

1933

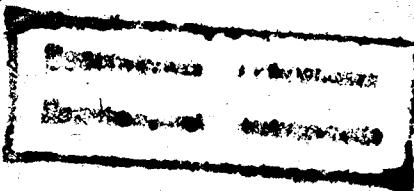
„Коммунизм—это советская власть
плюс электрификация всей страны“
ЛЕНИН

ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

№ 2

ВЫПУСК II

ЯНВАРЬ



МОСКВА
САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ
ИЗДАТЕЛЬСТВО

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

ПРИКИДАЕТСЯ ПОДПИСКА на 1933 год на журнал:

ВЕСТНИК ЭЛЕКТРОПРОМЫШЛЕННОСТИ

Ежемесячный орган Всесоюзного электротехнического
объединения ВЭО

ЗАДАЧИ ЖУРНЛА:

Освещать достижения советской электропромышленности сильного тока, давать описания новых типов выпускаемых изделий с их технической характеристикой, результатов лабораторных испытаний, видов и условий применения, опыта эксплуатации, и качества электротехнических изделий. Особый отдел—электродвигательные приводы к производственным станкам и машинам. Отдел планово-экономический.

ЖУРНАЛ РАССЧИТАН:

на инженеров, техников, квалифицированных рабочих и студентов вузов.

ПОДПИСНАЯ ЦЕНА:

на год	18 р.
на 6 мес.	9 р.
на 3 мес.	4 р. 50 к.
Цена отдельного номера 1 р. 50 к.	

Продолжается подписка на научно-технич. производств. журнал ТОЧНАЯ ИНДУСТРИЯ

Орган Всесоюзного объединения точной индустрии

выходит в 12 номеров в год

ГОД ИЗДАНИЯ 4-й

Журнал ставит своей целью максимальное обслуживание потребителей продукции точной индустрии и производственника.

Круг читателей—квалифицированные рабочие, техники, инженеры, научные работники, лаборанты и т. п.

Отделы: Политико-экономический. Производственно-технический. Научно-исследовательский. Новости аппаратуры. Лабораторная практика. Библиография и критика. Консультация и справки. Хроника.

Подписку сдавайте на почту, письмоноссцам, организаторам подписки на предприятиях и учреждениях, а также всем отделениям и магазинам Книготоргового объединения в сроки, указанные союзпечатью.

ПОДПИСНАЯ ЦЕНА:

на год	б р.
на 6 мес.	3 р.
на 3 мес.	1 р. 50 к.
Цена отдельного номера	75 к.

ВО ВСЕХ КИОСКАХ ССЮЗПЕЧАТЬЮ ПРОИЗВОДЯТСЯ ПРОДАЖА ЖУРНЛА В РОЗНИЦУ

ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

2

ЯНВАРЬ
1933

Орган ВЭО и ГЛАВЭНЕРГО НКТП, Энергетического института Академии наук СССР и Всесоюзного энергетического научного инженерно-технического общества (ВЭНИТО)

Адрес редакции: МОСКВА, Ильинка, Ильинский п., 2, 1-й эт. Тел. 72-46 и 1-57-19

СОДЕРЖАНИЕ

Стр.

Стр.

Передовая—Электрификация СССР на грани второй пятилетки	1
Инж. В. Р. Секторов—Современное состояние проектирования и опытного строительства крупных ветроэлектрических установок	9
Инж. П. И. Сазанов и инж. Р. Кантор—Технические преимущества и возможности быстродействующего выключения	13
Инж. А. П. Сахаров—Быстродействующее возбуждение синхронных машин	22

Инж. Ю. В. Буткевич и инж. Р. В. Кулакова—Железные сопротивления для ограничения токов короткого замыкания	31
Хроника	37
Библиография	40
Тематический указатель статей журн. "Электричество" за 1932 г.	41
Аннотации	44

Электрификация СССР на грани второй пятилетки

"... если Россия воцарится густой сетью электрических станций и мощных технических оборудований, то наше коммунистическое хозяйственное строительство станет образцом для грядущей социалистической Европы и Азии".

Ленан

Электрохозяйство царской России разделяло общую судьбу всего народного хозяйства того времени. Общая техническая слабость и отсталость от передовых капиталистических стран, длительные периоды депрессий и, наконец, зависимость от иностранного капитала — вот его характерные черты.

Начало строительства электростанций в России связано с хозяйственным подъемом 90-х годов. В 1888 г. установленная мощность электрических станций общего пользования была всего 0,5 MW. К 1900 г. эта мощность поднялась до 80 MW. Период жестокого кризиса начала девятисотых годов и затем длительная депрессия до 1909 г. снизили и темп строительства электростанций.

Подъем 1909—1914 гг. вызвал новое усиленное строительство электростанций как общего пользования, мощность которых поднимается в 1913 г. до 260 MW с продукцией в $0,69 \cdot 10^9$ kWh, так и фабрично-заводских, доведших свою мощность в этом же году до 750 MW. В 1905 г. промышленность потребила всего $0,24 \cdot 10^9$ kWh. В 1913 г. ее потребление поднялось уже до $1,6 \cdot 10^9$ kWh, из которых собственные станции промышленности произвели $1,255 \cdot 10^9$ kWh. За время войны строительство продолжалось, хотя и было затруднено, использование же имеющихся станций (общего пользования и фабрично- заводских) вследствие напряженной работы промышленности.

значительно увеличилось. При общем росте мощности электростанций с 1913 по 1916 г. на 10% (с 1010 до 1100 MW) их выработка возросла на 32% (с $1,945 \cdot 10^9$ до $2,575 \cdot 10^9$ kWh).

Несмотря на относительно быстрый рост, значительно превышающий темпы других отраслей промышленности, электрохозяйство дореволюционной России было все же ничтожным по сравнению с другими крупными капиталистическими странами. Так, в 1912 г. САСШ имели на станциях общего пользования свыше 5000 MW с выработкой в $11,5 \cdot 10^9$ kWh, что превышало мощность русских станций общего пользования 1913 г. в 20 раз и выработку в 16 раз. В Германии в 1913 г. мощность всех станций общего пользования была в 600 MW, т. е. в 2,3 раза больше, чем в России¹⁾.

Электростанции, сети, трамваи и прочее электрохозяйство в основном не были принадлежностью русских капиталистов — они были построены на деньги иностранцев, которые выкачивали за границу из России, как из своей колонии, огромные дивиденты. Наиболее крупные электростанции Петербурга, Москвы, Баку, Лодзи принадлежали старейшему предприятию в России — обществу электрического освещения 1886 г.,

¹⁾ В дальнейшем мы будем проводить сравнение СССР, главным образом, с САСШ.

хозяевами которого были немцы²). Общество имело концессию на освещение Петербурга сроком с 1897 г. на 40 лет (т. е. до 1937 г.), на освещение Москвы—сроком с 1895 г. на 50 лет (до 1945 г.) и Лодзи—до 1949 г. Это общество контролировало еще два крупных общества по производству электроэнергии: „Иматра“ (Петербург) и „Электропередача“ (Москва). Общий основной капитал Общества составлял по подсчету Зива³ 73% всех основных капиталов, вложенных в русское электрохозяйство. Кроме Общества 1886 г. в руках немцев был и ряд других акционерных обществ, главным образом, в крупных промышленных центрах России—в Одессе, Киеве, Варшаве и др., которые лишь名义ально были русскими, французскими или бельгийскими предприятиями. По подсчетам того же Зива и Галицкого общая сумма иностранных капиталов, вложенных только в электрическое освещение, накануне войны была равна 100 млн. руб.⁴). Кроме того, русское электрохозяйство совершенно не имело внутренней промышленной базы, которая производила бы оборудование и аппаратуру для производства и потребления электрической энергии. Большая часть этого оборудования импортировалась из-за границы, главным образом, также из Германии (в части турбин, генераторов и аппаратуры) и из Англии (котлы). Та же часть продукции, которая выпускалась внутри страны, по существу, производилась также, главным образом, AEG в Германии.

Из 72,5 млн. руб., вложенных до войны в русскую электропромышленность, свыше 51 млн. руб. пришло из-за границы, из них на долю Германии приходилось 81%. Иностранцы строили заводы в России не для того, чтобы развивать русскую промышленность, но чтобы избежать высоких пошлин на готовые машины. Поэтому они ввозили полуфабрикаты и имели в России, по существу, лишь сборочные мастерские.

Иностранным, точнее немецким, происхождением электротехнической промышленности и электрохозяйства в России обясняется также и размещение последних по стране—первой в Петербурге и Прибалтике и второго в наиболее крупных и доходных промышленных центрах. Более же отдаленные и почти не развивавшиеся в условиях капиталистической России районы, как, например, Урал, иностранцев не привлекали.

Главным потребителем электрической энергии в России была промышленность. Она поглотила в 1913 г. 80% ($1,6 \cdot 10^9$ kWh) всей энергии, произведенной в стране. Степень централизации (потребления от центральных станций) была всего около 20%. Коэффициент электрификации⁵ промышленности был равен $38\% \cdot 0,4 \cdot 10^9$ kWh в 1913 г. шло на освещение и трамвай.

Ничтожность общего потребления электрической энергии характеризуется сравнительными цифрами потребления электрической энергии на

душу населения. В то время как в САСШ в 1913 г. это потребление было равно 185 kWh и в Германии 100 kWh, в России оно было равно всего 10—12 kWh.

По основным качественным показателям оборудования и эксплуатации электрические станции дореволюционной России стояли также на весьма низкой ступени развития. В составе первичных двигателей в промышленности около 85% по мощности занимала паровая поршневая машина. Средняя мощность двигателя в промышленности—61 л. с. и по станциям общего пользования—387 л. с. В котельных господствовали низкое давление (8—10 at) и ручная топка. Основным типом котла был жаротрубный (водотрубные котлы были исключением). Максимальный с'ем пара был около $20-25$ kg/m². Максимальная поверхность нагрева котлов на крупных электростанциях не превышала 300—400 m². Максимальный к. п. д. котлов был не выше 65—70%. Предельная мощность турбогенератора на наиболее крупных в тот период станциях—5 MW. (В САСШ в это время предельная мощность агрегата—30 MW, а в годы войны в Германии мощность крупнейшего агрегата уже составляла 50 MW.) Средний коэффициент использования установленной мощности составлял в 1913 г. по фабрично-заводским станциям 1670 час., а по станциям общего пользования—2600 час. Удельный расход топлива на 1 kWh в промышленности превышал 2 kg 7000-калорийного топлива, на лучших станциях общего пользования—1,15 kg. Топливный баланс энергетического хозяйства промышленности и станций общего пользования, почти целиком базировался на высокосортном привозном топливе (мазут, керосин, донецкий уголь). Себестоимость электроэнергии в 1913 г. на станциях общего пользования составляла 13,5 коп. за 1 kWh, тариф же более чем в два раза превышал себестоимость.

Таково было в общих чертах то жалкое наследство, которое в октябре 1917 г. получил пролетариат от капиталистической России.

В период гражданской войны и военного коммунизма (1917—1921 гг.) электрохозяйство шло по нисходящей линии. Гражданская война поглощала все имеющиеся ресурсы. Топливный голод отрыв от РСФСР Баку и Донбасса парализовал работу многих электростанций как промышленных, так и общего пользования. Цифры выработки из года в год падали. В 1920/21 операционном году на станциях общего пользования выработка упала больше чем вдвое по отношению к 1916 г. ($0,46 \cdot 10^9$ kWh вместо $1,075 \cdot 10^9$). Много станций вовсе не работало, прирост новой мощности был крайне незначителен, главным образом, по местным мелким станциям, в среднем около 10 MW в год. Рабоче-крестьянское правительство установив наряду с другими коммунальными услугами бесплатность пользования электроэнергией, вместе с тем принимало решительные меры для проведения строжайшей экономии электроэнергии и топлива. Была создана при СНК чрезвычайная комиссия по электроснабжению и издан за подпись Ленина специальный декрет (15 ноября 1920 г.) „О мерах к сокращению пользования электрической энергией и электрическим освещением“. Разумеется, за это время наша отсталость

²) Промышленная и финансовая группа Siemens & Halske.

³) „Иностранные капиталы в русских акционерных предприятиях“ изд. 1915 г.

⁴) Для сравнения масштабов иностранных вложений в электрохозяйство укажем, что такая же сумма была вложена иностранными в русскую топливную промышленность.

⁵) Отношение потребленной электрической энергии ко всем потребленной механической (включая и электрическую).

от передовых капиталистических стран усилилась. Но вместе с тем эти годы были периодом работы Гоэлро, давшей первый государственный план восстановления и развития всего народного хозяйства на базе электрификации, периодом собирания сил и продумывания грандиозного хозяйственного социалистического наступления.

В течение восстановительного периода (1921—1925 гг.) с началом нэпа, с отменой бесплатности пользования электроэнергией и переходом предприятий на хозрасчет шла наладка работы старых станций и развивалось новое строительство, главным образом, также в небольшом местном масштабе, в среднем около 20 MW в год.

Во исполнение постановления IX Съезда советов о плане Гоэлро и о развитии местной электрификации ВЦИК предписал губернским и областным исполнительным комитетам „Принимать все меры к облегчению развития местной электрификации. Для чего содействовать сооружению электростанций местного значения и расширению их мощности, а также увеличению числа потребителей электрической энергии в своих районах“. Вместе с тем при героических усилиях рабочего класса, с напряжением всех хозяйственных ресурсов начал выполняться план Гоэлро и, в частности, строительства первоочередных мощных районных станций (Волховской, Шатурской, Каширской).

К 1925 г. (на 1 января) общая мощность электрических станций составляла 1375 MW. Выработка за 1925 г. была равна $2,93 \cdot 10^9$ kWh, и, таким образом, уровень 1916 г. был превзойден. При этом мощность фабрично-заводских станций совсем не увеличилась, рост произошел за счет развития станций общего пользования.

С переходом к реконструктивному периоду темпы роста мощности и производства электроэнергии в СССР далеко превысили темпы роста капиталистических стран.

Общая мощность наших электростанций с 1375 MW в 1925 г. и 1874 MW в 1928 г. поднялась к концу первой пятилетки до 4700 MW. Выработка с $2,93 \cdot 10^9$ kWh в 1925 г. и $5 \cdot 10^9$ kWh в 1928 г. выросла до $13,5 \cdot 10^9$ kWh к концу первой пятилетки. При этом развитие в периоде реконструкции шло, главным образом, за счет мощных районных центральных станций, поднявших свою установленную мощность и выработку с 1925 до 1932 г. в девять раз (мощность с 307 MW к началу 1925 г. выросла до 2750 MW к концу 1932 г. и выработка с $0,9 \cdot 10^9$ kWh до $8,35 \cdot 10^9$ kWh в 1932 г.).

За этот период мы сделали весьма крупный шаг по пути разрешения задачи „догнать и перегнать“ передовые капиталистические страны. В 1925 г. производство электроэнергии САСШ превышало выработку электростанций СССР в 24,4 раза, выработка Германии превышала нашу в 6,1 раза, и в 1932 г. эти цифры соответственно равны 8 и 2 (ориентировочно).

Если по количественному уровню СССР все еще отстает от наиболее мощных стран—САСШ и Германии, то по темпам развития и по ряду других качественных показателей электрохозяйства СССР уже догнал, а по некоторым и перегнал эти страны.

Технический прогресс и экономическая целесообразность побуждают

централизовать производство электроэнергии. Поэтому во всех технически передовых капиталистических странах этот коэффициент централизации, т. е. удельный вес производства электроэнергии на центральных станциях общего пользования, преодолевая социально-экономические препятствия, все же растет. В 1930 г. процент централизации в САСШ был равен 77 и в Германии 53,5. В СССР коэффициент централизации в 1925 г. был равен 45, в 1931—69,5 и в 1932—74%. Роль же одних крупных районных станций соответственно выражалась цифрами 32, 51 и 62%.

Таким образом по этому одному из важнейших показателей качественного уровня электрохозяйства мы обогнали Германию и стоим почти на одном уровне с САСШ.

Концентрация производства электроэнергии по станциям общего пользования СССР в настоящее время весьма высока. По данным за 1931 г. всего пять систем и семь районных электростанций, не входящих в эти системы с выработкой свыше $0,1 \cdot 10^9$ kWh каждая, произвели 80% всей продукции районных станций и 50% суммарного производства всех станций СССР. В среднем на каждую станцию приходилось $0,2 \cdot 10^9$ kWh и на каждую систему $0,75 \cdot 10^9$ kWh. Стандартом для наших крупных районных электростанций в настоящее время становится мощность 200 MW и выше.

В Германии 246 электрических станций произвели в 1930 г.⁶⁾ $21,2 \cdot 10^9$ kWh, что составляет 73,4% всего производства, и 146 станций со средним производством в $0,1 \cdot 10^9$ kWh произвели $15 \cdot 10^9$ kWh, или 52,5% всей продукции.

Общий уровень концентрации электрохозяйства СССР к концу первой пятилетки сделался выше, чем в Германии, но еще не достиг уровня САСШ.

Что касается величины отдельных рекордных станций и их систем, то в САСШ имеется четыре системы с мощностью свыше 1000 MW и с выработкой свыше $4 \cdot 10^9$ kWh. Наибольшая мощность отдельной станции доходит до 1000 MW (Истривер). В Германии уже работают отдельные тепловые станции в 440 и 550 MW (Гольпа, Гольденберг) и имеются системы с мощностью свыше 700 MW (RWE, Электроверке) и выработкой около $2,5 \cdot 10^9$ kWh.

Постройкой Днепрогэс с установленной мощностью в 81000 л. с. СССР побивает мировой рекорд в отношении мощных гидростанций. Наиболее мощная тепловая станция СССР—Шатурская, являющаяся самой крупной в мире торфяной станцией, имеет около 200 MW установленной мощности. Самая же мощная система—Мосэнерго—в 1932 г. имела около 600 MW установленной мощности с выработкой свыше $2 \cdot 10^9$ kWh.

