядное сопротивление“. Далее, неточно переведены термины: *dévolteur différentiel* — „дифференциальная машина“ вместо „дифференциальный бустер“; *survolteur-dévolteur* — „бустер“ вместо „повысительно-понижительный бустер“ или „бустер двухстороннего действия“. Термин *régime permanent* переведен „длительный режим“, хотя истинное значение относится здесь к стационарному режиму или ста-

тическому режиму. Для понятия „пульсирующий“ приведен малораспространенный термин *pulsant*, тогда как более ходкий термин *pulsatoire* отсутствует. Есть слово *amorce* (возбуждение), но отсутствует *auto-amorçage* (само-возбуждение).

Пропусков здесь гораздо меньше, чем в Немецко-русском словаре, но они все же имеются. Например, отсутствуют слова *redresseur à sec* (сухой выпрямитель), *valeur de pointe* (пиковое значение), *chromaticité* (цветность), *indice de local* (индекс помещения). Недостаточно разработана терминология в области различных режимов электрических объектов; в частности, отсутствуют такие слова, как *transitoire* (переходный), *régime transitoire* (переходный режим, определяемый экспоненциальной функцией), *régime variable* (переменный, переходный режим — в общем случае), *régime trouble permanent* — периодически нарушаемый стационарный или длительный режим.

Как и можно было ожидать, картина сравнительной полноты терминологии сразу же нарушается, как только мы переходим к текстам, касающимся более новых дисциплин, например, автоматического регулирования. Попытка перевести с помощью рассматриваемого словаря две статьи по вопросам автоматического регулирования из французского журнала за 1948 г. принесла значительное разочарование, так как обнаружилось отсутствие в словаре целого ряда терминов, фигурирующих в этих статьях: *asservissement*, *chaîne d'asservissement*, *trainé*, *tête de traçage*, *réseau correcteur*, *réponse transitoire*, *auto-oscillation*, *énergie mise en jeu* и др.

В заключение следует остановиться на оформлении обоих словарей. Оформление справочных изданий играет особенно важную роль, так как от оформления здесь в большей мере, чем для иных изданий, зависит удобство и быстрота пользования ими. Качество оформления обоих словарей, несомненно, можно рассматривать как успех издательства: компактный набор, почти полное отсутствие опечаток, вполне удовлетворительная бумага — вот что характеризует рассматриваемые издания. В то же время сопоставление обоих словарей позволяет установить и существенные отличия в их построении и оформлении. В Немецко-русском словаре основной термин и производные от него представлены одним общим столбцом; в Французско-русском словаре каждый производный термин выделен в самостоятельную строчку, что представляло большие удобства при его отыскании. Шрифт в Немецко-русском словаре слишком мелкий, а во Французско-русском значительно крупнее и может считаться образцовым для подобных изданий. Сокращения и условные обозначения в Немецко-русском словаре, определяющие области техники, к которой относится тот или иной термин, выражены буквами, в виде сокращенного названия этой области. Во Французско-русском словаре для этой же цели применены условные графические символы, что не только более наглядно, но и дает экономно места. Крупным и совершенно необъяснимым пробелом в обоих словарях является отсутствие сводки сокращенных и условных обозначений, играющих такую большую роль в современном техническом языке, особенно в электротехнике.

В общем создается впечатление, что Французско-русский словарь во всех отношениях оформлен значительно лучше, чем Немецко-русский. Приходится только удивляться, каким образом могло произойти столь значительное расхождение в стиле оформления двух словарей одинакового назначения, вышедших одновременно в одном и том же издательстве и под наблюдением одного и того же редактора.

Подводя итог, следует сказать, что Гостехиздат выполнила фундаментальную работу, плодами которой советские техники будут пользоваться еще много лет. Именно поэтому, учитывая отмеченные выше пробелы в словарях и их неизбежное отставание от развития техники, уместно уже сейчас поставить вопрос о планомерной подготовке последующего издания словарей; предварительным этапом в такой подготовке мог бы послужить выпуск дополнений к обоим словарям.

Л. Б. ГЕЙЛЕР

Центральная научно-исследовательская лаборатория электропривода МЭП

**Н. Н. МАЛОВ. КУРС ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ И РАДИОТЕХНИКИ.** Издание 2-е, переработанное и дополненное. Дopusчено Министерством высшего образования СССР в качестве учебного пособия для физико-математических факультетов педагогических вузов. 472 стр., ц. 13 руб. Гостехиздат, 1948.

Книга состоит из двух частей. Часть первая—Электротехника—содержит семь глав: в главах I—II излагаются основные методы расчета цепей переменного тока, многофазные системы и трансформаторы, III—IV—электрические машины, V—VI—преобразователи, выпрямители, аккумуляторы и электроизмерительные приборы, VII—история развития электротехники. Часть вторая—Радиотехника—содержит шестнадцать глав: в главах VIII—IX излагаются колебательные процессы в контурах и основные сведения об электронных лампах, X—XI—ламповые генераторы и передатчики, XII, XIII—излучение и распространение радиоволн, XIV—XVII—элементы радиоприемных устройств, XVIII—микроволны, XIX—простейшие радиоизмерительные приборы, XX—телевидение, XXI—радиолокация, XXII—частотная модуляция, XXIII—история развития радиотехники.

В нашей прессе неоднократно отмечалось, что средняя школа не дает ученикам практических навыков, необходимых в их повседневной жизни и работе; учащиеся старших классов не могут выполнить простейшей проволочной или ремонта электронного прибора и тому подобных мелких работ. Нам представляется, что преподаватель физики должен уметь прививать эти практические навыки в области электротехники и радиотехники своим ученикам и обеспечить их консультацией по этим вопросам в их учебной и кружковой работе. Само собой понятно, что, кроме этих утилитарных навыков, физика в школе должна раскрывать перед учениками широкие горизонты науки и техники, знакомя их с достижениями отечественной науки. Очевидно, для этого будущий педагог сам должен обладать такими знаниями.

Судя по предисловию рецензируемой книги, ее автор стремился к созданию книги, удовлетворяющей этим запросам. Таким образом, задача книги—не подготовить специалиста электрика—радиотехника, а дать будущему педагогу определенную сумму знаний и практических навыков, которые он должен в дальнейшем передать своим ученикам. Для выполнения этой задачи в книге должен быть дан необходимый материал, методически изложенный, должны быть убедительные примеры, конкретные цифры и главное должна быть доходчиво объяснена физика рассматриваемых явлений. Постараемся рассмотреть с этой точки зрения рецензируемую книгу.

Как указывает автор, расположение материала в книге отличается от общепринятого. Методика изложения, принятая автором, нам кажется нелогичной, затрудняющей усвоение материала читателем и неоднократно принуждающей автора ссылаться на последующие главы. Так, способы измерения трехфазной мощности рассматриваются ранее, чем читатель ознакомился с электроизмерительными приборами.

Неудачно, по нашему мнению, решение автора знакомить читателя с выдающимися электриками и радиотехниками (и притом, далеко не со всеми) не при изложении соответствующего материала, а в заключительной главе данной части курса.

Глава об истории развития электротехники содержит только 5 страниц текста, причем электрификации СССР отведено немного более одной страницы печатного текста.

В книге совершенно не уделено внимания электрическому освещению, передаче электрической энергии, улучшению коэффициента мощности, селеновым выпрямителям; недостаточное внимание уделено детекторному радиоприему, радиовещанию по проводам (особо развитию в СССР) и радиофикации вообще. Не описаны общепринятые измерительные приборы типа катодного вольтметра и катодного осциллографа. Мало дано фактического материала об использовании радиотехники в промышленности. Нет методических указаний о работе с диаграммами; так, нет указаний о необходимости тщательной экранировки и заземления схемы для уменьшения наводок, о влиянии рук экспериментатора, существующих искажающих результатов исследования, о необходимых предосторожностях при работе с термоэлементами 1. д.

Несмотря на то, что с аккумуляторами встречается каждый педагог, автор совершенно недостаточно рассмотрел практические вопросы работы с ними. Так, отсутствуют необходимые указания и схемы для заряда аккумуляторов. Читатель не сможет получить представление о правильной организации работы с аккумуляторами, а также не сумеет судить о достоинствах и недостатках различных типов аккумуляторов.

В качестве одного из основных недостатков книги, отметим, отсутствие простейшего расчетно-технического материала. Это превращает рецензируемую книгу в описательный курс, из которого нельзя вынести полезных сведений по расчету простейших электрорадиоустройств, например, электропроводки, малоомных трансформаторов, контурных катушек, конденсаторов, режима электронных ламп, усилителей и т. п. Наряду с этим, автор излишне подробно останавливается на обмотках электрических машин, векторной диаграмме синхронного двигателя, сложном выводе э. д. с. машины постоянного тока, описании старых типов измерительных приборов, условиях самовозбуждения генераторов постоянного тока, асинхронных генераторов, теории самовозбуждающегося генератора, частотной модуляции и т. п.

В конкретных примерах автор приводит устаревшие детали, схемы и т. д. Например, на стр. 210 описан устаревший волномер; на стр. 216 описана малоприменяемая сотовая обмотка катушек, но не описана обмотка «универсальная», пользующаяся максимальным распространением; на стр. 219 указаны сопротивления типа Каминского, давно снятые с производства, но не указаны производящиеся сейчас сопротивления; на стр. 222 указывается совершенно устаревшая комбинация сопротивления и емкости «гридлик»; на стр. 333 описано детектирование на верхнем загибе характеристики, имеющей сугубо теоретический интерес; на стр. 419 дана схема катодного осциллографа на трубке КОП, давно снятой с производства, и т. п.

Освещение отмеченных выше вопросов при сокращении и более конкретном изложении прочего материала не увеличило бы, а возможно сократило объем книги, причем она, по нашему мнению, значительно бы выиграла.