По масштабу комбинированного производства и теплофикации мы являемся первой страной в мире. Это одно из блестящих достижений первой пятилетки в области электрификации. В САСШ история централизованного теплоснабжения насчитывает свыше 50 лет. Имеется 161 кампания по теплофикации городов. Однако громадное количество пара совершенно не используется для производства электроэнергии, но идет со станций в отопляемые помещения в виде острого пара. Ряд комбинированных установок имеется

также в Германии (почти исключительно в промышленности) и в других странах. Однако до сих пор вследствие невозможности согласовать частные интересы отдельных собственников, несмотря на совершенно очевидные выгоды теплофикации, последняя на Западе осуществлена в чрезвычайно малом масштабе.

В СССР сооружение теплосиловых установок началось с 1925 г. На 1 октября 1932 г. общая их установленная мощность была равна 508 MW, из которых на долю фабрично-заводских тэц приходится 287 MW (56,5%), районных—182 MW (36,8%)⁷⁾ и городских—39,1 MW (7,7%). В постройке в настоящее время находятся тэц на общую мощность свыше 1000 MW, из которых наиболее мощные—Сталинская (Москва) в 250, Фрунзенская (Москва) в 150, М.-Нарвская (Ленинград) в 100, Ярославская в 77, Воронежская в 90, тэц Технологического института (Москва) в 60 MW.

Котельное хозяйство фабрично- заводских электростанций за годы восстановительного и реконструктивного периода обновилось, реконструировалось и выросло в соответствии с увеличивающейся мощностью турбин.

Однако гораздо большее значение и удельный вес как по мощности, так и по поверхности нагрева приобрели котельные крупных государственных районных станций. Общая мощность их котлов в соответствии с мощностью турбин была равна на 1 января 1932 г. 2300 MW с общей поверхностью нагрева 241 300 м². Из этого числа 83% было установлено в последние десять лет, между 1921 и 1931 гг., иными словами, общая поверхность нагрева котлов за время революции учтена (с 59 385 м² в 1916 г.), т. е. по существу главная масса нашего котельного оборудования является новой. Средняя поверхность нагрева котла грэс поднялась с 434 м² в 1916 г. до 806 м² в 1931 г. При этом в последние годы (1930—1931) свыше 55% (217 541 м²) котлов имели при давлении выше 20 ata среднюю поверхность нагрева около 1200 м², на ряде же новых станций средняя поверхность нагрева—1500 м² и выше (Игрэс, Зуевская, Харьковская и др.). Наибольшие устанавливаемые в настоящее время котлы имеют от 2000 до 3000 м² с производством 100—190 t/h⁸⁾.

По величине агрегатов мы еще не догнали САСШ, где уже освоены 500÷600-t котлы, однако по средней величине устанавливаемых единиц мы идем в ряду передовых стран.

По величине применяемого давления мы идем в ногу с Германией, отставая от САСШ, где уже довольно широко (20% по мощности) распространено давление 80÷100 at. В 1931 г. с давлением до 20 at у нас было установлено 43% котлов (по мощности), в Германии в 1930 г.—43,6% котлов. Котлы по мощности свыше 20 at у нас имеется 57% и в Германии 56,4%. Отдельные котельные имеют большие давления, как, например, 1-я Московская тэц—60 at, Березниковская тэц—64 at. В постройке находится тэц Технологического института (в Москве), некоторые котлы

которой будут иметь давление 130 at (системы Лифлера). Что касается до температуры перегрева, то на станциях СССР уже освоена температура 375 и 400° С (Штеровская, Зуевская, Иргэс, Донсода, Шатура и др.), однако в этом отношении мы еще отстали от САСШ, где в настоящее время уже освоены 475—500° С.

Большинство наших турбогенераторов также является новым, их возраст не превышает 10 лет. За время революции общая мощность паровых турбин увеличилась в 10 раз (с 216 MW в 1916 г. до 1969 MW в 1931 г.). Средняя мощность одной турбины возросла с 4,2 MW в 1916 г. до 13,6 MW в 1931 г. Общая мощность турбин выше 10 MW в каждой в 1931 г. была равна 73% от суммарной. При этом стандартной мощностью уже является 25 и 50 MW. Средняя мощность турбины, вступившей в эксплуатацию в 1931 г., выше 30 MW (27 турбин на общую мощность 821,2 MW). За первую пятилетку мы ввели в эксплуатацию 14 турбин по 44÷50 MW.

По средним мощностям мы идем впереди других стран мира, хоть не имеем еще тех рекордных агрегатов, которые установлены на станциях САСШ (208 и 160 MW) и Германии (100 MW)⁹⁾. Однако заводы СССР в Ленинграде и Харькове уже практически разрабатывают конструкцию турбин конденсационного и теплофикационного типов в 100 MW. Что же касается генераторов, то уже спроектированы и рассчитаны генераторы на 100 и 200 MW в одной единице и даже сделаны основные подсчеты для генератора 400 MW, что является предельной величиной при данном уровне техники.

До революции у нас существовала лишь небольшая сеть напряжением в 33 kV, соединявшая станцию „Электропередача“ с потребителями, а также 70-kV связь между этой станцией и Москвой.

За время революции до 1 января 1933 г. было сооружено 10 200 km высоковольтных передач (22÷161 kV), из них свыше 5 000 km на напряжение 115 kV, и созданы крупные энергетические системы, охватившие Московскую, Ленинградскую, Уральскую области, Донбасс, Горьковский край, Днепровский район.

При сравнении протяженности высоковольтных передач СССР с САСШ и Германией мы находимся в весьма невыгодном положении. В то время как САСШ в 1930 г. имели разветвленную сеть протяжением в 392 000 km (11÷220 kV) и Германия в 1929 г.—27 600 km (40÷220 kV), СССР, как указано выше, на 1 января 1933 г. имел всего 10 200 km. Однако, если учесть соотношение между протяженностью сетей и мощностью станций, то сравнение будет более благоприятно. В САСШ удельная протяженность сетей на 38 и 115 kV на 1 MW, установленный на станциях общего пользования, в 1928 г. была равна 8 km, в Германии для тех же напряжений в 1929 г. удельное протяжение составляло 3,26 km/MW, для СССР в 1932 г.—2,6 km/MW, а при учете мощности только грэс, работающих на эти сети,—3,25 km/MW.

⁷⁾ Самая мощная в мире—Березниковская тэц на 70 000 kW.

⁸⁾ В 1931 г. на Каширской станции были установлены величайшие в Европе три котла по 3 100 m², на Дубровской и Бобриковской станциях устанавливаются котлы по 2 500 m².

⁹⁾ В капиталистических странах наряду с единичными рекордами растет и количество вновь устанавливаемых сравнительно мелких агрегатов.

Таким образом по удельной протяженности сетей СССР приближается к Германии. В капиталистических странах конкурирующие электроснабжающие предприятия часто проводят по одному и тому же направлению несколько параллельных цепей, так что для равного количества потребителей в СССР может быть построено гораздо меньше передач, чем за границей. Однако эти данные все же показывают еще недостаточную разветвленность сетей СССР и ставят задачу скорейшего развития их.

Что касается напряжения передач, то в этом отношении СССР идет в ногу с европейскими странами, однако САСШ освоением 380 kV поставили себя впереди Европы.

Основные затраты на строительство электростанций производились по линии гре. Рост капитальных вложений в строительство последних из года в год шел быстрыми темпами: с 1925/26 г. по 1931 г. в среднем — на 38% в год. В абсолютном выражении эти вложения были равны: в 1925/26 г. 96,3 млн. руб., в 1926/27 г. — 153,4, в 1927/28 г. — 211,2, в 1928/29 г. — 303,3, в 1930 г. — 388, в 1931 г. — 465,3 млн. руб. По размерам ежегодных вложений СССР еще не догнал САСШ, которые в 1923—1927 гг. вкладывали в среднем 937 млн. долл. и за 1927—1931 гг. в среднем 725 млн. долл. По темпам же мы идем несравненно быстрее. За последние годы с 1928 г. рост капитальных вложений в САСШ приостановился, а затем в связи с кризисом стал снижаться. Так, в 1928 г. было вложено 800 млн. долл., в 1929 г. — та же сумма, в 1930 г. — 700 млн. долл. и в 1931 г. — 600.

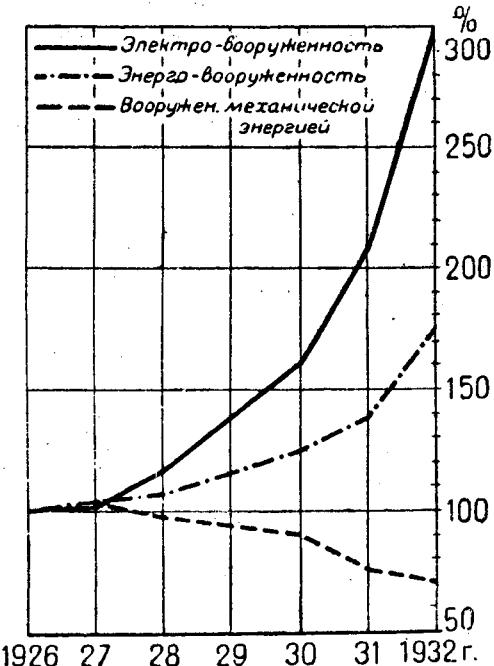
Средняя стоимость одного установленного киловатта обходилась СССР в 600 руб. (ориентировочно). Однако за последние годы мы имеем более низкие цифры. Так, в 1931 г. один установленный киловатт стоил на станции „Красный Октябрь“ (Ленинград) 432 руб., Ярославской — 412, на Каширской — 315, на Шатуре — 314, на станции им. Артема (Северный Кавказ) — 270 руб.

На лучших тепловых станциях САСШ стоимость одного установленного киловатта определяется в настоящее время суммой около $80 \div 100$ долл. и в Германии по тепловым — 300 марок, по гидростанциям — $500 \div 800$ марок.

Более дешевое строительство за границей объясняется большой механизацией строительных работ и более дешевыми строительными материалами, что связано с более высоким общим техническим уровнем передовых капиталистических стран.

Мощное развертывание электрификации в первые годы базировалось, главным образом, на импортном оборудовании, поскольку союзная электротехническая промышленность, хотя и закончила в 1924/25 г. свой восстановительный период, но была слишком слаба для того, чтобы удовлетворить в огромной степени возросший спрос, то же относится и к котлотурбинной промышленности.

Однако наша молодая электротехническая промышленностьросла огромными темпами. Она выполнила свою пятилетку в три года, увеличив объем продукции за это время в пять раз, и в 1931 г. вышла на третье место в мире. Котлотурбинная промышленность также одержала крупные победы на путях овладения новой тех-



Энерговооруженность труда в планируемой промышленности

никой. Уже освоено производство котлов давлением 33 at с температурой перегрева 425° С и поверхностью нагрева 2500 m^2 50-MW паровых турбогенераторов и заканчивается производственная и конструктивная подготовка для строительства 100-MW агрегатов. Сооружением гидрогенераторов в 62 MW для ДнепроГЭС СССР обогнал Европу и догнал крупнейшие заводы в САСШ. Освоено производство мощных трансформаторов на 115 kV и сверхвысоковольтного маслонаполненного кабеля на 220 и 380 kV, также не производящегося в Европе. За короткое время налажено производство сложных моторов электропечей, приборов, аппаратов и пр. для промышленности и электрификации железнодорожного транспорта.

Использование низкосортных топлив и гидроэнергии является одним из основных принципов энергетической политики планового социалистического хозяйства. В этом отношении за истекшие годы мы добились крупных успехов. Как известно, местное топливо в 1913 г. для энергетических нужд не применялось вовсе. Преобладающим топливом котельных были нефть (60%) и высококалорийный уголь (40%).

Наиболее старыми электростанциями являются у нас фабрично-заводские и мелкие городские общего пользования. Их оборудование было приспособлено для высокосортного топлива. Поэтому изменение топливного баланса на этих группах станций произошло в недостаточной степени. Так, еще в начале первой пятилетки на фабрично-заводских установках применялось 71,5% высокосортного топлива и лишь 28,5% местных энергетических ресурсов (3% гидроэнергии, 6,7% торфа, 5,8% топливных отбросов и 13% дров). На местных станциях общего пользования в 1928/29 г. производилось на привозном топливе 79,8%, в 1930 г. 70% и в 1931 г. — еще 66,8% общей продукции электрэнергии. Зато районные электростанции, удель-

ный вес которых за последние годы (с 1930) превышает роль первых двух групп, уже перенесли центр тяжести своего производства на использование местных топлив. В 1926/27 г. выработка грэс на привозном топливе была равна 61% от суммарной, в 1931 г. уже только 38% и за 1932 г. около 30%. Роль гидроэнергии в 1931 г. была еще невелика, всего 7,2%, но уже в 1932 г. в связи с пуском Днепровской грэс этот процент значительно увеличился—ориентировочно до 12. При этом на 1 января 1933 г. было установлено всего 396 MW. В постройке же в настоящее время находится гидростанций на вчетверо большую мощность—1572 MW, что, разумеется, в ближайшие годы сильно поднимет их удельный вес в производстве электрической энергии. Среднеизвестенный процент использования воды и местных топлив для всех электрических станций СССР в начале первой пятилетки был равен (ориентировано) 30%, а в 1932 г.—свыше 50%.

В САСШ при преобладании производства электроэнергии на топливе весьма значительна роль гидроэнергии. В среднем за последние годы (1927—1931) 35% электроэнергии производилось на гидростанциях. Что касается топливных станций, то распределение по видам топлив за последние годы было следующее: на угле производилось около 90% энергии, на нефти—3÷5% и остальное приходилось на высококалорийный газ.

В Германии по станциям общего пользования в 1930 г. имеем следующее распределение по оду используемых энергоресурсов: на каменном угле произведено 35% электроэнергии, на гидростанциях—17% и на буроугольных и торфяных станциях—47%, на газах—1%. По станциям фаб-

рично-заводским соответственные цифры будут: каменный уголь—36%, бурый уголь и торф—29%, газ—19%, вода—11%, нефть и пр. 5%. Среднеизвестенный показатель по всем станциям: на каменном угле—36%, на буром угле и торфе—38%; на гидростанциях—14% и на газах—8%, остальные 3% на прочих видах топлива.

Таким образом СССР по суммарному использованию низкосортных топлив и гидроэнергии для всех электростанций идет впереди САСШ и несколько отстает от Германии, районные же станции СССР опережают также и станции общего пользования Германии.

Коэффициент использования оборудования особенно ярко демонстрирует преимущества планового хозяйства СССР перед капиталистическими странами.

В то время как в 1913 г. количество часов использования на фабрично-заводских станциях было равно 1670, уже в 1925/26 г. этот показатель поднялся до 2180 час. и в 1931 г. до 2850. По станциям общего пользования еще в 1925/26 г. число часов было равным довоенному, но в 1931 г. оно поднялось до 3770.

Как видно из этих данных, значительный рост использования произошел по всем категориям электростанций, но в особенности этот рост велик по районным станциям, т. е. по группе, преобладающей как по мощности и производству электроэнергии, так и по дешевизне продукции. В 1925/26 г. коэффициент использования мощности грэс был равен 3025 час. и в 1931 г.—3920.

Сравнение по станциям общего пользования с данными передовых капиталистических стран дано в табл. 1.

Эти данные ярко демонстрируют наш все увеличивающийся обгон капиталистических стран. Еще в начале пятилетки мы были на уровне и даже несколько отставали от САСШ и Японии.

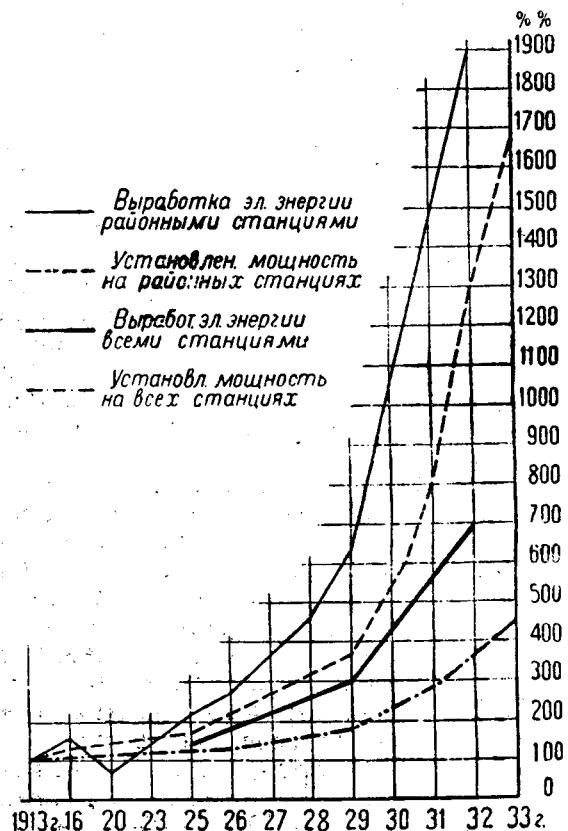
Таблица 1

Сравнение динамики коэффициента использования в СССР и в капиталистических странах (в часах по станциям общего пользования)

Страны	Годы					
	1925/26	1926/27	1927/28	1928/29	1930	1931
СССР	2 667	2 716	2 987	3 319	3 500	3 770
Грэс	3 025	3 031	3 381	3 627	3 750	3 920
САСШ	—	—	2 893	2 993	3 000	2 790
Германия	—	1 974	2 150	2 246	2 020	1 990
Англия	1 839	1 713	1 793	1 855	—	—
Франция	1 993	1 776	1 542	1 550	—	—
Япония	2 952	2 907	3 045	3 000	—	—
Италия	2 736	2 860	2 618	2 598	2 500	—
Бельгия	2 214	2 273	2 551	2 463	2 800	—

В 1931 г., если коэффициент СССР принять за единицу, то использование мощности в САСШ было соответственно равно $\frac{3}{4}$ и в Германии $\frac{1}{2}$.