Техническая терминология, используемая в книге, не всегда соответствует общепринятой; кроме того, автор применяет различные термины, в сущности обозначающие одно и то же. Так, на стр. 40 и 41 автор упоминает о «параллельной» и «последовательной» обмотках ватметра, а затем без объяснения вводит наименования «толстая» и «тонкая обмотка»; кстати, описание самого ватметра дается значительно позднее (стр. 163). При изложении синхронных генераторов термины «статор», «ротор», «якорь», «индуктор» переплетаются между собой в самых различных комбинациях. Сам синхронный генератор называется альтернатором.

На стр. 61, описывая явление, происходящее при уменьшении вращающего момента первичного двигателя синхронного генератора, работающего параллельно с другими генераторами, автор необоснованно называет его автоматической синхронизацией.

На стр. 76 написано «Двигатели небольшой мощности строятся короткозамкнутыми—включение их происходит простым замыканием цепи статора»; на стр. 123 «В этих конденсаторах диэлектриком служит парафинированная бумага, она обклеена с обеих сторон металлической фольгой»; на стр. 217 применен термин «углеродистое железо», вероятно, взамен «карбонильное железо»; на стр. 236 написано «стремление придать лампе гибкость».

Частота и механическая сила обозначаются тождественно; скорость вращения выражается числом оборотов не в минуту, как это принято, а в секунду, в результате чего многие формулы (формулы 3.1; 4.3 и т. д.) имеют необычный вид; на стр. 332 неправильно указано, что угловая частота измеряется в герцах.

Все это усложняет пользование книгой и затрудняет углубление полученных знаний по другим источникам.

Приведем отдельные замечания по существу изложенного в книге материала:

На стр. 16 дается формула для эффективных значений тока и напряжения, причем автор не показывает физического смысла этих значений и дает формулу только для синусоидальной формы кривой.

На стр. 33, 39 и 68 автор все время подчеркивает, что вращающееся магнитное поле используется в асинхронных двигателях и некоторых измерительных приборах. Между тем, вращающееся магнитное поле используется также в синхронных двигателях.

На стр. 53 при пояснении принципа действия синхронного генератора написано «величина воздушных зазоров между статором и ротором делается минимальной». Это неверно, так как подобный генератор не мог бы работать нормально из-за большой реакции якоря.

На стр. 63, поясняя причины, по которым невозможен пуск синхронного двигателя при неподвижном роторе, автор приходит к выводу, что «синхронный двигатель необходимо сначала раскрутить, т. е. довести до нормального числа оборотов», имея, очевидно, в виду под нормальной скоростью вращения—синхронную. Между тем, сейчас наиболее распространен на упоминаемый автором асинхронный пуск синхронного двигателя, не требующий достижения синхронизма. Отсутствует указание основных преимуществ синхронных двигателей и области их применения.

На стр. 70—71 рассматриваются типы обмоток ротора асинхронного двигателя, причем неподготовленный читатель не может сделать вывода, что обмотка, выполненная в виде «беличьего колеса», также является короткозамкнутой; непонятно, чем «совершеннее фазная обмотка ротора»; неточное указание, что коротко замкнутые обмотки применяются только у двигателей малой мощности.

При описании асинхронного двигателя роль пускового реостата сводится к увеличению пускового момента и регулированию скорости вращения. Нигде прямо не сказано о назначении пускового реостата уменьшать пусковой ток; об этом может догадаться только подготовленный читатель.

В некоторых диаграммах (стр. 73 и 75) ток холостого хода асинхронного двигателя совпадает с магнитным потоком. Такое приближение методически неверно, так как в векторных диаграммах трансформатора, приведенных на стр. 45 и 47 угол гистерезисного опережения учитывается.

Характеристика холостого хода шунтового генератора, данная на рис. 82 (вверху), начерчена неудачно и, несмотря на утверждение автора, отличается от характеристики холостого хода генератора с независимым возбуждением (рис. 79).

На стр. 109 написано и на рис. 90 изображено, что между первым контактом пускового реостата и пластиной, к которой подключена обмотка возбуждения шунтового двигателя, включено значительное сопротивление, назначение которого—предупредить повреждение обмотки возбуждения при выключении двигателя. Между тем, в существующих конструкциях пусковых реостатов первый контакт соединяют с пластиной накоротко.

На стр. 133 написано «Незначительность внутреннего падения напряжения позволяет использовать ртутный выпрямитель для получения сильных токов низкого на-

пряжения». Между тем известно, что при этом у ртутного выпрямителя будет низкий к. п. д., так что в этом случае более выгодны иные вентильные устройства (например, твердые выпрямители).

Рассматривая магнитоэлектрическую систему измерительных приборов (§ 49), автор подробно останавливается на различных гальванометрах, осциллографах и осциллоскопах, но очень мало говорит о широко применяемых стрелочных приборах. Конструкции их недостаточно объяснены, и иллюстрация (рис. 147) неудачна. Понимание принципа действия приборов затруднено вследствие неудачного применения термина «направляющая сила» вместо «противодействующий момент» (стр. 154).