По этому показателю мы также сделали за годы революции большие успехи. Сравнительные данные СССР и САСШ (табл. 2) говорят, что в области снижения удельного расхода топлива за



Рост электроэнергетической базы СССР

годы реконструктивного периода мы идем быстрее, чем САСШ, хотя по абсолютным величинам этого показателя еще несколько отстали.

Таблица 2

Сравнение удельного расхода топлива на 1 выработанный киловатт-час на станциях общего пользования СССР и САСШ¹⁰⁾

Страны и категории станций	Г о д ы						
	1926	1927	1928	1929	1930	1931	
СССР	Грэс	0,96	0,89	0,82	0,76	0,74	0,72
	Местные	1,32	1,32	1,24	1,17	1,15	1,15
	Средневзвешенный по станциям общего пользования	1,03	1,0	0,93	0,85	0,81	0,77
САСШ по станциям общего пользования	0,88	0,83	0,79	0,76	0,73	0,70	

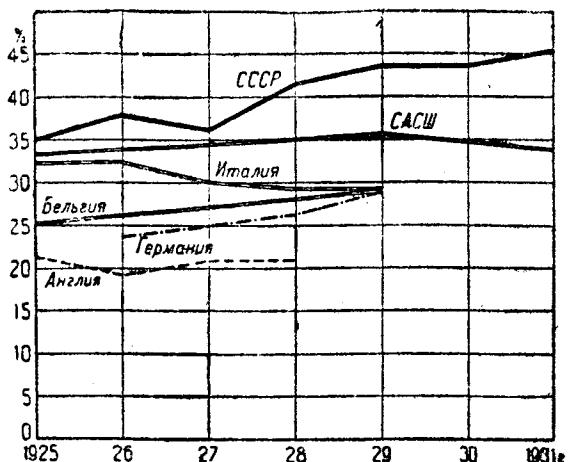
Наши лучшие конденсационные станции (Шатурская) расходовали в 1930 г. 0,6 kg/kWh. В Германии на рекордных лучших станциях расход снижен до 0,56 kg/kWh, в Англии на лучших станций—0,53 kg/kWh, в САСШ на 15 лучших станций расход равен всего 0,4 kg/kWh. На станциях Смис Мелоу, эксплуатирующей паротрубную установку, в 1932 г. удельный расход был равен 0,35 kg/kWh и, наконец, на одной из станций при коэффициенте нагрузки, равном 0,85, и котле на давление 85 at, достигнут мировой рекорд—удельный расход 0,3 kg/kWh, или к. п. д.—41%.

На наших комбинированных тэц мы имеем средний к. п. д. в 1931 г. равный 60% (при 15,5 на конденсационной грэс). К сожалению, удельный вес тэц еще недостаточно велик, чтобы оказывать решающее влияние на удельный расход топлива всех станций.

Себестоимость электроэнергии после революции по сравнению с дореволюционной резко снизилась. Средняя себестоимость на станциях общего пользования в 1913 г. была 13,5 коп. за 1 kWh. По более же крупным станциям, включенным потом в число районных, себестоимость была 7,2 коп. за 1 kWh. В 1923 г. эта себестоимость даже повысилась до 12,6. Но уже в 1925/26 г. себестоимость на шинах грэс упала до 5,63 коп. за 1 kWh. Далее, мы имеем следующий ряд: в 1926/27 г.—5,48, 1927/28 г.—4,20, 1929 г.—3,82, 1930 г.—3,56 и, наконец, в 1931 г. некоторое повышение—4,04 коп. за 1 kWh.

На местных коммунальных станциях себестоимость значительно выше. Так, по основной группе работающих городских станций, существовавших еще до 1927 г., себестоимость энергии в 1927/28 г. была равна 13,4 коп. за 1 kWh, в 1928/29 г.—11,4 и в 1930 г.—9,2.

По себестоимости электроэнергии за границей имеются лишь отрывочные единичные данные. Предпринимателю, предлагающему энергию по



Динамика коэффициента использования установленной мощности по станциям общего пользования

тому или иному тарифу, невыгодно раскрывать потребителю свои карты. Недаром руководители электрических компаний САСШ подняли такую яростную кампанию против американского посла в Германии Сейкта, выступившего на II Мировом энергетическом конгрессе (1930 г.) с заявлением, что тарифы электрических компаний САСШ в 15 раз превышают себестоимость электроэнергии.

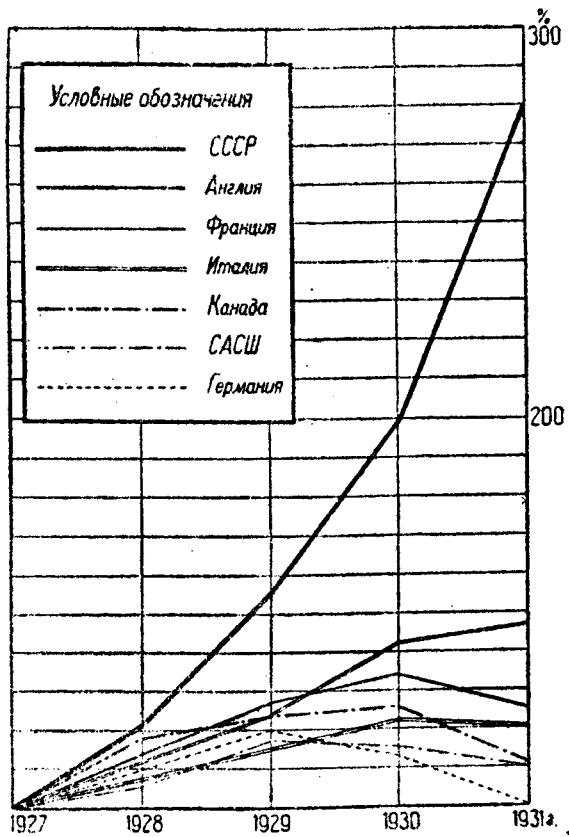
Для лучших тепловых станций Германии себестоимость электроэнергии определяется величиной около 3 пфеннигов за 1 kWh (1,5 ± 2 коп.), для электростанций САСШ с мощностью выше 100 MW себестоимость колеблется около величины в 1 цент за 1 kWh (2 коп.); на наших же лучших станциях в 1930/31 г. имеем такие же величины: на Штеровской (пылеугольная) 1,8 коп. за 1 kWh, Шатурской—2,2, Челябинской—2,35 и т. д.

Выше мы привели большое количество цифр, характеризующих развитие электрохозяйства СССР. Каков же принципиальный итог этих цифр, что получила страна за 15 лет пролетарской диктатуры и в том числе за первую пятилетку?

Страна получила, во-первых, новую электроэнергетическую базу, стоящую на уровне достижений передовых капиталистических стран. Это новое электрохозяйство превосходит дореволюционное по мощности генераторов в четыре раза, по производству электроэнергии почти в пять раз. Пролетариат создал, во-вторых, новую крупнейшую электротехническую промышленность как базу для электрификации, стоящую на третьем месте в мире и дающую продукцию, в 10 раз превосходящую по объему дореволюционную.

Как электротехническая промышленность, так и электрохозяйство в целом принадлежат трудящимся СССР, в то время как дореволюционная электротехническая промышленность и электрохозяйство больше чем на $\frac{4}{5}$ принадлежали иностранному капиталу. На основе развертывания мощной машинной индустрии СССР почти полностью избавился от иностранной зависимости, от той кабалы, в которой по уши сидела русская капиталистическая промышленность в отношении основного оборудования для производства и потребления электрического тока.

¹⁰⁾Что касается промышленных станций, то они в большинстве вследствие своей технической устарелости и малых мощностей приближаются по удельному потреблению топлива к городским станциям. Точных данных по всем промышленным станциям СССР, как и по САСШ, нет.



Темпы роста выработки электроэнергии в СССР и в крупнейших капиталистических странах

Мы создали, в-третьих, свои необходимые квалифицированные кадры, которые с успехом строят и эксплуатируют наши новые мощные электроприводы.

Наконец, по ряду важнейших показателей наше электрохозяйство и электротехническая промышленность не только догнали, но и перегнали Европу и даже промышленный колосс капитализма—САСШ.

Электроэнергия проникла в ранее отсталые районы страны, она создала там возможность наиболее эффективного и быстрого промышленного развития и непосредственного перехода от докапиталистических форм к социалистическим.

Крупная промышленность СССР уже на $\frac{3}{4}$ за- воевана электроэнергией. Последняя все более активно начинает охватывать также транспорт, сельское хозяйство и быт¹¹⁾. Вместо 10—12 kWh в год, приходившихся на жителя России в 1913 г., СССР имеет сейчас около 100 kWh.

В то время как капиталистические страны все глубже и глубже погружаются в трясину всеоб-

¹¹⁾ По электрификации транспорта, начавшейся лишь за последние три года, мы уже добились собственного производства электровозов и электрифицировали около 200 km железнодорожных линий (свыше 300 km в однопутном исчислении).

Мощность сельских станций поднята за время революции в 10 раз (с 5 до 50 MW), что является, однако, лишь началом будущего развития электрификации сельского хозяйства.

Бытовое потребление электроэнергии также возросло в четыре раза, но и здесь спрос еще весьма далек от удовлетворения имеющейся потребности.

шего кризиса и не только снижают строительство и производство, но, спасая свои капиталы, вложенные в предприятия, всемерно задерживают технический прогресс, СССР идет по пути мощно растущей индустриализации.

Однако на этих успехах нельзя успокаиваться. Перед нами стоит во второй пятилетке грандиозная задача завершения технической реконструкции всего народного хозяйства, важнейшим элементом которой является создание новейшей энергетической базы и освоение созданных в первой пятилетке предприятий. Освоение вновь введенных мощностей—такова главная задача электрохозяйства во второй пятилетке, вытекающая из исторических решений январского об'единенного пленума ЦК и ЦКК ВКП(б) и доклада т. Сталина на этом пленуме.

Во второй пятилетке должен быть осуществлен резкий поворот лицом к эксплуатации, к более эффективному использованию уже установленного оборудования. Коэффициент использования установленной мощности по всем станциям Союза равен в 1932 г. 3 400 час., или всего 38,4% годового времени. Эта цифра может и должна быть повышенена в ближайшие три-четыре года не меньше, чем до 55 + 60% ¹²⁾ (около 5 000 час.).

Использование топлива, т. е. к. п. д., также должно быть поднято. Только недостаточным освоением оборудования и недочетами организации топливоснабжения можно об'яснить тот факт, что мы по этому показателю даже на наших гидроэлектростанциях САСШ. В то время как в САСШ работает частью старое и маломощное оборудование, нас же на $\frac{3}{4}$ оно совершенно новое.

Наши потери на безвозвратные токи, на собственные нужды, на аварии также могут быть значительно снижены. Огромные возможности рационализации таятся также на участках потребления в направлении его планирования и регулирования лучшего использования моторов и трансформаторов, борьбы с потерями на многочисленных передачах и т. д.

Задача увеличения количества и повышения квалификации основных кадров работников энергетического хозяйства также стоит перед нами во весь рост.

Грандиозные задачи второй пятилетки потребуют для своего разрешения огромного напряжения сил и воли всего коллектива энергетиков нашей страны, потребуют упорной большевистской работы и борьбы на два фронта. Под руководством ленинского ЦК ВКП(б) во главе с т. Сталиным СССР выполнил первую пятилетку в четыре года, создал базу электромашиностроения и заложил мощные основы электрификации всей страны. Под этим же испытанным руководством СССР справится и с задачами второй пятилетки.

¹²⁾ Теоретическим пределом с учетом необходимого времени для ремонта при данном уровне техники является 7 000 ч или 80% годового времени.

ЗА ШИРОКОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭНЕРГИИ ВЕТРА ВО 2-й ПЯТИЛЕТКЕ

Современное состояние проектирования и опытного строительства крупных ветроэлектрических установок

Инж. Секторов В. Р.

Центральный ветроэнергетический институт

Возможности ветроэнергетики во второй пятилетке

Вторым пятилетним планом предусматривается дать Союзу десятки тысяч киловатт в виде мощных ветросиловых установок. История капиталистической техники не знает сколько-нибудь значительной попытки использования энергии ветра для стационарных энергоустановок. Социалистические условия хозяйства СССР позволяют устанавливать ветросиловые агрегаты в выгодных точках территории, что при малой концентрации ветровой энергии имеет большое значение. Присоединение их возможно на любом участке существующих электрических сетей. Кроме того, те же условия позволяют благоприятно комбинировать их работу с работой других электростанций, соединенных в одну электрическую систему, которая представляет резерв для ветросиловых установок.

Намеченная величина установленной мощности ветроэлектрических станций во второй пятилетке технически обоснована результатами подготовительной работы, проделанной за последние годы

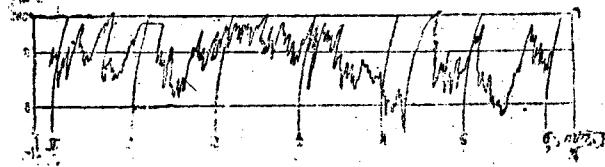


Рис. 1. Диаграмма скорости ветра за 6 кин.

нашими научно-исследовательскими учреждениями в области проектирования и опытного строительства¹⁾.

При крупнейших наметках электростроительства второй пятилетки ветроиспользование может дать значительный эффект лишь в случае применения крупных установленных единиц. Проектирование указывает на возможность строить в условиях Советского союза ветроэлектрические агрегаты мощностью в единице до 5 000 kW. Расчеты конструкции и эксплоатации агрегата этого типа подкрепляются опытом постройки и работы экспериментальной установки небольшой мощности, оконченной в 1931 г. на территории Крымской АССР, данные испытаний которой приведены ниже.

Объем проблемы строительства крупных ветроэлектрических установок

Проблема крупной ветрофикации включает в себя целый ряд вопросов, для решения которых является необходимой постройка опытных

установок средней мощности. Требуемый для нашего Союза мощный тип ветродвигателя обуславливает необходимость перехода от прежних многолопастных тихоходных ветряных колес к быстроходным двигателям с малым числом лопастей в целях снижения веса рабочего колеса большого диаметра. Большие окружные скорости крыльев быстроходных машин требуют в свою очередь применения специальных обтекаемых профилей лопасти для уменьшения аэродинамических потерь при работе в воздушном потоке. Ввиду малой плотности рабочей среды (свободного потока воздуха) геометрические размеры ветряных колес и опор для них принимают крупные значения, выдвигая важнейшую задачу экономии металла при максимальной прочности машины. Существовавшие ранее мелкие ветроэлектроустановки работают исключительно на постоянном токе и снабжены батареями аккумуляторов для питания потребителя во время безветрия. В крупных установках громоздкие батареи аккумуляторов отпадают, причем при работе параллельно с другими станциями постоянный ток должен быть заменен трехфазным.

Этот вопрос, в основном уже разрешенный на опытной станции в Балаклаве, требует дальнейшей технической проработки, особенно в области применения нормальных синхронных генераторов. Кроме того, установка должна быть полностью автоматизирована для уменьшения затрат на персонал, которые ввиду вынужденной разбросанности агрегатов могут иначе оказаться значительными.

Графики отдачи ветроэлектростанций

Рассмотрим некоторые особенности работы ветроэлектростанций.

Мощность станции колеблется в зависимости от изменения скорости ветра. При правильной эксплоатации и работе без аккумулирования нагрузка должна покрывать всю возможную отдачу агрегатов и следовать за ее изменением так, чтобы только избыточная непокрытая станцией часть нагрузки сети всегда передавалась на другие станции. Ввиду этого будем считать равнозначными термины „график нагрузки“ и „возможный график отдачи“ ветроэлектростанций. При синхронных генераторах выполнение этого условия потребовало бы для экономичной работы автоматического регулирования возбуждения, асинхронные же машины в первых установках имеют свойство самонагружаться при соответствующих оборотах до предела мощности первичного двигателя, не требуя регулирования. Агрегаты станции могут быть установлены друг от друга не ближе 10-кратного диаметра их ветряных колес, иначе аэродинамическая тень крыльев одного агрегата будет препятствовать другому вполне использовать поток воздуха. Скорость воздуш-

¹⁾ В области ветроиспользования работают: Центральный ветроэнергетический институт Газэнерго (ЦВЭИ) в Москве и Украинский институт промэнергетики в Харькове.

ного потока (рис. 1) имеет сильно пульсирующий по времени характер, и поэтому мощность агрегата также должна сильно пульсировать. Однако при увеличении числа параллельно работающих агрегатов суммарный кратковременный график их нагрузки приближается к прямой линии. Отношение максимума к минимуму, равное, например, 4,4 для пульсирующего графика нагрузки одного агрегата, при параллельной работе двух агрегатов (с рабочими колесами диаметром по 30 м и при расстоянии между ними в 200 м) заменяется отношением 1,92, а при работе трех агрегатов (при том же расстоянии)—1,8 (рис. 2).

Форма суточного графика нагрузки для данного места и времени года подчиняется закономерности, имеющей, однако, частые отклонения. Для большей части территории СССР зимний суточный график отдачи ветроэлектростанций будет ровнее и выше летнего. На рис. 3 даны средние суточные графики нагрузки Балаклавской опытной ветроэлектростанции за март и август 1931 г. Годовой аэрологический режим более закономерен и дает меньше исключений (рис. 4). Годовая выработка энергии определялась по аэрологическому режиму места и рабочим характеристикам агрегатов, но может быть также определена и приближенно, теоретически, если известна среднегодовая скорость ветра местности по способу определения повторяемости скоростей ветра, данному М. Поморцевым. По этому способу получается некоторая

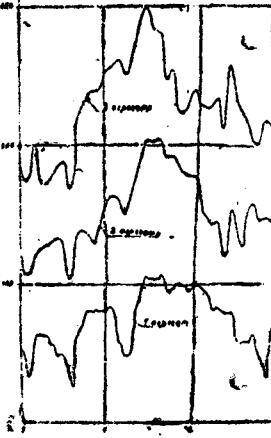


Рис. 2. Графики отдачи одного, двух и трех ветроагрегатов

длительность на ветроэлектростанциях колеблется от 2000 до 3500. Это число диктуется величиной установленной мощности агрегата, выбиравшейся для данной местности и для данного диаметра рабочего колеса на основе экономических соображений.

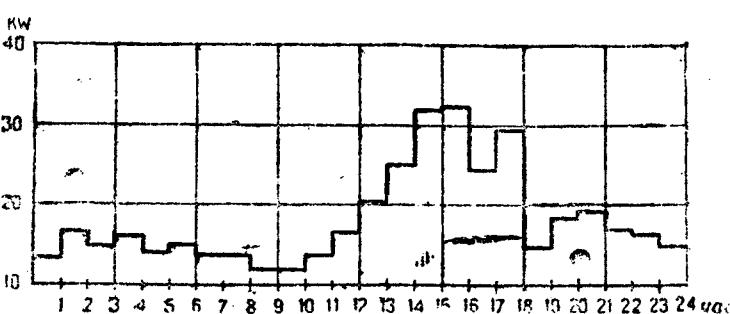
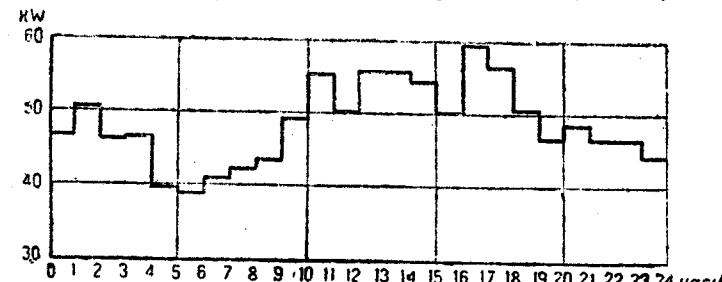


Рис. 3. Суточные графики нагрузки агрегата № 1 Балаклавской ветс. Средняя расчетная выработка электроэнергии за март 1931 г. 36 015 kWh(верх); средняя выработка электроэнергии за август 1931 г. 13 400 kWh(низ).

ошибка в определении графика мощности станции (рис. 5), и суммарная ошибка в годовой выработке энергии в сторону ее уменьшения доходит до 30% в зависимости от расчетной скорости ветра. Число часов использования установленной мощности

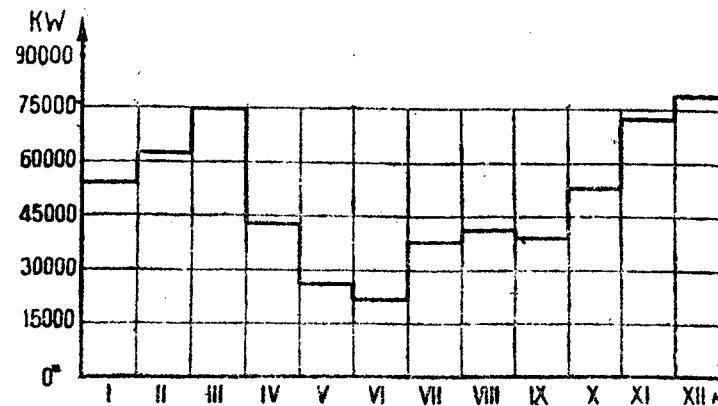


Рис. 4. Годовой график нагрузки Балаклавской ветс 3x100 kW в средневетреный год (годовая норма отдача 600 000 kWh). По результату испытаний агрегат № 1 при $n = 30$ об/мин

на ветроэлектростанциях колеблется от 2000 до 3500. Это число диктуется величиной установленной мощности агрегата, выбиравшейся для данной местности и для данного диаметра рабочего колеса на основе экономических соображений.

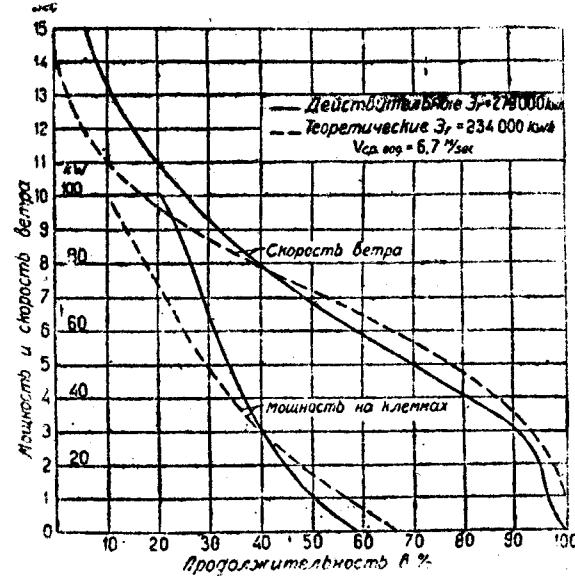
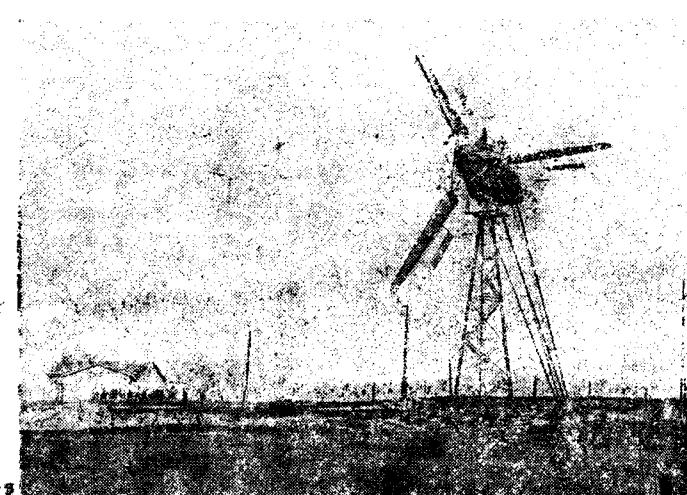


Рис. 5. Продолжительность скоростей ветра и мощности за 1931 г. на Балаклавской ветс

Испытания опытного агрегата № 1 Балаклавской станции

Агрегат № 1 (рис. 6)пущен в ход в мае 1931 г. Двигатель быстроходный, трехлопастный, с саморегули-



рующимися и самоустанавливающимися лопастями, мощностью 180 л. с. Диаметр рабочего колеса—30 ш, число оборотов в минуту крыльев—30,

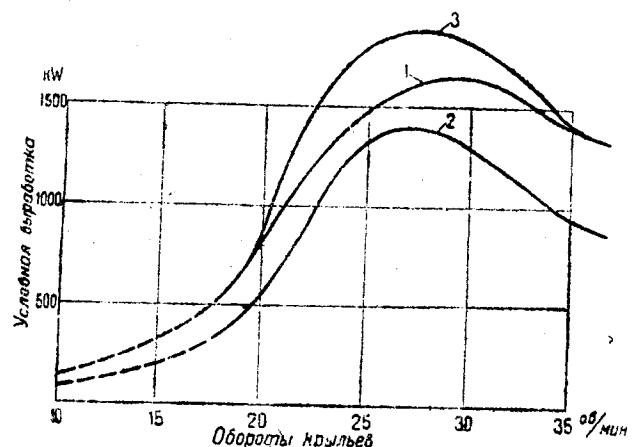


Рис. 7. Расчетные кривые выработки для выбора числа оборотов:
1—скорость ветра $V_{cp} = 5,2 \text{ м/сек}$ по записям анемографа за 1930 г.;
2—скорость ветра по Поморцеву $V_{cp} = 5,2 \text{ м/сек}$;
3—то же для $V_{cp} = 5,75 \text{ м/сек}$

асинхронный генератор на 93 kW при $\cos\phi = 0,84$, 600 синхр. об/мин допускает благодаря хорошим условиям охлаждения постоянную перегрузку в 10%. Станция работает параллельно с Севастопольской паротурбинной электростанцией и подает энергию в городскую сеть под напряжением 6300V²). Асинхронный генератор выбран из опасения затруднения с работой синхронного генератора ввиду имеющейся на холостом ходу некоторой неравномерности вращения двигателя и отсутствия экспериментальных данных, проверенных в лаборатории. Быстроходность двигателя измеряется отношением окружной скорости конца лопасти к скорости ветра, т. е. $Z = \frac{\omega R}{v} = 4,75$.

Число оборотов двигателя и установка регулирования для наивыгоднейшего режима работы, при котором выработка энергии получается максимальной, найдены следующим методом:

Производился пересчет расчетных характеристик крутящего момента M/Z или к. п. д. ξ/Z типа кривых рис. 9 на характеристики мощности P/v путем подстановки в основную формулу мощности

$$P = C \cdot R^2 \cdot v^3 \cdot \xi \quad (1)$$

значений

$$\xi = C_1 M Z \quad (2)$$

$$Z = \frac{\omega \cdot R}{v}, \quad (3)$$

где R —радиус рабочего колеса ветряного двигателя;

ξ —коэффициент использования энергии ветра (аэродинамический к. п. д. лопастей);

v —скорость ветра в м/сек;

ω —угловая скорость лопасти;

M —относительный крутящий момент двигателя;

C, C_1 —постоянные коэффициенты,

находим

$$P = C_2 \cdot v^3 \cdot \omega \cdot M. \quad (4)$$

По характеристикам M/Z , соответствующим различным углам установки лопасти к плоскости вращения колеса при разных v , определяется мощность на крыльях двигателя для разных постоянных оборотов крыльев ($\omega = \text{const}$). Практически это означает или выбор другого числа оборотов генератора, или изменение передаточного числа зубчатой передачи, передающей мощность от ветряного колеса к генератору.

Задаваясь величиной механических потерь в передачах и к. п. д. генератора, находим соответствующие мощности на бортах генератора. Далее, для предполагаемого аэрологического режима места находим величины годовой выработки энергии для разных оборотов и установок регулирования в виде суммы произведений продолжительности скоростей ветра на соответствующие мощности по характеристикам P/v . Результат представлен кривыми выработки (рис. 7), причем было отдано предпочтение кривой 1, где аэрологический режим быть взят по записям скоростей ветра измерительного прибора, установленного на станции с 1929 г. Эта кривая имеет максимум при $n = 30$ об/мин. Для определения экономически выгодной установленной мощности для станции эксплуатационного значения следует продолжить расчет до выяснения стоимости энергии при разных режимах работы крыльев и разных установленных мощностях генератора.

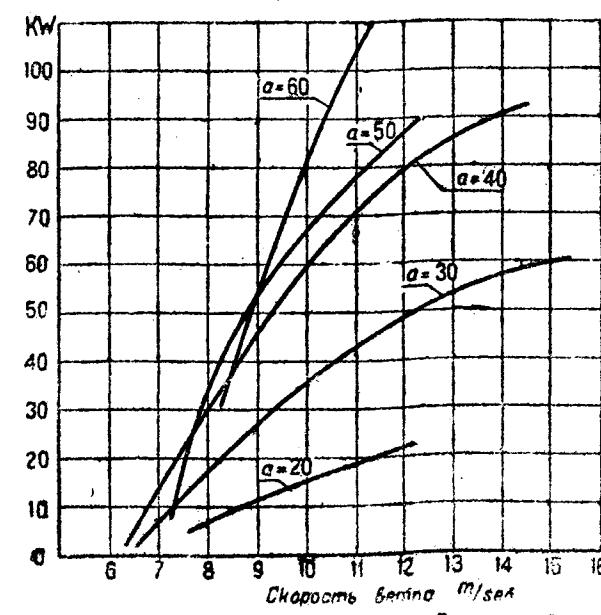
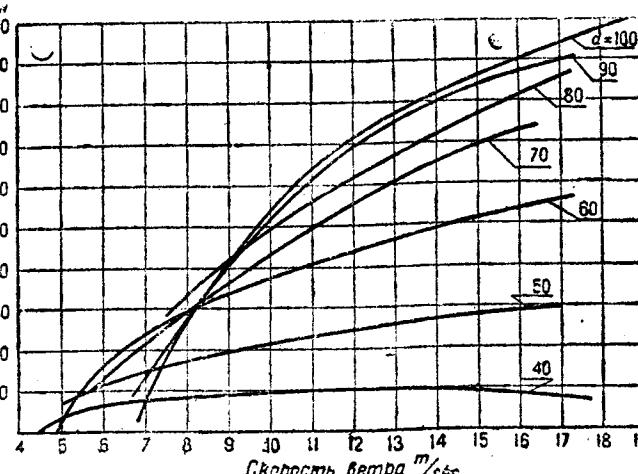


Рис. 8. Опытные характеристики агрегата Балаклавской вэс
Нижняя при $a = 10$ об/мин;
Верхняя при $a = 30$ об/мин.

²) Подробное описание станций см. в журнале „Электричество“.

Испытания опытного агрегата № 1 производились при различных установках регулирования двигателя: на 19 и на 30 об/мин крыльев. Как и предполагалось расчетом, режим работы при 30 об/мин оказался значительно экономнее. Снятые рабочие характеристики даны на рис. 8, причем по мощности результаты получены немного выше расчетных. При 30 об/мин и установке регулирования, условно обозначенной на рис. 8 $a=60$, была запроектирована мощность 100 kW при скорости ветра $v = 12,1$ m/sec. Эта же мощность получена при испытаниях при $v = 11,0$ m/sec. Перестроенные из опытных рабочих характеристик аэродинамические характеристики крыльев ξ/Z представлены на рис. 9. Наилучший к. п. д. крыльев $\xi = 0,242$ получен при быстроходности $Z = 4,75$.

Небольшая величина ξ , которая у других двигателей этого типа по испытаниям в лаборатории превышает 0,35, объясняется выбранной малой шириной лопасти для облегчения веса рабочего колеса и увеличения равномерности хода, а также некоторым несовершенством выполнения лопастей и сильно помятой их обшивкой из 4 kg кровельного железа вследствие большого числа переделок, которым лопасти подверглись в монтажный период; это было учтено при расчете.

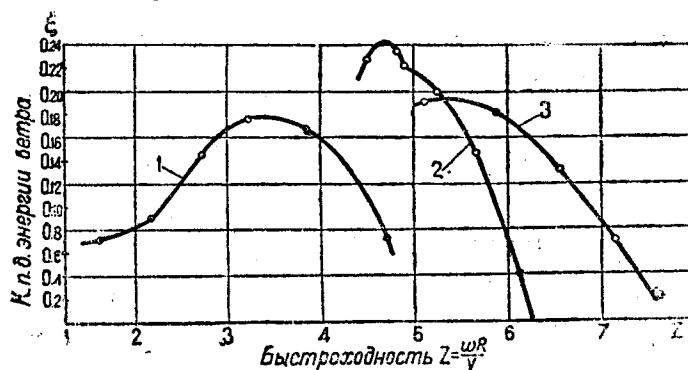


Рис. 9. Аэродинамические характеристики крыльев агрегата № 1 Балаклавской вэс
 1— $a = 90$; $n = 19$ об/мин
 2— $a = 60$; $n = 30$ об/мин
 3— $a = 40$; $n = 30$ об/мин

Кроме того, можно надеяться, что дальнейшие испытания агрегата при других режимах регулирования дадут увеличенные значения ξ .

Метод снятия рабочих характеристик был избран следующий: для измерения брались средние 20-минутные значения отдаваемой в сеть мощности на низкой стороне повысительного трансформатора 220/6 300 V. Среднее значение мощности определялось по разности показаний счетчика киловатт-часов и проверялось записью регистрирующего ваттметра. Средняя скорость ветра за тот же промежуток времени в 20 мин. измерялась на мачте на высоте 25 м, соответствующей центру ветряного колеса агрегата в расстоянии 50 м от него. Скорость ветра вычислялась по записи регистрирующего анемометра Фусса с электрическим контактом через 500 м пройденного ветром пути. Испытания не производились при направлениях ветра NE, E, SE, при которых аэродинамическая тень ветряного колеса могла заслонять собой анемометр. Запись мощности за 7 мин. дана на рис. 10.

Эксплуатационные испытания выявили вполне удовлетворительную работу агрегата и автоматического устройства, производящего операции

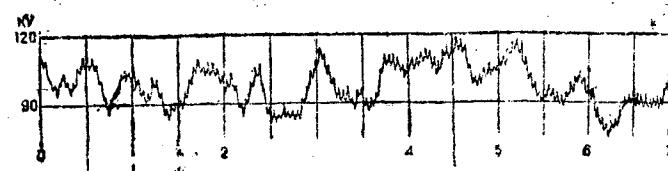


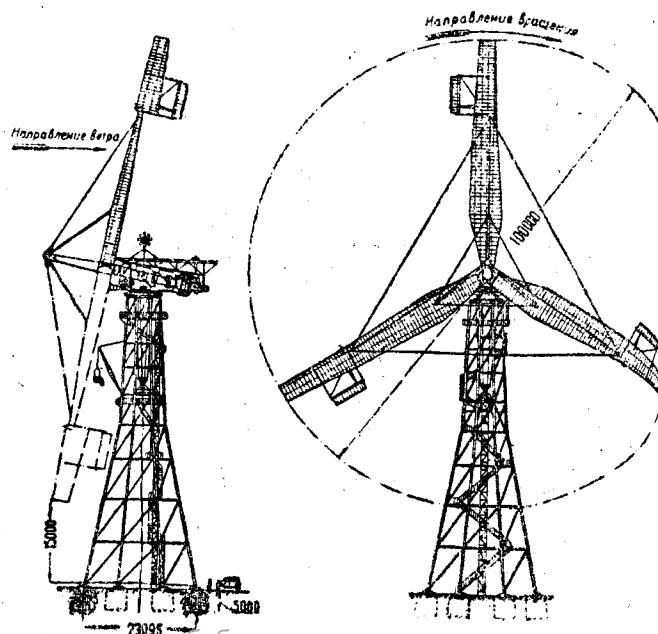
Рис. 10. Запись мощности агрегата № 1 Балаклавской вэс

включения генератора, выключение его и установку агрегата против ветра при изменении его направления.