На стр. 205 дана неверная формула для коэффициента связи при автотрансформаторной связи. На стр. 240 неверно описан принцип работы лучевых ламп. На стр. 244 указано, что в маркировке ламп вторая буква обозначает тип накала, тогда как она обозначает тип катоды.

Роль дросселя параллельного питания (стр. 260) сведена к предохранению источников питания от токов высокой частоты, тогда как этот дроссель применяется для того, чтобы источник питания не шунтировал контур. При этом дроссель правильнее подбирать не из рекомендуемого автором соотношения  $\omega L > 5Z$ , а из следующего  $L$  дросселя  $= (50 \div 100) Z$  контура.

На стр. 268 и 319 указано, что глубина модуляции не должна быть более 30—50%, тогда как в современных радиях она должна быть 90—100%. На стр. 300 не правильно указано, что компактные антенны снижают влияние атмосферных помех. На стр. 315 неправильно изложен вопрос о соотношении продолжительности сигнала и помехи. На стр. 342 при выводе к. п. д. усилителя класса А не учтен коэффициент использования анодного напряжения.

На стр. 375 дана неверная оценка роли усилителя высокой частоты в супергетеродинном приемнике и не полностью указаны преимущества супергетеродинных схем по сравнению с приемниками прямого усиления. На стр. 373 написано «Индикатор позволяет настраиваться на нужную станцию при минимальной громкости звучания громкоговорителя». Это—только одно из назначений индикатора; основная его роль—обеспечить возможность точной настройки приемника. На стр. 385 приемники оцениваются по выходному напряжению, тогда как правильно их оценивать по выходной мощности.

В книге имеется ряд незамеченных опечаток. Фотографии выполнены нечетко и в некоторых случаях (рис. 239, 252, 279, 308, 341 и др.) настолько неясны, что, пожалуй, излишни; неудачен рис. 99, из которого затруднительно понять принцип работы одноякорного преобразователя.

Резюмируя, мы можем сказать, что рецензируемая книга не полностью удовлетворяет поставленной перед ней почетной задаче—помочь подготовить педагога, могущего привить учащемуся запас необходимых знаний в области электротехники и радиотехники.

**Кандидат техн. наук, доц. Н. Ф. ВОЛЛЕРЕР**

**Кандидат техн. наук, Е. Г. ЛОБЕ**  
Киевский политехнический институт





# Новые книги по электричеству, электротехнике и электроэнергетике

## Идания 1948 г.

**АНТЕННЫЕ УСТРОЙСТВА.** Под редакцией Б. И. Сапсевич и Ф. С. Соловейчик. 320 стр., цена не указана. Министерство авиационной промышленности СССР.

**БЛАНКМАН А. Г., ЗАРХИН М. М. ЧТО НАДО ЗНАТЬ О ПОЛЬЗОВАНИИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЕЙ В БЫТУ** (Энергосбыт Ленэнерго). 64 стр., ц. 1 руб. Госэнергоиздат.

**БРЕНЕВ И. В. ПУТИ РАЗВИТИЯ РАДИОЛОКАЦИИ.** 24 стр., ц. 75 коп. Всесоюзное общество по распространению политических и научных знаний, Ленинградское отделение.

**БРУНЕТТИ, КЕРТИСС. ТЕХНИКА ПЕЧАТАНИЯ СХЕМ.** Перевод под редакцией К. Н. Трофимова. 96 стр., ц. 7 руб. Изд-во «Советское радио».

В книге кратко рассматриваются различные способы (наквашивание, разбрызгивание, химическое осаждение, холодная и горячая штамповка и др.) «печатания» схем, т. е. изготовления радиоаппаратуры и других электрических устройств посредством нанесения через трафарет на изоляционный материал слоев и полосок из металла, пьезокерамики, магнитных материалов, лаков, стекломалей и т. п. Таким образом на панелях из керамики или пластмассы, а также на наружной поверхности баллонов электронных ламп «печатается» конденсаторы, катушки индуктивности, трансформаторы, сопротивления и пр. и соединения между ними. Печатные схемы имеют ничтожно малые габаритные размеры и высокую механическую прочность; возможна широкая механизация и автоматизация при массовом производстве аппаратуры. Благодаря этим преимуществам печатание схем в последнее время получает весьма широкое распространение. Перевод книги изобилует ошибками.

**ВОЛНОВЫЕ УСТРОЙСТВА.** Под редакцией Б. И. Сапсевич и Ф. С. Соловейчик. 264 стр., цена не указана. Министерство авиационной промышленности СССР.

**ВСЕСОЮЗНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ СЕССИЯ ПО ВОПРОСАМ ЭЛЕКТРОЭНЕРГООБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА.** (АН Армянской ССР, МЭП СССР, МСХ СССР, ВНИТОЭ). Материалы. 6 выпусков. Цена не указана.

**ДОГАДИН В. Н. УСТРОЙСТВО И ОБСЛУЖИВАНИЕ РАДИОТРАНСЛЯЦИОННЫХ СЕТЕЙ.** (Министерство трудовых резервов СССР). Одобрено в качестве учебника для ремесленных училищ связи. 206 стр., ц. 11 руб. Гострудрезервиздат.