В настоящее время на Балаклавской опытной станции ведутся работы по ее расширению. В течение 1983 г., чтобы выполнить дальнейший план работ, необходимо установить два агрегата по 100 kW видоизмененной конструкции с доведением общей мощности станции до 300 kW. Расширение имеет целью освоение эксплоатации ветроэлектрических станций и проведение ряда новых испытаний. Годовая выработка одного агрегата в 100 kW при среднегодовой скорости ветра $V_{ср} = 5,75$ m/sec ожидается в 200 000 kWh в средневетреный год.

Эскизный проект агрегата на 5 000 kW

По заданию Главэнерго Ветроэнергетический институт закончил эскизный проект сверхмощного ветроэлектрического агрегата (рис. 11). Рабочее колесо ветродвигателя диаметром 100 м имеет три лопасти. Высота опорной башни агрегата — 65 м. Лопасти — саморегулирующиеся с поворотной частью стабилизаторного типа на протяжении одной трети длины. Модуль быстроходности $Z = 4,75$. Число оборотов крыльев $n = 12$ об/мин выбрано из экономических соображений. Мощность передается редуктором от ветряного колеса на два генератора мощностью по 2500 kW каждый, причем второй включается лишь при перегрузке первого. Генераторы — асинхронные на 6 600 V при 600 об/мин и $\cos \varphi = 0,87$. Как вариант возможно применение синхронных генераторов, однако, только после проведения соответствующего эксперимента.



лаборатории⁸). Полная мощность 5 000 kW за-проектирована при скорости ветра $v = 16,5 \text{ m/sec}$ при ожидаемом $\xi_{\max} = 0,32$. Из экономических соображений установленная мощность агрегата рассчитана на ветровые условия Мархотского перевала (район Новороссийска), одного из лучших районов для использования ветроэнергии, где среднегодовая скорость ветра $V_{sp} = 9,5 \text{ m/sec}$; соответствующая среднегодовая скорость для высоты 65 м над землей предполагается равной 11,5 m/sec.

В сверхмощном агрегате обращает на себя внимание его вес, достигающий вместе с опорой 600 т. Проанализируем величину расхода металла, требующегося для сооружения ветроэлектростанций по сравнению с другими силовыми установками. Повышенная затрата металла и сложность механической обработки деталей, если бы таковая имела место при постройке ветроэлектростанций, явилась бы тормозом к их распространению.

Табл. 1 показывает, что по весу потребного металла, приходящегося на 1 установленный kW, ветроэлектростанции могут быть выгоднее гидростанций. Вследствие более низкого использования установленной мощности, в среднем 3 000 час. картина затраты металла ветроэлектростанциями на 1 kWh выработанной энергии менее благоприятна, чем для крупных гидростанций, использование которых дойдет у нас до 6 000 час. Однако здесь следует иметь в виду возобновляемость энергии ветра, вследствие чего, несмотря на больший расход металла, чем того требуют теплостанции, сжигающие горючее, ветроустановки следуют предпочесть тепловым в районах

№ по порядку	Род силовой установки	Вес металла kg		Таблица 1	
		на 1 уста-новленный kW	на 1 kW в год	Расход условного горючего в kg на 1 kWh в год	Число часов ис-пользования уста-новленной мощ-ности
1	Паротурбинные установки (ед. 16 000 kW) ⁴	65	0,015	2 700	4 500
2	Гидроэлектростанции (районные) ⁵	180	0,030	—	6 000
3	Ветроэлектрические установки (агрегаты по 5 000 kW)	120	0,040	—	3 000
4	Локомобильные установки	220	0,070	3 500	3 000
5	Дизельные станции (средние мощности)	270	0,090	1 100	3 000

сильных ветров и недостаточной гидроэнергии. Дизельные и локомобильные установки по расходу металла не могут конкурировать с ветроэлектростанциями.

По простоте механической обработки ветросиловое оборудование намного превосходит паровое и примерно равноценно гидросиловому.

В предыдущей статье (см. „Электричество“ № 14, 1932 г.) были указаны районы, в которых местная ветроэнергия должна быть использована. Там же указан ряд схем комбинированной работы ветроэлектростанций с прочими энергоустановками, причем в этих районах на долю ветра может прийтись от 20 до 50% всего требуемого количества электроэнергии.

НОВЫЕ ПРОБЛЕМЫ УСТОЙЧИВОСТИ КРУПНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Технические преимущества и возможности быстродействующего выключения

Инж. Сазанов П. И. и инж. Кантор Р. ВЭИ

Быстродействующее выключение и обеспечивающие его выключатели и реле начинают широко применяться в мощных электрических системах Америки. Используемое для увеличения устойчивости параллельной работы быстродействующее выключение обнаружило перед обычным выключением целый ряд технических преимуществ и, следовательно, должно найти широкое применение в советских сетях, особенно в связи с созданием единой высоковольтной сети Союза. Таким образом, ознакомление с преимуществами и возможностями быстродействующего выключения должно представлять несомненный интерес для широких кругов электриков.

Материалами для работы послужили: а) основные работы ряда американских инженеров (Evans, Mccez Zure, Summers и др.), посвященные вопросам устойчивости, б) расчеты устойчивости новейших американских и советских электрических систем (Fifteen Mile Falls, Урало-Кузбасс, Свирь и др.), с) теоретические расчеты устойчивости сверхмощных передач на большое расстояние (работы лаборатории высоковольтных сетей ВЭИ), д) исследовательские, эксплуатационные и фирменные данные о быстродействующей коммутационной и защитной аппаратуре.

Основная схема для исследования быстрого выключения и ее оценка.

Быстродействующее выключение является одной из мер увеличения устойчивости системы, эффективность которой может колебаться в чрезвычайно большом диапазоне. Строго говоря,

⁸ Хотя имеется пример удовлетворительной эксплуатации (в Америке) гидроэлектрических установок мощностью выше 10 000 kW с асинхронными генераторами.

даже само понятие быстродействующее не укладывается для всех возможных действительных систем в какую-то одну цифру. В этом смысле очень важную роль играет соотношение констант инерции начала и конца системы.

Действительно, благодаря инерции вращающихся масс роторы машин при динамических нарушениях режима не сразу достигают новых угловых положений или выпадают из синхронизма. Для этого нужно время, зависящее от периода собственных колебаний системы, которое в свою очередь зависит от констант инерции системы и ее синхронизирующей мощности. Эта зависимость легко выводится из условий электромеханических колебаний по аналогии с колебаниями в чисто электрической цепи, содержащей емкость и самоиндукцию. При этом демпферным действием и потерями пренебрегают, и колебания ограничиваются прямолинейной частью характеристики мощности. Зависимость эта для станций, работающих на шине большой мощности, такова:

$$\tau = 2 \pi \sqrt{\frac{M \cdot Z}{E \cdot V \cdot \cos \theta}} \cdot 314 \text{ секунд.}$$

В этой формуле $\frac{E \cdot V \cos \theta}{Z}$ есть синхронизирующая мощность, которой обладает станция по отношению к шинам большой мощности. Z — эквивалентный реактан⁹ связи между

⁹ Без учета веса металла, требующегося на устройство подъездных путей и подвижной состав для транспорта топлива.

¹⁰ Из сборника по генплану электрификации о гидростанциях, строящихся во второй пятилетке.

шинами большой мощности и внутренней э. д. с. станции и M — константа инерции машины. Эта формула справедлива и для системы „генератор-синхронный мотор”, только вместо напряжения на шинах большой мощности V войдет в э. д. с. синхронного мотора, а в реактанц Z следует включить переходный реактанс синхронного мотора. Константа инерции M определяется по формуле: $M = \frac{M_1 \cdot M_2}{M_1 + M_2}$, где M_1 и M_2 — константы инерции станции и синхронных моторов.

Из приведенной формулы очевидно, что при прочих равных условиях, чем больше константа инерции машин, тем больше период t собственных колебаний системы.

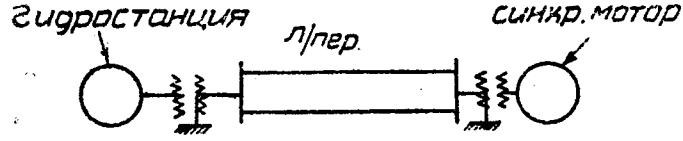


Рис. 1. Американская схема передачи, типовая в смысле устойчивости системы

В какой же связи с вышеизложенным находится эффект быстродействующего выключения? Так как для достижения максимальных значений в угле или для выпадения из синхронизма в случае неустойчивости нужен известный промежуток времени, то быстрой ликвидацией аварии и, следовательно, значительным восстановлением нормальной отдачи мощности можно добиться значительных улучшений в устойчивости системы. После сказанного о потребном времени для выпадения из синхронизма ясно, что существует некоторое предельное критическое время выключения, различное для различных систем, выше которого идет мертвая зона, а ниже зона влияния времени выключения на устойчивость. Этим критическим временем является время, потребное на достижение максимального угла или такого, при котором выключение уже не сможет спасти систему от выпадения из синхронизма. Критическое время выключения в сильной степени зависит от констант инерции системы. Чем больше эти последние, тем больше и критическое время. Критическое время выключения для теплостанции при прочих равных условиях будет в

$$\sqrt{\frac{M_{\text{тепл}}}{M_{\text{гидр}}} = \sqrt{\frac{16}{696}} = 1,65 \text{ раза больше, чем для гидро-}}}$$

ростанций, следовательно, одинакового эффекта в увеличении устойчивости системы, состоящей в одном случае из теплостанции и синхронного электродвигателя, а в другом — из гидростанции и синхронного электродвигателя, можно при прочих равных условиях достигнуть, применив различное время выключения; если для гидростанции необходимо время выключения 0,2 сек., то для теплостанции при том же самом эффекте достаточно $0,2 \cdot 1,65 = 0,33$ сек. и, наоборот, при одном и том же времени выключения эффект на устойчивость будет выше для теплостанции и меньше для гидростанции.

Как видно из дальнейшего, на эффект быстродействующего выключения влияет ряд факторов, в том числе схема коммутации системы и ее параметры, т. е. эффект быстродействующего выключения в той или другой системе есть величина сугубо индивидуальная. Однако задача, возникающая при выборе схемы, заключается в том, чтобы выделить схему наиболее типичную и наиболее характерную с точки зрения устойчивости. Такой схемой в американских расчетах принята схема передачи, изображенная на рис. 1.

В этой схеме синхронный мотор является эквивалентной машиной, к которой приведена стальная система, состоящая вообще из ряда станций, нагрузок и связывающих их сетей, и такой эквивалентный синхронный мотор обладает поэтому большой константой инерции. Подобная схема по характеристике своего конца хотя и не может быть признана вполне практической и характерной в условиях наших действующих систем, однако она вполне приемлема для сравнительной оценки эффективности отдельных мер увеличения устойчивости. Для целей исследования указанная схема широко применяется американскими инженерами. Более типичной и приемлемой для первого приближения является схема рис. 2.

Здесь станция посылает мощность по длинной линии в сеть бесконечной мощности. Шинам бесконечной мощности соответствует станция бесконечно большой инерции. Эта схема нашла широкое применение в нашей практике. При переходе к действительности конец системы в большинстве случаев может быть заменен эквивалентной станцией с конечной константой

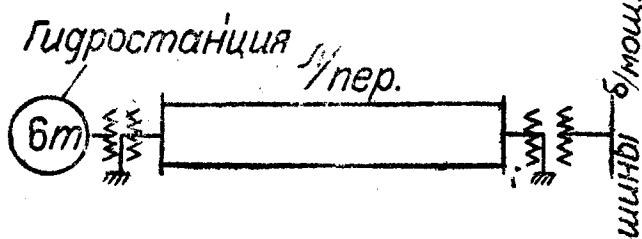


Рис. 2. Вариант схемы по рис. 1

той инерции. В зависимости от того, будет ли при аварии машина эквивалентная станция тормозиться или ускоряться (возможно то и другое), эффект от быстродействующего выключения будет соответственно меньше или больше такового при шинах бесконечной мощности.

Анализируемые кривые

Для изучения влияния быстродействующего выключения на устойчивость обычно строят зависимость динамического предела мощности (т. е. мощности, могущей быть переданной по данной системе при аварии без выпадения из синхронизма) от времени выключения этой аварии. Мощность, которую можно устойчиво передать по данной линии передач

Эффект каскадного выключения

Таблица 1

Род и место короткого замыкания	Длина передачи, в км	T_m' максимум аварийной характеристики после выключения 1-го м. в.	T_m'' максимум при полном выключении поврежденной цепи	Коэффициент приближен, выключения с одного конца к полному включению	Коэф. запаса устойч. при одновремен. выключении в 0,3 сек. (0,25 сек ¹⁾)	Коэф. запаса при каскадном выключ. в	Коэф. запаса для одновремен. выключения в 0,15 сек (0,10 сек)
Однофазное на землю вблизи вольтных шин станции.	100	1,37	1,79	1,9	0,943	$K = \frac{T_m'}{T_m''}$ Коэф. запаса > 1	—
	200	1,25	1,635	1,675	0,976	Коэф. запаса > 1	—
Двухфазное на землю вблизи вольтных шин станции.	100	0,655	1,62	1,9	0,854	1	6,1
	200	0,583	1,5	1,673	0,896	1	5,2 ¹⁾

¹⁾ Коэффициенты запаса для $l = 200$ км при двухфазн. к. з. соответственно — 1 и 3,2 и получены: 1-й — при одновременном действии обоих м. в. в 0,25 сек., 2-й — при каскадном действии в 0,125 + 0,15 = 0,25 сек.

Таблица 2

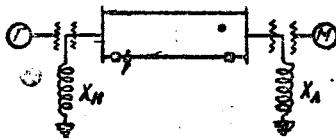
Увеличение динамического предела мощности при изменении времени выключения

Род короткого замыкания	Увеличение динамического предела мощности при переходе от критического времени выключения к 0,2 сек., в %
Однофазное на землю	33
Двухфазное	38,6
Двухфазное на землю	182
Трехфазное	60

землю применение быстродействующего выключения почти утраивает динамический предел мощности. Несмотря на сравнительно большую длину линии передачи и учитывая, что линия выключается полностью, все же эффект быстрого выключения и при однофазном коротком замыкании составляет заметную величину (33%).

Состояние нейтрали

Заземлена ли нейтраль наглоухо или через импеданс, эффект от быстродействующего выключения будет различен. Очевидно, что он уменьшается с увеличением сопротивления заземляющего импеданца. С ростом этого последнего умень-



MW

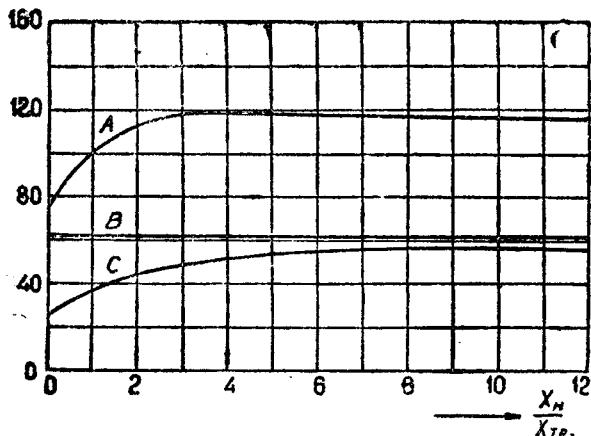


Рис. 6. Зависимость динамического предела мощности от реактанца заземления нейтрали.

Время выключения поврежденной цепи = 1 сек.
A—однофазное к. з. на землю
B—двуфазное к. з.
C—двуфазное к. з. на землю

шается снижающий эффект замыкания на землю, т. е. на пропускную способность системы и на сброс мощности машин. Ликвидация аварий в таких случаях по своему эффекту на систему будет все больше приближаться к обычному выключению одной из цепей линии передачи. Следует, конечно, иметь в виду, что по соображениям защиты от замыкания на землю и во избежание значительного повышения напряжения на нейтрали и здоровых фазах системы величину заземляющего импеданца ограничивают двух-или трехкратным значением от импеданца трансформатора ²⁾. Для иллюстрации снижающего действия заземляющего импеданца на эффект быстродействующего выключения обратимся к примеру. Схема системы та же, что и в предыдущем случае (рис. 4б). Однаковы примерно и их параметры. Длина линии передачи 260 км, мощность 120 MVA, напряжение 154 kV. Величина заземляющего импеданца 2 Z трансформатора. По результатам расчета устойчивости в такой системе построены кривые рис. 5 и 6.

2) Более детальный разбор вопроса о влиянии заземления нейтрали на величину динамического предела мощности в системе с двумя трансформаторами см. в специальной работе лаборатории. См. „Электричество“ № 13, 1932 г.