**ДОБРОХОТОВ Б. А. РАДИОТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ НА САНТИМЕТРОВЫХ ВОЛНАХ.** 175 стр., ц. 13 руб. Изд-во «Советское радио».

**ДУДИНОВ Е. Г. АВТОМАТИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОСИЛОВЫХ УСТАНОВОК.** Конспект лекций. (Московский энергетический институт им. Молотова. Кафедра теплового контроля и автоматики). 123 стр., ц. 20 руб. Изд. МЭИ.

**ЗЕЛИКМАН И. Г. ПРОИЗВОДСТВО СЛЮДЯНЫХ ИЗДЕЛИЙ** Пособие по изучению технического минимума. 135 стр., ц. 5 руб. 25 коп. Промстройиздат.

**КАЛИНИН И. К. ПОСОБИЕ ДЛЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА-СВЯЗИСТА.** (Управление боевой подготовки войск сухопутных войск). Военное изд-во. 339 стр., ц. 11 руб. 50 коп.

**КАРМАЗОВ М. Г. РУКОВОДСТВО ПО ОБСЛУЖИВАНИЮ РУЧНЫХ ТЕЛЕФОННЫХ СТАНЦИЙ.** (Министерство связи СССР. Центральное телефонное управление). 119 стр., цена не указана. Латвийский полиграфический трест. (На латвийском языке).

\* **КОРОЛЬКОВА В. И., РОЗОВСКИЙ Я. К. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ В ЭЛЕКТРОУСТАНОВКАХ** (альбом). Разработано Московским институтом охраны труда ВЦСПС. Художник — Е. Ю. Сабиева. 23 таблицы (в папке), ц. 70 руб. Госэнергоиздат.

\* **КУЗНЕЦОВ Н. К., ЗЛАТОВСКИЙ А. П. СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ.** 2-е переработанное и дополненное издание. 289 стр., ц. 15 руб. Сельхозгиз.

**ЛЕБЕДЕВ В. Л. РАДИОПРИЕМНЫЕ УСТРОЙСТВА.** Допущено в качестве учебника для электротехников связи. 348 стр., ц. 9 руб. 75 коп. Связьиздат.

**ЛЕБЕДЕВА В. П., ВАДКОВСКИЙ Н. Д., ГОЛОВАСТОВ Г. А.** и др. **ТИПОВОЙ ПРОЕКТ СТАНЦИИ РАДИОТРАНСЛЯЦИОННОГО УЗЛА МОЩНОСТЬЮ 100 Вт С ПИТАНИЕМ ОТ АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ.** (Министерство связи СССР. Связьпроект). 56 стр. + 40 листов чертежей, ц. 7 руб. Связьиздат.

**ЛИВИЦКИЙ Н. А., КРОГИУС Э. А., СЕМАКОВ Н. В. РУКОВОДСТВО К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ ПО ИМПУЛЬСНЫМ СХЕМАМ.** Под ред. Н. А. Ливинца. 54 стр., цена не указана. Академия связи им. Буденного.

**МАРКОВ М. РАДИО НАШИХ ДНЕЙ.** Радио-связь, радиолокация, радиотехника. 110 стр., ц. 2 руб. 50 коп. Латгосиздат. (На латвийском языке).

**МАРТЬЯНОВ Б. К. МЕЖДУГОРОДНЫЕ ТЕЛЕФОННЫЕ СТАНЦИИ.** Допущено в качестве учебника для электротехников связи. 348 стр., ц. 9 руб. 50 коп. Связьиздат.

**МИСЕЛЮК А. Г. РАДИО — ИЗОБРЕТЕНИЕ РУССКОГО УЧЕНОГО А. С. ПОПОВА.** 36 стр., ц. 1 руб. Изд-во Академии наук Украинской ССР.

\* Звездочкой отмечены книги, по которым предполагается опубликование рецензий.

**МОРОЗОВ А. А. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОДНОЙ ЭНЕРГИИ.** Допущено в качестве учебного пособия для политехнических и строительных вузов. 568 стр., ц. 29 руб. Госэнергоиздат.

**НАЗЕМНЫЕ АМЕРИКАНСКИЕ И АНГЛИЙСКИЕ РАДИОЛОКАЦИОННЫЕ СТАНЦИИ.** Краткие технические описания. 204 стр., ц. 6 руб. Военное изд-во.

**НАУЧНО-РЕФЕРАТИВНЫЙ СБОРНИК.** Иностранная периодическая литература по некоторым вопросам современной физики — Выпуск I. Резонансные усилители. 95 стр., ц. 6 руб. — Выпуск II. Бетатрон. 63 стр., ц. 3 руб. 50 коп. Гос изд-во иностранной литературы.

**ПЕРВАЯ ВСЕСОЮЗНАЯ НАУЧНО ТЕХНИЧЕСКАЯ СЕССИЯ ПО ГОРОДСКИМ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ СЕТЯМ.** (Дополнительные сообщения. Выступления по докладам. Резолюция). Выпуск IV. 24 стр., бесплатно. Ленинградское отделение ВНИТОЭ.

**ПОЛОЖЕНИЕ О ГОСУДАРСТВЕННОЙ ИНСПЕКЦИИ ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ НАДЗОРУ И КОНТРОЛЮ ЗА СЕЛЬСКИМИ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯМИ, ЭЛЕКТРОУСТАНОВКАМИ И КОТЛАМИ** (Госсельэнергонадзор). Утверждено Советом Министров СССР. 8 стр., цена не указана. Изд. МСХ СССР.

**ПОТЕХИН А. И. НЕКОТОРЫЕ ЗАДАЧИ ДИФРАКЦИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН.** 136 стр., ц. 10 руб. Изд-во «Советское радио».

**ПРИНЦИПЫ РАДИОЛОКАЦИИ.** (Перевод). — Т. 1., 228 стр., ц. 15 руб. — Т. II — 256 стр., ц. 20 руб. Изд-во «Советское радио».

**РАХИМОВ Г. ЭЛЕКТРИЧЕСТВО.** 48 стр., ц. 1 руб. 95 коп. Госиздат УзССР. (На узбекском языке).

**СБОРНИК ЗАДАЧ ПО ОСНОВАМ ЭЛЕКТРОПРИВОДА.** 36 стр., бесплатно. (Московский энергетический институт им. Молотова. Кафедра электрооборудования промышленных предприятий).

**СЛЭТЕР ДЖ. ЭЛЕКТРОНИКА СВЕРХВЫСОКИХ ЧАСТОТ.** Перевод В. С. Лукомникова под редакцией С. Д. Гвоздова. 191 стр., ц. 13 руб. Изд-во «Советское радио».

\* **СТУПЕНЬ Ф. А. РЕЛЕ ЗАЩИТЫ И АВТОМАТИКИ.** Ч. 1. Теория и исполнение электромеханических и механических реле. Изд. 2-е, переработанное. 431 стр., ц. 20 руб. Госэнергоиздат.

**СТАНИСЛАВСКИЙ Л. Я. ТУРБОГЕНЕРАТОРЫ АНГЛИЙСКОЙ ФАБРИКИ «ЕЕС».** (МЭС, Оргрэгс). 20 стр., бесплатно. Госэнергоиздат.

**СТЕКОЛЬНИКОВ И. С. МОЛНИЯ И ГРОМ.** Перевод С. И. Тинчеровой. 40 стр., ц. 1 руб. 60 коп. Госиздат УзССР. (На узбекском языке).

**ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ НА II (VI) ВСЕСОЮЗНОМ СЪЕЗДЕ НИТО ГОРОДСКОГО ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТА** в гор. РИГЕ. (ВНИТО городского электротранспорта). 92 стр., бесплатно. Совет НИТО Латвийской ССР.

**ТРАМВАЙНЫЙ СПРАВОЧНИК.** Подготовлен к печати Д. И. Бондаревским, В. К. Петровым и В. Т. Соснян. Изд. 2-е, переработанное 456 стр. + 1 лист схем, ц. 26 руб. Изд-во МКХ РСФСР.

Справочник предназначен для руководящего и инженерно-технического персонала трамвайных предприятий; он состоит из девяти разделов. Наибольший интерес для электриков представляют: раздел IV «Подвижной состав», содержащий сведения о типах тяговых двигателей и их характеристиках, об аппаратуре управления и токоприемниках; раздел VII «Кабельная сеть»; раздел VII «Контактная сеть»; раздел VIII «Тяговые подстанции», но содержащий описание конструкций ртутных выпрямителей и электрооборудования тяговых подстанций. В приложении к справочнику приводятся краткие данные по трамвайным вагонам новых типов.

**ФУРДУЕВ В. В. ТЕОРЕМЫ ВЗАИМНОСТИ В МЕХАНИЧЕСКИХ, АКУСТИЧЕСКИХ И ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ ЧЕТЫРЕХПОЛЮСНИКАХ.** 92 стр., ц. 3 руб. 10 коп. Гостехиздат.

## Идания 1949 г.

**АППАРАТУРА ДЛЯ ПРОВЕРКИ И НАЛАЖИВАНИЯ ПРИЕМНИКОВ.** (Экспонаты 6-й Всесоюзной заочной радиовыставки) (Масовская радиобиблиотека под общей редакцией А. И. Берга. Выпуск 11). 33 стр., ц. 1 руб. Госэнергоиздат.

**БАГИНСКИЙ М. И., ЕЛИСЕЕВ В. И., ЛЕБЕДЕВ И. Я.** и др. **РАЦИОНАЛИЗАЦИЯ В ПРОИЗВОДСТВЕ ФАРФОРОВЫХ ИЗОЛЯТОРОВ.** 30 стр., ц. 1 руб. Госэнергоиздат.