MW

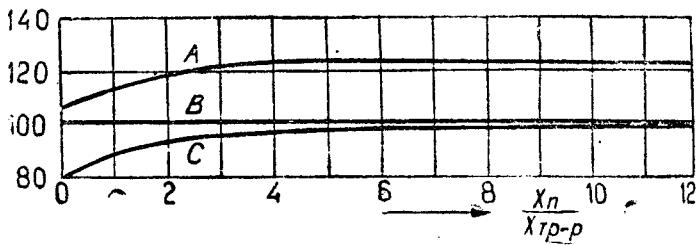


Рис. 6. Зависимость динамического предела мощности от реактанца заземления нейтрали

Время выключения поврежденной цепи = 0,2 сек.
A—однофазное к. з. на землю
B—двуфазное к. з.
C—двуфазное к. з. на землю.

На основании этих кривых составлена табл. 3.

Таблица 3

Выигрыш от быстродействующего выключения при разных способах заземления нейтрали

Род короткого замыкания	Время выключения = 0,2 сек	
	Выигрыш от быстродействующего выключения При глухо заземленной нейтрали в %	При заземленной нейтрали через двойной реактанц трансформатора в %
Однофазное на землю	40	6
Двухфазное	61,3	61,3
Двухфазное на землю	200	100

Из таблицы очевиден значительный снижающий эффект заземляющего импеданца на выигрыш, получаемый от применения быстродействующего выключения. Особенно это следует подчеркнуть для наиболее частого вида аварий, т. е. однофазных на землю, где эффект быстродействующего выключения при данных параметрах системы сведен почти до нуля.

Длина линии передачи

Чем мощнее система линии передачи и чем больше ее длина, тем больший вес реактанца линии в общем реактанце системы. В длинных и мощных двухцепных линиях (250—300 км) выключение одной из цепей (если они не секционированы) приводит к значительной потере мощности.

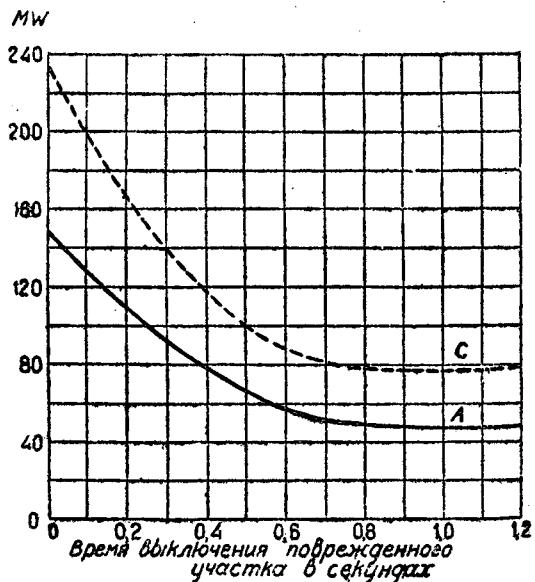
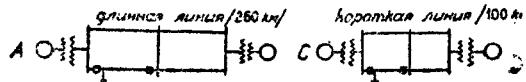


Рис. 7. Влияние длины линии передачи на эффект быстродействующего выключения

Авария: двухфазное к. з. на землю



Рис. 8. Влияние длины линии передачи на эффект быстродействующего выключения

Авария: однофазное к. з. на землю (см. схему рис. 7)

ционированы уже само по себе представляет значительное снижение пропускной способности системы, и вполне понятно, что быстрое выключение на такой линии сравнительно слабого однофазного короткого не может оказаться сколько-нибудь значительного эффекта. Однофазное короткое по своему влиянию на пропускную способность системы оказывается близким к простому выключению одной из цепей линии передачи. Таким образом чем короче линия передачи, т. е. чем меньше ее удельный вес в общем реактанце системы, тем больше будет эффект быстродействующего выключения на устойчивость (при прочих равных условиях).

Для иллюстрации влияния длины линии передачи на эффект быстродействующего выключения приведем пример передачи той же мощности и того же напряжения, но при длине линии в одном случае в 260 км, а в другом 100 км, т. е. различие в длине, достаточное, чтобы классифицировать эти линии как длинную и короткую. Соответствующие кривые представлены на рис. 7 и 8, на основании которых составлена табл. 4.

Таблица 4

Увеличение динамического предела мощности при изменении времени выключения

Род короткого замыкания	Увеличение в % динамического предела мощности при переходе от времени выключения = 1 сек. к 0,2 сек.	
	Длинная линия	Короткая линия
Однофазное на землю . . .	18,33	26,3
Двухфазное на землю . . .	113	126

Интерес представляют цифры, относящиеся к однофазному короткому замыканию. Для короткой линии эффект почти удваивается по сравнению с длинной линии, а эффект длины линии ослабляется с утяжелением аварии.

Роль секционирования линии передачи

После изложенного о влиянии длины линии передачи становится ясной и роль секционирования линии, чем как бы искусственно укорачивается ее длина и, следовательно, увеличивается эффект быстродействующего выключения. Интересно отметить зависимость между секционированием линии и быстродействующим выключением как меру повышения устойчивости. Секционирование как мера повышения устойчивости может рассматриваться вне связи с быстродействующим выключением лишь в том случае, когда без секционирования, особенно в сверхмощных передачах на далекое расстояние, уже простое выключение линии при полной нагрузке станции может привести к выпадению из синхронизма. Во всех остальных случаях секционирование без связи его с быстродействующим выключением не только не увеличит динамического предела мощности системы, но и может даже несколько снизить его, имея в виду увеличение токов короткого замыкания при секционировании. Однако и быстродействующее

выключение, особенно в условиях однофазного короткого замыкания при длинных несекционированных линиях, как видно из сопоставления табл. 1 и 2, не достигает заметного эффекта, который становится заметным лишь при секционировании. В этом своеобразии быстродействующего выключения как меры повышения устойчивости вскрывается одно из тех диалектических противоречий, которые являются основой развития всех процессов, в том числе и технических. Быстродействующее выключение вызвано большой длиной линии передачи, но с ростом длины линии эффект выключения на устойчивость начинает уменьшаться и при некоторой длине линии переходит в собственную противоположность, т. е. выключение связано с уменьшением устойчивости. Возвращаясь к секционированию, следует отметить, что для длинных передач помимо соображений устойчивости последнее вызывается просто эксплуатационной необходимостью и, таким образом, благоприятно разрешается то диалектическое противоречие, в которое впадает быстродействующее выключение на длинных линиях (порядка 400—800 км и выше).

Как показали расчеты Урало-Кузбасса и Свири, быстродействующее выключение (при условии секционирования данных линий) уже само по себе без применения каких-либо других мер способно разрешить затруднение с устойчивостью в системах. В условиях же обычного времени выключения система получается неустойчивой. Этим подчеркивается вся важность быстродействующего выключения как меры повышения устойчивости. Значительная роль быстродействующего выключения и в сверхмощных передачах на далекое расстояние. Как показали исследования таких передач в лаборатории высоковольтных сетей ВЭИ, быстродействующее выключение как единственная мера, хотя и не может разрешить вопроса устойчивости таких передач, как, например, 800 MW на 1 000 км, но

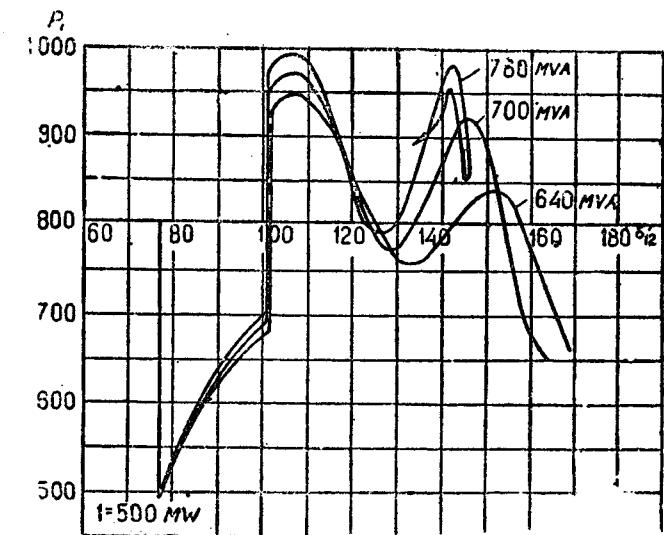
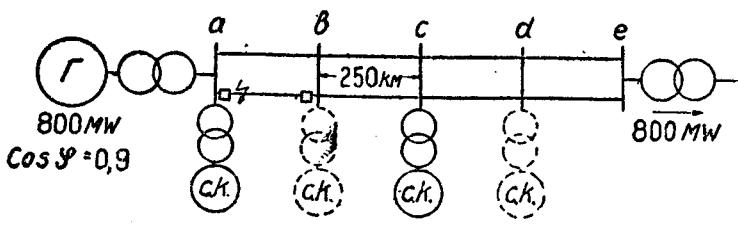


Рис. 9. Значение быстрого выключения системы (для схемы рис. 10) в результате секционирования

все же и без него затруднения с устойчивостью были бы необычайно тяжелы. Только в совокупности с промежуточными подстанциями с синхронными компенсаторами, снабженными улярным возбуждением, разрешается устойчивая передача при указанных длинах и мощностях. На рис. 9 ясно видно огромное значение быстрого выключения для упомянутой передачи, схема которой представлена на рис. 10.

Линия передачи разбита на четыре секции и при аварии выключается лишь одна четверть линии. Сравнивая зависимость мощности от угла, видим, что выключение аварии значительно увеличивает пропускную способность системы и тем самым оказывает значительный эффект на ее устойчивость.



Сравнение с другими мерами

Быстродействующее выключение как меру увеличения устойчивости интереснее всего сравнить с заземлением нейтрали через импеданс. В одном случае имеет место только быстродействующее выключение, в другом—только заземление нейтрали через двойной импеданс трансформатора (время выключения обычное). Пользуясь кривыми рис. 7 и 8, получим табл. 5.

Таблица 5

Увеличение (в %) динамического предела мощности при глухом заземлении и времени выключения = 1 сек

Род короткого замыкания на землю	Время выключения 1 сек. Нейтраль заземлена через двойной импеданс-трансформатора в %	Нейтраль заземлена на-глухо; время выключения 0,2 сек. в %	Нейтраль заземлена через импеданс; время выключения 0,2 сек. в %
Однофазное . . .	53,4	40	59
Двухфазное . . .	80	200	260

Из табл. 5 очевидно, что: 1) при однофазном коротком замыкании эффект от заземляющего импеданса несколько выше, чем от быстродействующего выключения, 2) при двухфазном на землю, наоборот, эффект быстродействующего выключения в 2,5 раза больше, чем от заземляющего импеданса, и 3) одновременное их применение дает суммарный эффект, превышающий эффект каждого из них, но превышение это весьма незначительное. Отсюда следует, что при совместном действии эти меры взаимно уменьшают друг друга.

К преимуществу быстродействующего выключения перед заземляющим импедансом следует отнести тот факт, что первый эффективен при всех видах короткого замыкания, в том числе и при междуфазовых, тогда как второй только при замыканиях на землю. Таким образом, несмотря на более высокую эффективность заземляющего импеданса при наиболее частых видах повреждений в системах, все же на первое место следует поставить быстродействующее выключение.

Быстродействующее выключение как необходимая предпосылка для других мер повышения устойчивости

В настоящее время предложен ряд мер, направленных к повышению устойчивости, которые своей непременной предпосылкой имеют быстродействующее выключение. Кроме упомянутого выше секционирования к таким мерам следует отнести однофазный резерв и резисторы.

Кроме повышения устойчивости быстродействующее выключение имеет ряд других преимуществ, как-то:

Чем быстрее ликвидируется авария, тем меньше шансов на ее распространение в системе и переход ее из легкого вида в более тяжелый.

Чем быстрее ликвидируется авария, тем меньше шансов на разрушительные последствия ее в аппаратуре системы. Следовательно, при применении быстродействующего выключения можно рассчитывать на меньший процент порчи оборудования от аварии.

Опасная величина возможных коммутационных перенапряжений в системе имеет своей причиной повторные зажигания дуги м. в. В быстродействующих выключателях вследствие сильной денонизации пространства и быстроты расхождения контактов после первого разрыва дуги повторные зажигания ее значительно ограничены, следовательно, возможный пик коммутационного перенапряжения будет значительно снижен при быстродействующем выключении.

Как известно из эксплуатационного опыта („Электроток“, Могэс), длительность аварий в системе и связанные с ней значительные качания машин способны внести расстройство в работу защиты.

Дело в том, что в системе, претерпевающей сильные колебания действительные условия для работы медленно действующей защиты (в особенности для дистанционной) могут резко различаться от таких условий, которые устанавливаются из общих расчетов режимов коротких замыканий для целей проек-

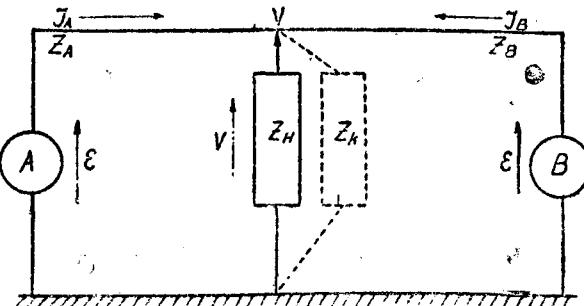


Рис. 11а. Схема сети

- a) Генератор 3-фазного тока, Z_H — нагрузка
- b) Векторная диаграмма для сети, симметричной относительно нагрузки Z_H .
- c) Векторная диаграмма для начального момента аварии (d, e, f). Последовательные положения векторов в процессе изменения.

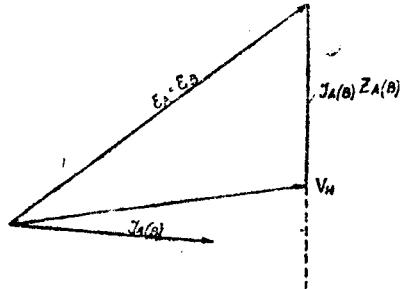


Рис. 11б

тирования защиты. В этих расчетах не учитываются электромеханические колебания и вызываемые ими уравнительные токи. Последние могут оказаться настолько большими, что селективность действия защиты будет нарушена. Для пояснения этого обратимся к схеме рис. 11а.

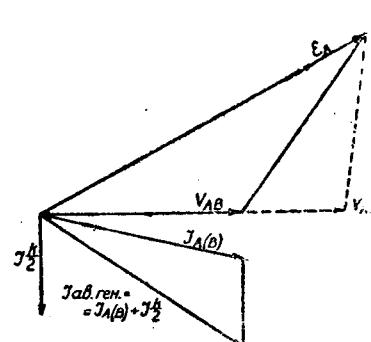


Рис. 11с

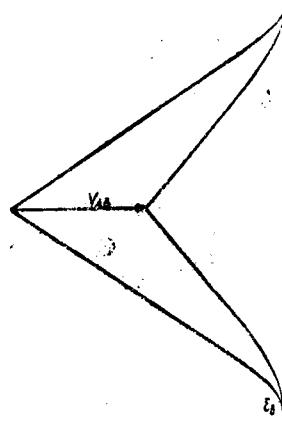


Рис. 11д

Здесь A и B — генераторы трехфазного переменного тока, работающие параллельно на нагрузку Z_H . Предположим, что системы A и B совершенно симметричны по отношению к нагрузке Z_H ; тогда векторная диаграмма напряжений получится по рис. 11 б. Предположим теперь, что в месте нагрузки произошло короткое замыкание. Инсценируем его эквивалентным шунтом Z_K . Пренебрегая омическими составляющими, можно рассматривать ток короткого замыкания как чисто реактивный ток, накладывающийся на ток нагрузки; следовательно, векторная диаграмма напряжения и э. д. с. в начальный момент аварии получается по рис. 11 с. При резком различии в константах инверции системы A и B векторы A и B будут расходиться. Последовательные положения их в процессе качаний изображены на рис. 11 д, е, ф.

В условиях, тяжелых коротких замыканий векторы систем A и B в процессе качаний могут занять положение по рис. 11 т. е. разойтись на 180° . Такое их положение равносильно наименее тяжелому трехфазному короткому замыканию на удвоенное напряжение системы, т. е. ток короткого замыкания

$$\frac{2 \cdot E \cdot A(B)}{2 \cdot Z \cdot A(B)} = \frac{E \cdot A(B)}{Z \cdot A(B)}$$

Напряжение у нагрузки в процессе качаний претерпевает изменение от V_{ab} до 0. Если возникшая в системе авария имела вид однофазного короткого замыкания в каком-то определенном месте последней, то при расхождении векторов на 180° авария переходит в полное трехфазное короткое замыкание системы A на систему B . Если эта трансформация аварии происходит в течение выдержки времени реле обратной мощности, то

Недостатки быстродействующего выключения

Их по существу нет. Единственным возражением против быстродействующего выключения выставляется необходимость рвать более высокие значения токов, чем при обычном времени выключения, и будто бы связанное с этим утяжеление условий работы выключающих аппаратов. Но, как это будет выяснено дальше, это возражение не является правильным.

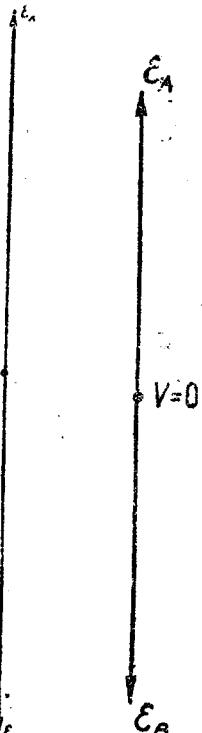


Рис. 11e

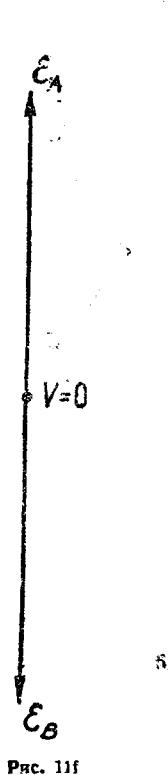


Рис. 11f

которыми обычно снабжается дистанционная защита, то следить вообще может отказать в селективной работе, так как авария уже не связана определенным местом в системе и все дистанционные реле находятся в одинаковом положении для их действия. Затронутый вопрос рассмотрен на упрощенной, мало реальной схеме. Однако при переходе к действительным системам принципиальная сторона дела остается в силе, и для этих последних различие будет лишь количественное.