**БАЛХИН А. К. РАДИОИЗМЕРЕНИЯ.** 259 стр., ц. 8 руб. Военное изд-во.

В книге изложены теоретические основания радиоизмерительной техники, устройство наиболее употребительной высокочастотной измерительной аппаратуры и практические указания по работе с ней. Рассматриваются измерения тока, напряжения, частоты, мощности, напряженности поля, индуктивности, емкости и сопротивления при высоких частотах, а также определение качественных показателей радиоприемников и радиопередатчиков; электронные осциллографы, измерительные генераторы и вспомогательная радиоизмерительная аппаратура. В приложении дан ряд справочных таблиц, а также «Положение об электрических и магнитных единицах».

**БРОЙДЕ А. М. РАДИОТЕХНИЧЕСКИЕ УСТРОЙСТВА** (общий курс). Допущено в качестве учебника для техникумов. 232 стр., ц. 13 руб. 60 коп. Госэнергоиздат.

\* **БЫКОВ Б. А., ГОХФЕЛЬД М. В., КОЛОМОЙЦЕВ Е. П., ПОПОВ А. С., РОСКИН Н. З. ЭЛЕКТРОТЕХНИКА**. Учебник для авиационных училищ. 526 стр., ц. 15 руб. Военное издательство.

\* **БЫХОВСКИЙ Я. Л., БАКИНОВСКИЙ В. Л. ИМПУЛЬСНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ И ЭЛЕКТРОСВЯЗИ**. 72 стр., ц. 2 руб. 75 коп. Госэнергоиздат.

**ГОЛОВИН Г., ЭПШТЕЙН С. РУССКИЕ ИЗОБРЕТАТЕЛИ В ТЕЛЕФОНИИ**. Под редакцией Д. С. Пашенцева. 88 стр., ц. 2 руб. 25 коп. Связьиздат.

**КИН С. АЗБУКА РАДИОТЕХНИКА**. (Массовая радиобиблиотека под общей редакцией А. И. Берга). Изд. 3-е, переработанное и дополненное. 254 стр., ц. 5 руб. Госэнергоиздат.

**ЛЬЮИС В. Б. МЕТОДЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СЧЕТА АЛЬФА-И БЕТА-ЧАСТИЦ**. Перевод Н. Н. Воронова под редакцией Г. Д. Лапышева. Издание 2-е. 164 стр., ц. 4 руб. 80 коп. Гостехиздат.

**НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ПО ПОДВЕДЕНИЮ ИТОГОВ НАУЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ МЭИ за 1948 г.** Электромеханическая секция. Тезисы докладов. (Московский энергетический институт им. Молотова. Научно-техническое общество). 10 стр., бесплатно. Изд. МЭИ.

Брошюра содержит тезисы докладов: Г. Н. Петрова «Влияние насыщения на диаграмму тока и характеристики асинхронной машины», С. С. Окуня «Компенсация погрешностей трансформаторов тока по методу МЭИ», Ю. С. Чечета и Л. О. Живоглядова «Универсальный асинхронный двигатель», С. М. Брагина «Разработка новых методов контроля производства кабелей», Л. С. Гольдфарба «К вопросу о теории вибрационных регуляторов», В. А. Привезничева «Новые типы обмоточных проводов» и Б. К. Буля «Теория электромагнитного экранирования и расчет индукционных систем».

**ПЕТРОВ Г. Д. БЕТОННОЕ ХОЗЯЙСТВО ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ**. (Всесоюзный заочный энергетический институт). 132 стр., ц. 11 руб. 50 коп. Госэнергоиздат.

**СПРАВОЧНАЯ КНИЖКА ЭНЕРГЕТИКА НА 1949 г.** 162 стр., цена не указана Госэнергоиздат.

**ТАРАСОВ Ф. И. ОДНОЛАМПОВЫЙ БАТАРЕЙНЫЙ ПРИЕМНИК**. (Массовая радиобиблиотека под общей редакцией А. И. Берга. Выпуск 10). 17 стр., ц. 50 коп. Госэнергоиздат.

**СТРАНАТАН Д. ЧАСТИЦЫ. В СОВРЕМЕННОЙ ФИЗИКЕ**. Перевод Г. Б. Жданова и В. А. Трофимовой, под редакцией С. Э. Безельского. 612 стр., ц. 29 руб. 75 коп. Гостехиздат.

Электрон, фотон, позитрон, протон, нейтрон, мезон — элементарные частицы новой физики, уяснение свойств которых совершенно необходимо для усвоения корпускулярной теории вещества и современного представления о структуре атома. Автор книги, профессор Канзасского университета (США), исходя из этого положения, написал в 1942 г. пособие для студентов, в основе которого содержится систематизированный обширный материал обзорного курса лекций автора по физике. Однако, за последние несколько лет, в результате новейших исследований, не малая доля которых выполнена советскими учеными, рассмотренные в данной книге вопросы естествознания получили дальнейшее развитие, вследствие чего часть сведений, содержащихся в книге, например, о космических лучах, о мезотронах и др., устарела. Открытый советскими физиками А. И. Алихановым и А. И. Алихановым спектр варитонов, предложенный советским физиком В. И. Векслером новый принцип ускорения заряженных частиц и некоторые другие новые, новые методы и представления вообще не нашли отражения в работе Странатана. Надо сказать, что его отношение к исследованиям, проведенным нашими учеными, типично для буржуазных авторов: об этих исследованиях, сыгравших выдающуюся роль, и имеющих принципиальное значение, автор книги попросту умолчал. Так, говоря о фотоэффекте, автор не счел нужным упомянуть о творце первого закона фотоэффекта — русским ученым А. Г. Столетовым и о работах советского периода: А. Ф. Иоффе, И. Е. Тамма и др. Говоря об исследовании частиц в космических лучах с помощью камеры Вильсона, помещенной в магнитном поле, автор книги не называет советского физика — академика Д. В. Скобельцина, применившего этот метод впервые, и т. д. Хотя эти и другие недостатки книги, в том числе — неверное, идеалистическое толкование Странатаном принципа эквивалентности, отмечены редактором перевода, но одни эти краткие оговорки не могут, конечно, ликвидировать порочность отдельных мест книги, теряющей, таким образом, характер цельного учебного руководства. В заключительной главе книги автор выступает как законченный идеалист, тщетно ищущий механической модели для описания природы материи, и безуспешно пытается, в обход научно-материалистического представления об единстве корпускулярных и волновых свойств вещества, ответить на искусственно сформулированный им вопрос о природе вещества: частица или волна?

Следует одобрить тщательно подобранный подробный список литературы по главам из работ советских ученых, приложений к книге в русском переводе.

Учитывая отмеченные выше недостатки, приходится выражать сомнение в полезности данного издания.



## ПОПРАВКА

В информации «День радио — 7 мая» («Электричество», № 6, 1949, стр. 87) в левой колонке, напечатанную курсивом часть 13-й строки снизу следует читать: «В секции радиовещания», часть 8-ой строки — «В секции радиоизмерений».



# ГОСЭНЕРГОИЗДАТ

Москва, Шлюзовая набережная, 10.

А. С. ЗАЙМОВСКИЙ и В. В. УСОВ

## МЕТАЛЛЫ И СПЛАВЫ В ЭЛЕКТРОТЕХНИКЕ

Изд. 2-е, заново переработанное и дополненное

М.—Л., Госэнергоиздат, 1949 г., стр. 568 + 6 вкл., цена 32 р. 50 к.

Книга является вторым дополненным изданием работы под тем же названием, вышедшей в 1941 г. Книга содержит систематическое описание магнитных, проводниковых, реостатных и контактных металлов и сплавов, применяемых в настоящее время.

Книга предназначена для инженеров, работников электропромышленности, электростанций, проектно-монтажных бюро и исследовательских лабораторий, а также металлургов, металловедов и металлофизиков. Книга может служить учебным пособием при изучении электротехнических металлов.

Д. П. МОРОЗОВ

## ТЕОРИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА И АВТОМАТИКА РЕВЕРСИВНЫХ СТАНОВ

М.—Л., Госэнергоиздат, 1949 г., стр. 316 + 1 вкл., цена 14 р. 25 к.

В книге изложены теория переходных и установившихся режимов работы электропривода реверсивных прокатных станков — блюмингов и слябиггов и методика инженерных расчетов схем их автоматического управления. Дано описание релейно-контакторных и электромашинных схем автоматики. Книга предназначена для инженеров, работающих в области исследования, расчета и проектирования электроприводов и может быть полезна для студентов, специализирующихся по электрооборудованию промышленных предприятий.

## Р. ОЛЬДЕНБУРГ и Г. САРТОРИУС ДИНАМИКА АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

Перев. с нем. *И. И. Погосева* под редакцией *А. В. Михайлова*

М.—Л., Госэнергоиздат, 1949 г., стр. 328 + 1 вкл., цена 18 руб.

В книге даются математические основы динамики автоматического регулирования, определяются основные понятия этого предмета, даются способы расчета и исследования конкретных систем непрерывного и прерывного регулирования. Исследования заканчиваются диаграммами, пригодными для практических расчетов. Дается сравнительная оценка различных способов регулирования и рекомендуются преимущественные области их применения.

## РОТЕРС ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ МЕХАНИЗМЫ

Перев. с англ. *А. В. Гудона и А. Г. Сликинса*, под редакцией *А. Я. Буйлова*

М.—Л., Госэнергоиздат, 1949 г., стр. 224, цена 30 руб.

В книге рассмотрены вопросы, касающиеся расчета электромагнитов постоянного и переменного тока. Изложение рассчитано на лиц, владеющих основами электротехники, поэтому вопросы теории не разбираются подробно. Основной упор сделан на рассмотрение методики расчета различных типов электромагнитов. Попутно приводятся экспериментальные и расчетные коэффициенты, которые могут быть использованы при проектировании новых электромагнитов.

Разобран расчет электромагнитов замедленного действия и быстродействующих электромагнитов.

Книга может оказаться полезной как для инженеров, работающих в области расчета и конструирования электрических аппаратов, так и для студентов соответствующих специальностей энергетических и электротехнических высших учебных заведений.