Неселективность действия может иметь место не только при крайнем расхождении векторов, но и при промежуточных их значениях. В самом деле, дистанционные реле реагируют на определенную величину $Z = \frac{e}{i}$. По мере расхождения векторов э. д. с. токи в системе будут возрастать, сопровождаясь уменьшением напряжения в отдельных точках системы, т. е. величина $Z = \frac{e}{i}$ может настолько измениться, что появляет неселективность действия реле. Чем быстрее выключается авария, тем слабее будут протекать колебания в системе, тем меньше будут уравнительные токи и выше селективность работы защитных аппаратов.

Предотвращение выпадения промышленной нагрузки (остановка асинхронных двигателей)

С возникновением аварии напряжение на нагрузке в районе аварии изменяется скачком, уменьшаясь в зависимости от рода аварии на 20–40%.

Изменение напряжения в указанных пределах еще недостаточно, чтобы повлечь за собой остановку двигателя. Однако при качаниях по мере расхождения векторов э. д. с. системы происходит дальнейшее снижение напряжения у нагрузки. При тяжелой аварии и длительном ее существовании в системе расхождение векторов будет настолько значительно, что минимальные автоматы выключат нагрузку из сети, что в свою очередь поведет к увеличению избыточных моментов на роторах станций, к утяжелению их качаний. Быстрая ликвидация аварии и в данном случае явится радикальной предупредительной мерой против, безусловно, нежелательного выключения промышленной нагрузки.

Выключающие аппараты и схемы защиты быстрого действия

Процесс выключения аварии на высоковольтных линиях передачи распадается на три стадии: 1) выдержку времени защитного реле; 2) собственное время м. в., т. е. отрезок времени между возбуждением выключающей катушки и началом расхождения контактов, определяемое инерцией механического расцепления; 3) продолжительность горения дуги.

Применявшиеся до сих пор в наших сетях защитные реле (максимальные, дистанционные обычного выполнения, дифференциальные с промежуточными реле) имеют слишком большие выдержки времени ($0,5 \div 1$ сек.). Продолжительность горения дуги в выключателях обычной конструкции составляет $10 \div 30$ периодов. В совокупности полное время выключения аварии составит около $0,8 \div 1,5$ сек., т. е. время выключения, обеспечиваемое выключателями и реле, действующими в сетях, лежит за пределом влияния на устойчивость параллельной работы.

Быстродействующее реле

Наилучшим быстродействующим принципом, сохраняющим в то же время чувствительность и селективность действия, является дифференциальный. С некоторыми оговорками можно считать быстродействующей направленную дистанционную защиту. Вернее, она занимает переходное положение между быстродействующей защитой в полном смысле слова и защитой с небольшими выдержками времени.

В настоящее время находят широкое применение два типа быстродействующих реле: дифференциальное GEC и дистанционное Westinghouse. Их выдержка времени составляет $1 \div 2$ периода.

Быстродействующая дифференциальная (балансная) защита

Дифференциальный принцип осуществляется в виде серийного или параллельного баланса. Серийный баланс получается, когда защита работает на балансе токов начала и конца одной

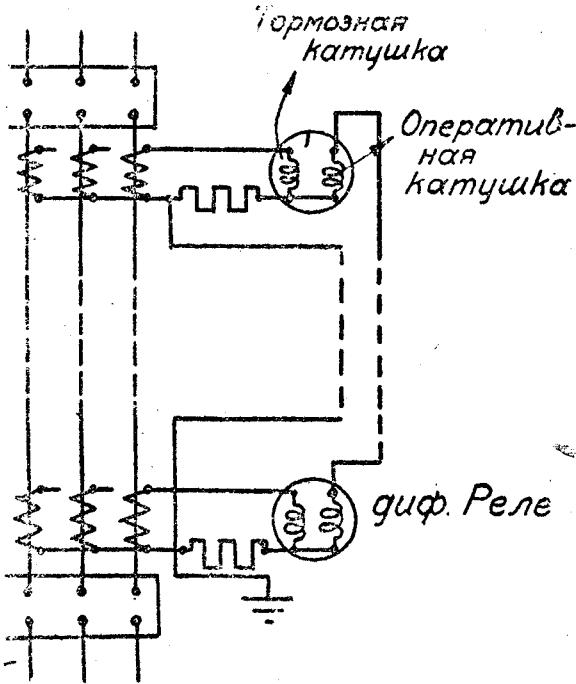


Рис. 12. Быстродействующая дифференциальная защита (серийный баланс)

и та же фаза называется катушкой (рис. 12). Здесь каждая цепь линии передачи защищается совершенно самостоятельной

Главные преимущества ее: 1) полная селективность действия. При правильном конструктивном выполнении она не реагирует на сквозные токи короткого замыкания; 2) одновременное выключение с обоих концов при аварии в любой точке линий. Главное затруднение серии баланса состоит в практическом выполнении канализации токов к реле на подстанциях. Канализация осуществляется или низковольтным контрольным проводом или же токами высокой частоты по высоковольтным проводам.

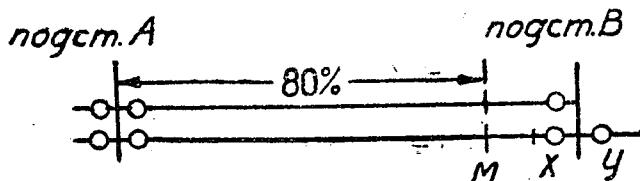


Рис. 13. Быстро действующая дифференциальная защита (параллельный баланс)

В техническом и экономическом отношении первый способ совершенно неприменим для линий большой протяженности. Канализационный провод, выполняемый в виде низковольтного подземного кабеля или воздушной телеграфной линии, может сам послужить источником перерывов в электроснабжении. Стоимость его составляет значительную величину, примерно 500 руб. на 1 км длины.

Для коротких участков высоковольтных линий передач не более 20—30 км защита контрольным проводом является, несомненно, лучшей системой защиты. Годовой опыт с защитой трансляций (принцип контрольного провода) на Московском высоковольтном кольце (115 кВ) Могеса позволяет признать высокую надежность³ ее работы на коротких линиях.

Параллельный баланс

Дифференциальная защита параллельных линий основана на сравнении токов в двух линиях, т. е. на параллельном балансе (рис. 13).

Главным достоинством этой защиты являются селективность и чрезвычайно быстрое почти мгновенное действие.

На рис. 14 дана схема конструктивного выполнения быстро действующего балансного реле GEC. Простота соединений, которая очевидна из рис. 14, есть также одно из больших достоинств этой защиты. Характеристики небаланса и выдержки времени даны на рис. 15 и 16. Из последних видно, что минимальные выдержки лежат в пределах от 0,004 до 0,08. Следовательно, за гарантийное время действия может быть принята 0,01 сек.

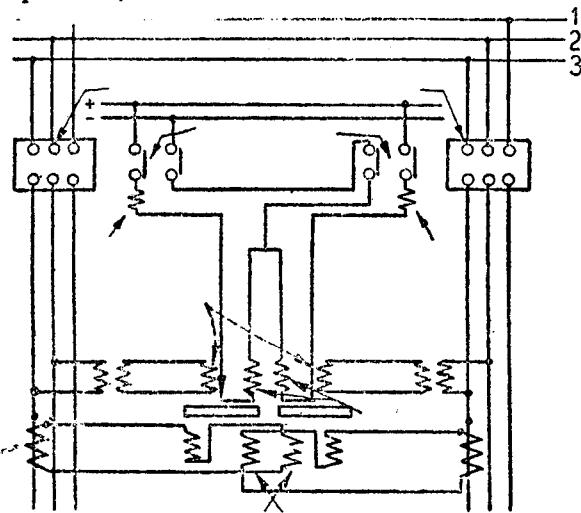


Рис. 14. Схема быстро действующего балансного реле GEC

Балансная защита параллельных линий имеет тот недостаток, что при включении одной из линий другая лишается селективной защиты, так как реле становится грубой максимальной защитой мгновенного действия. Необходимо предусмотреть для подобных режимов работы с одной линией резерв защиты. Таким резервом, обладающим селективностью и быстротой действия, могут быть дистанционные реле со ступенчатыми характеристиками.

³ Подробное описание устройства этого реле и его работы изложено в журнале "Электрические станции", № 7, 1931.

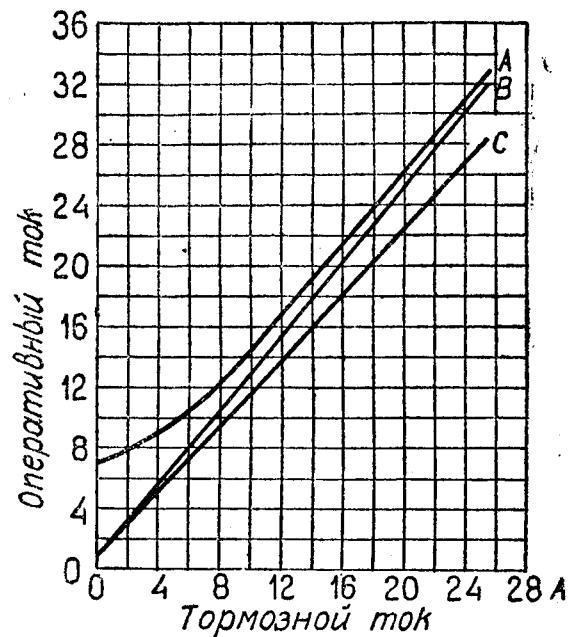


Рис. 15. Характеристика небаланса реле
A — ток в одном направлении, 100% напряжения
B — ток в одном направлении с напряжением = 0
C — ток в разных направлениях с напряжением = 0

Также, когда станции или системы связаны между собой ординарными линиями, последние приходится защищать быстродействующими дистанционными реле.

Дистанционные реле

Дистанционная защита по своей быстроте действия и надежности селективного выключения стоит ниже балансной защиты. Сам дистанционный элемент реле может работать практически мгновенно, но дистанционные реле должны для полной селективности действия быть и направленными. Самый совершенный элемент направления вне зависимости от механической конструкции будет иметь выдержку времени (для определения перемены направления энергии) не меньше 0,25—0,5 периода (первая полуволна тока измененного направления).

Фактически самое быстро действующее реле направления индуктивного типа имеет выдержку времени от 0,02 до 0,01 сек. Дистанционный элемент, реагирующий на нарушение определенного соотношения между током и напряжением фазы, так же как и параллельный баланс, имеет определенную минимальную чувствительность, т. е. определенную мертвую зону.

Характеристика быстро действующего импеданса фирмы Westinghouse показана на рис. 17, а на рис. 18 дана зависимость времени от аварийного тока для мгновенного импеданса реле (индуктивного типа) фирмы GEC. На этих рисунках показано, что минимальная выдержка находится в пределах 0,01 до 0,02 сек. Такая выдержка удовлетворяет требованиям, чтобы реле не производило ложных действий при переходных режимах.

Для двойных линий за последнее время практикуется комбинированная балансная и дистанционная защиты, причем последняя служит резервом.

Возражать против такой комбинированной защиты из экономических соображений совершенно не приходится. Комплект

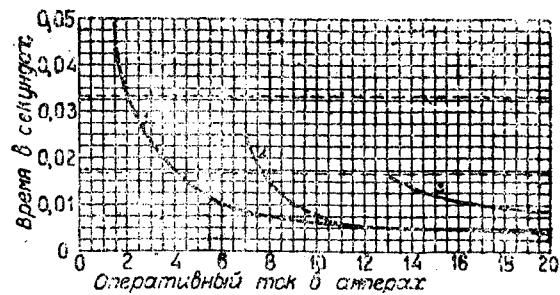


Рис. 16. Характеристика выдержки времени реле
1 — тормозной ток = 0
2 — тормозной ток = 5 А
3 — тормозной ток = 10 А

балансной защиты стоит 1 000 руб., дистанционной — 2 500 руб., комбинированной — 4 000 руб. Отсутствие же резерва может только привести к усложнению аварии и неселективному действию защиты смежных линий. В настоящее время дистанционная защита является почти единственной быстродействующей защитой для радиальных, концевых и одноцепочных линий.

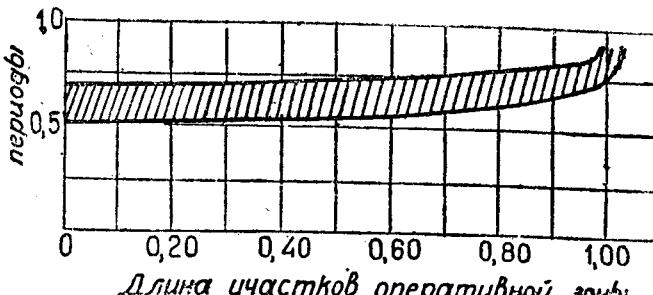


Рис. 17. Характеристика быстродействующего импеданц-реле Вестингауза

Задача токами высокой частоты

В последнее время появилась так называемая защита токами высокой частоты. Здесь в принципе имеем серийный баланс. Токами высокой частоты передаются по высоковольтным линиям передачи соответствующие импульсы защитным реле на подстанциях.

Схема, разработанная и испытанная на действительных установках, показана на рис. 19. Здесь в цепи выключающей катушки м. в. поставлены мгновенное максимальное реле нормальной частоты и блокировочное реле высокой частоты. Высокочастотная система реагирует на сравнение направления мгновенных токов начала и конца защищаемого участка. Если мгновенные токи в фазе, т. е. токи короткого замыкания, сквозные, указывающие, что авария находится вне защищаемой высоковольтной линии, то высокочастотные реле блокируют максимальные реле, тем самым препятствуя возбуждению выключающей катушки. Если же авария происходит внутри участка высокочастотной защиты, аварийные токи на концах будут взаимно свинуты почти на 180° . В этом случае приемные и отправительные аппараты посыпают друг другу импульсы, освобождающие автоблокировку максимальных реле.

О подобной установке, поставленной на южно-калифорнийской системе, опубликованы следующие результаты годовой работы: общее количество аварий с начала установки высокочастотной защиты 28, число правильных действий 26, неправильных 2.

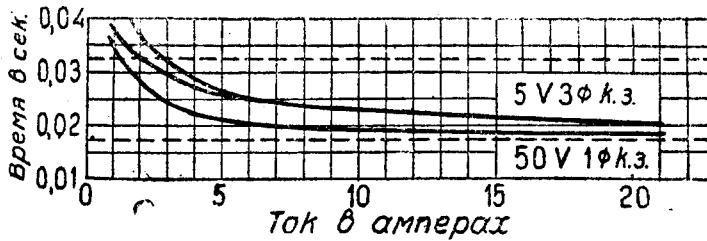


Рис. 18. Зависимость времени от аварийного тока для мгновенного импеданц-реле GEC

Оба случая неправильного действия произошли в результате неверных соединений трансформаторов тока. Отсюда можно заключить, что схема работает вполне удовлетворительно.

Стоимость высокочастотной защиты, обеспечивающей одновременную и быструю ликвидацию аварии в любой точке вдоль линии, очень высока (20 000 долл.).

В условиях комбинированного использования, в том числе и для целей связи аппаратов высокой частоты, момент дорогоизны будет значительно ослаблен, и высокочастотная защита, несомненно, найдет широкое применение в единой высоковольтной сети Союза.

Масляные выключатели

Развитие быстродействующих выключателей на напряжение от 100 до 220 кВ идет в основном по линии сокращения продолжительности горения дуги. Процесс гашения дуги представлял собою наиболее серьезное препятствие в создании высоковольтных быстродействующих выключателей.

Конечно, такой выключатель должен быть снабжен быстродействующим приводом и траверзой, чтобы получить необходимую скорость движения подвижных контактов. Однако в

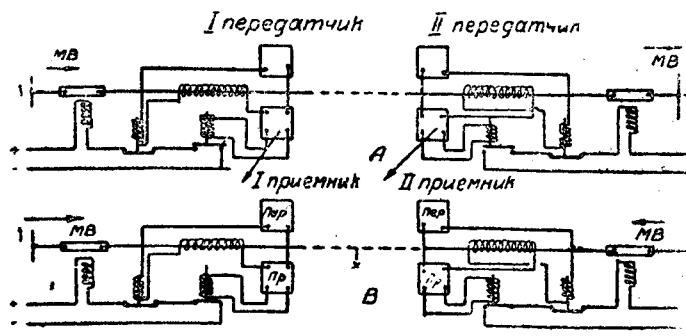


Рис. 19. Защита токами высокой частоты

этом направлении не было вопросов, особо трудно разрешимых в конструктивном и экономическом отношении. Опытами было подтверждено, что скорости траверзы, уже превышающие 3 м/сек, очень незначительно влияют на процесс гашения дуги короткого замыкания.

По фирменным данным имеются быстродействующие выключающие катушки и механизмы, собственное время которых не превышает 0,05 сек. (2,5 периода). Средняя скорость траверзы для стандартных типов м. в. колеблется от 1,5 до 2,5 м/сек. В новейших быстродействующих м. в. эта скорость колеблется от 2,5 до 3,0 м/сек.

Развитие высоковольтных быстродействующих выключателей идет в направлении усовершенствования процессов гашения дуги. Для этой цели можно использовать два принципа: 1) гашение дуги в масле и 2) гашение посредством расширения газов, водяных паров и т. д., т. е. безмасляные выключатели. Выключатели с немасляным дутьем пока еще находятся в стадии лабораторных и полузаводских изысканий, и их нельзя считать промышленно освоенными. Но те достижения, которые сейчас имеются в этой области, несомненно, говорят, что здесь имеются большие перспективы. Нашим организациям ВЭО и ВЭИ необходимо всемерно развивать эти новые типы.

Способы гашения дуги в сотые доли секунды под маслом за последние два года форсированно развивались в САСШ. В настоящее время разработаны и освоены в производстве два таких способа гашения дуги под маслом, так называемая деионная решетка и гасительные камеры с масляным дутьем.

Современные быстродействующие м. в. гасят дуги в сроки от 2 до 5 периодов (нормальные — в 20–30 периодов). При такой быстроте гашения дуги энергия, выделяемая ею, снижается в 10–20 раз по сравнению с обычными м. в.

В результате резкого снижения энергии дуги разрывная мощность быстродействующих м. в. повышается на 50–100%, компенсируя тем самым более тяжелые условия, связанные с разливом больших значений тока.

Более ранним типом быстродействующего масляного выключателя является выключатель с деионными решетками (Westinghouse). Деионные решетки имеют большое экономическое преимущество в том, что, представляя собой конструктивно несложное устройство, они могут быть легко пристроены к существующим на подстанциях м. в. старых конструкций. Это дает увеличение разрывной мощности и уменьшение продолжительности процесса выключения аварии. Для наших эксплуатирующих организаций этот способ дает возможность повысить надежность и разрывную мощность установленных выключателей. Позже фирма GEC пошла по пути усовершенствования известной конструкции гасительных или разрывных камер. В результате изыскания GEC выработала гасительную камеру с масляным дутьем. По существу здесь использована деионизация неразложившимся маслом, деионизация газами, многократный разрыв и другие факторы, ускоряющие гашение дуги. Сущность и различие этих двух принципов гашения дуги в высоковольтных выключателях заключается в том, что в деионной решетке используются образующиеся во время горения дуги неионизированные газы для деионизации дуги.

В гасительных камерах с масляным дутьем используется для гашения, в основном, неразложенное масло. У нас в Союзе во

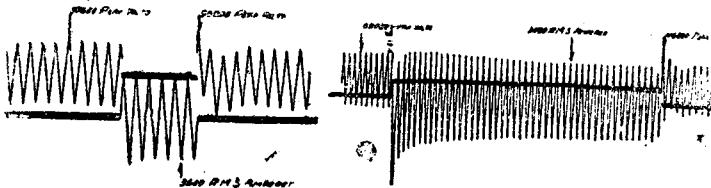


Рис. 20. Осциллограмма к. з. для испытаний с деионной решеткой.

второй пятилетке основным типом масляных выключателей на 110 кВ и выше будут выключатели с масляным дутьем.

Деионная решетка должна также найти применение в Союзе, в особенности для перестройки уже установленных м. в.

На рис. 20 и 21 даны осциллограммы коротких замыканий для одного и того же м. в. 110 кВ и в одинаковых условиях, только м. в. на рис. 21 имеет вместо деионной решетки стандартные контакты старой конструкции. Сравнение этих двух осциллограмм со всей ясностью показывает неоспоримые преимущества новых быстродействующих выключателей перед старыми. Полное гашение дуги в них происходит в течение 2–3,5 периодов.

Выводы

Быстродействующее выключение и связанные с ним выключающие и защитные аппараты быстрого действия находят широкое применение в американских электрических системах, а равно запроектированы в мощных электрических системах СССР (Свирь, УКК).

Предназначаемое для повышения устойчивости параллельной работы больших систем быстродействующее выключение одновременно явилось и наиболее здоровой предупредительной мерой против а) неселективности действия защиты, б) распространения и перехода аварии из легкого вида в более тяжелый, с) порчи оборудования от аварий, д) опасных размеров коммутационных перенапряжений и е) выпадения промышленно-освоенные и установленные в эксплоатации быстродействующие м. в. с деионной решеткой Westinghouse и гасительной камерой с масляным дутьем (GEC) имеют собственное время действия от 0,1 до 0,15 сек.

В соединении с быстродействующей защитой балансного или дистанционного типа эти выключатели обеспечивают время выключения первой ступени (при каскадном действии защиты) в 0,12–0,17 сек. При аварии вне мертвых зон полное выключение обеспечивается в 0,2 сек. При расчетах устойчивости систем с быстродействующим выключением можно предполагать одновременное действие выключателей для любого расположения аварии вдоль линии, беря за эквивалентное время выключения 0,2 сек. Применение быстродействующего выключения повышает динамический предел мощности линии передачи в среднем на 20–40% при однофазных коротких замыканиях на землю и на 100–200% при двухфазных. Время выключения, осуществляемое выключателями и реле обычного (не быстродействующего) типа, лежит вне предела влияния на амплитуду относительных колебаний системы, возникающих при авариях. Переход от выключения с нормальными скоростями (0,7–1,5 сек.) к быстродействующему выключению (0,2–0,3 сек.) отнюдь не связан с усилением конструкции выключателей и их удорожанием.

При незначительных затратах (15–20%) на пристройку деионных решеток к уже установленным выключателям обычной конструкции достигается увеличение их разрывной мощности на 50–100% и одновременно повышается надежность их работы. Наряду с принятым к постройке на заводах СССР типом быстродействующего выключателя с гасительной камерой с масляным дутьем должен найти широкое применение и другой тип быстродействующего выключателя — с деионной решеткой. Последняя особенно должна быть рекомендована для перестройки существующих выключателей.

Необходимо форсировать научно-исследовательскую разработку новых принципов выключения (безмасляные выключатели). Необходимо форсировать разработку быстродействующей балансной защиты на принципе токов высокой частоты. Последняя, будучи многообещающей в отношении селективности и быстроты действия, в условиях комбинированного использования ее аппаратов для целей связи, управления и регулирования, безусловно, должна найти широкое применение в единой высоковольтной сети Союза.

Благодаря повышению бесперебойности электроснабжения, четкой работе защитных аппаратов и снижению процента порчи оборудования от аварий быстродействующее выключение представляет значительные экономические выгоды.

В проектировках и расширениях существующих электрических систем Союза следует применять быстродействующее выключение.

Быстродействующее возбуждение синхронных машин

Инж. Сахаров А. П.

Ленинград. завод „Электросила“

Для обеспечения параллельной работы и непрерывности подачи энергии при всяком рода нарушениях режима существует

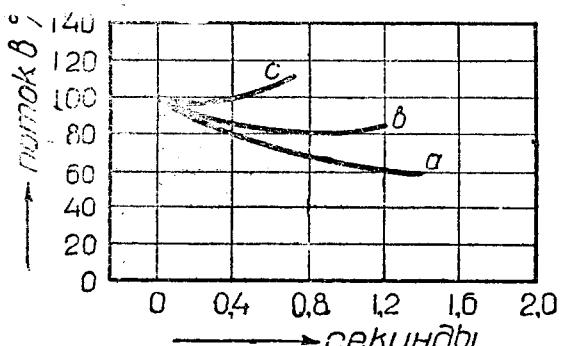


Рис. 1

важное значение имеет поддержание у синхронных машин магнитного потока в воздушном зазоре.

Это достигается путем применения возбудителей, допускающих быстрое повышение напряжения на зажимах обмотки ротора синхронных машин, и благодаря применению быстродействующих регуляторов напряжения, обладающих большой чувствительностью к изменениям нагрузки. Быстрое нарастание напряжения возбудителя дает возможность за очень короткое время (измеряющееся долями секунды) восстановить поток ротора при аварийных режимах и тем самым компенсировать изменение реакции статора. Постоянство внутренней э. д. с. генератора, обеспечивающее устойчивость параллельной работы, в сильной степени зависит от скорости нарастания напряжения на зажимах возбудителя. На рис. 1 показаны примерные кривые изменения потока генератора при регулировании от руки (кривая a) и при помощи быстродействующего регулятора напряжения (кривая b) в случае применения

в качестве возбудителей обычного типа шунтовой машины (кривая c). На том же рис. 1 дана кривая для случая применения возбудителя специальной конструкции, допускающего быстрый подъем напряжения. На рис. 2 для тех же самых возбудителей даны кривые нарастания напряжения.

Быстродействующее возбуждение компенсирует отрицательное влияние большого реактора синхронных машин на устойчивость параллельной работы. Но при применении систем быстродействующего возбуждения приходится мириться с необходимостью установки и более дорогих масляных выключателей, обладающих повышенной надежностью из-за увеличения токов короткого замыкания.

Применение системы быстродействующего возбуждения имеет в настоящее время большое значение, и есть уже примеры выполнения такого рода установок (Copomingo, Alabama Power Company), показавших хорошие результаты в смысле

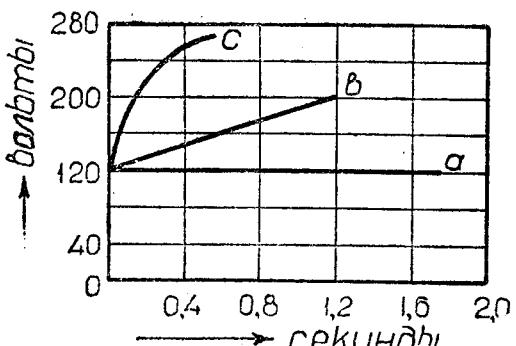


Рис. 2

Регуляторы напряжения в системах быстродействующего возбуждения

Проблема устойчивости параллельной работы тесно связана с применением быстродействующих автоматических регуляторов напряжения.

Поведение машин в условиях динамической устойчивости в известной степени определяется характеристиками регуля-

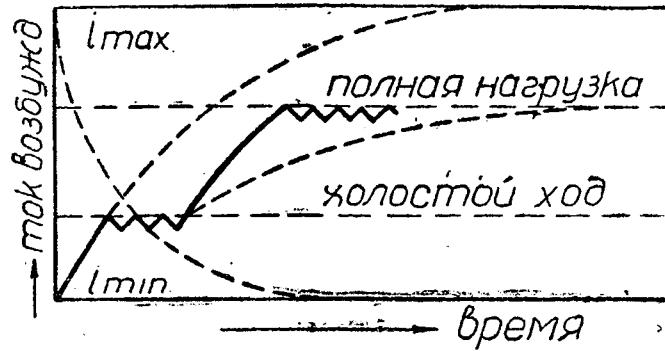


Рис. 3

торов напряжения. В системах быстродействующего возбуждения применяются два основных типа регуляторов напряжения — вибрирующий контактный регулятор и недавно появившийся регулятор реостатного типа.

В регуляторах напряжения вибрирующего типа ток возбуждения возбудителя синхронной машины изменяется благодаря периодическим замыканиям накоротко контактов регулятора, схематически показанных на рис. 8 и 9. При замкнутых контактах регуляторов ток возбуждения возрастает по кривой 1, а при разомкнутых убывает по кривой 2 (рис. 3). Средние значения волновых токов слагаются из частей обеих кривых. Быстрый переход от одного среднего значения тока возбуждения к другому объясняется тем, что сопротивление цепи возбуждения меняется каждый раз на полную величину r , т. е. значительно больше, чем это было бы при регулировании токами неизменной силы, а не колеблющимся около некоторого среднего значения. Если бы напряжение возбудителя от холостого хода до полной нагрузки регулировалось обычным путем при помощи реостата, то ток возбуждения изменялся бы по кривой 3. Сравнение кривой 3 и части кривой 4 показывает, насколько в быстродействующем регуляторе напряжения преодолено влияние магнитной инерции.

Переход напряжения возбудителя от одного среднего значения к другому, соответствующему новым условиям работы генератора, может достигаться различными способами. Так как каждому среднему значению тока возбуждения соответствует определенное соотношение между продолжительностью замыкания контактов Δt_k и временем Δt_r , когда они остаются разомкнутыми, то одним из способов перехода к другому волновому току является изменение этого соотношения. При таком способе новый средний ток возбуждения достигается только после сравнительно долгого переходного периода, как это показано сплошной линией на рис. 4. В системах быстродействующего возбуждения, однако, более применим другой способ, дающий лучшие результаты, как это видно из пунктирной линии того же рис. 4. При этом способе контакты регулятора напряжения

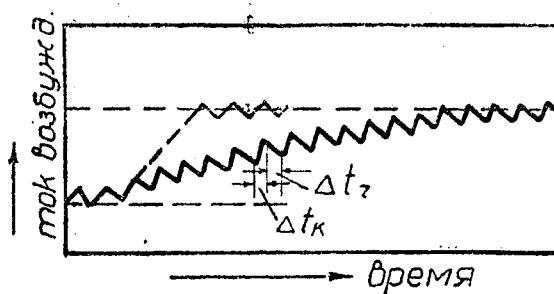


Рис. 4

остаются замкнутыми до тех пор, пока не будет получено необходимое среднее напряжение возбудителя. Применение регуляторов напряжения, работающих по этому принципу, показало их значительные преимущества при работе машин в условиях динамической устойчивости при всякого рода изменениях напряжения на стороне переменного тока.

Недавно появившийся реостатный регулятор напряжения по сравнению с регуляторами вибрирующего типа обладает теменным качеством, что может приводить к тому, что

телях большой мощности, для которых из-за больших значений тока возбуждения оказывается невозможным выполнить короткозамыкающую систему регулятора вибрирующего типа. Регуляторы реостатного типа фирмы GEC принятые, например, в системе возбуждения Днепровской гидростанции).

В отличие от вибрирующих регуляторов реостатного типа при установившейся нагрузке могут быть стационарными, способствуя более спокойной работе генераторов. При небольших изменениях напряжения генератора реостатным регулятором при помощи приводного двигателя выполняется такая же работа, как и при ручной регулировке. При больших же изменениях напряжения начинает действовать быстроходное реле, заставляющее реостат занять соответствующее требуемому возбуждению положение. При достаточной чувствительности этого реле реостат работает все время, и регулятор по существу становится вибрирующим.

Одним из главнейших требований, предъявляемых при быстродействующем возбуждении к регуляторам напряжения, является правильная их работа в случае короткого замыкания в любой из фаз. При обычном присоединении катушки регулятора к зажимам генератора через один трансформатор напряжения регулятор реагирует только на то, что происходит в этой фазе. Поэтому при асимметричном изменении напряжения регулятор может при некоторых условиях заставить напряжение возбудителя падать, тогда как оно должно возрастать. Одной из схем, обеспечивающих действие регулятора в нужном направлении, является включение двух трансформаторов напряжения (рис. 5). Благодаря надлежащему выбору реактивного сопротивления x и омических сопротивлений R_1 и R_2 к катушке регулятора подводится напряжение переменного тока, пропорциональное напряжению положительной последовательности фаз на зажимах генератора, чем устраивается зависимость работы регулятора напряжения от того, в какой фазе имеется повреждение.

В системах обычного не быстродействующего возбуждения вполне действительной оказывается схема включения транс-

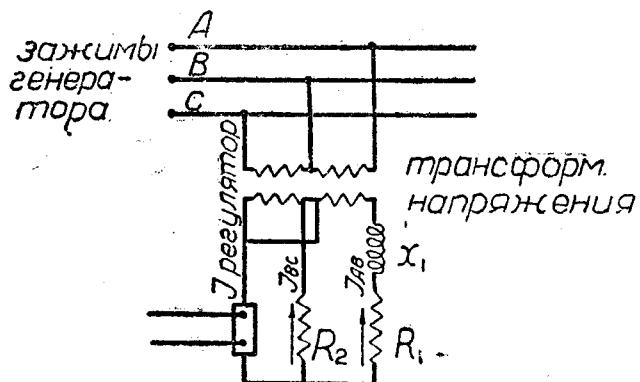


Рис. 5

форматора напряжения только в одну фазу, так как при коротком замыкании автоматический выключатель подействует раньше, чем скажется заметным образом действие возбудителя.

Возбудители синхронных машин

Для возбуждения синхронных машин обычно применяются или щунтовые машины, или же компаундные со слабой серийной обмоткой. В качестве возбудителей могут быть использованы нормальные машины постоянного тока, но большей частью возбудители получают специальное выполнение, что объясняется как требованиями получения соответствующих характеристик, так и соображениями конструктивного характера. Последние приобретают особое значение в случаях непосредственного сопряжения возбудителей на одном валу с быстроходными турбогенераторами и тихоходными гидрогенераторами.

Возбудители турбогенераторов выполняются исключительно с самовозбуждением, для возбудителей же тихоходных гидрогенераторов применяется, главным образом, независимое возбуждение от вспомогательного возбудителя (pilot exciter). При тихоходных генераторах находят применение также схемы возбуждения от отдельного быстроходного возбудительного агрегата.

Для регулирования напряжения синхронных генераторов применяются схемы как с магнитным, так и с щуповым регулятором. Основанием для применения магнитного регулятора, включаемого в цепь якоря главного возбудителя, является

Схема реостатного регулятора напряжения приведена в статье А. Е. Рис. 12

устранение влияния инерции магнитной системы возбудителя на нарастание тока возбуждения генератора, а в случае самовозбуждения также и компенсация неустойчивости напряжения возбудителя при малых токах его возбуждения. Применение магнитного регулятора является вообще нежелательным из-за его больших размеров и стоимости. Эксплоатационная практика станций показывает, что в большинстве случаев, когда имеются оба типа регуляторов, магнитным регулятором почти не пользуются. Магнитный регулятор по указанным выше соображениям может совсем не применяться в случае спокойной нагрузки и при регулировании напряжения автоматическим быстродействующим регулятором напряжения. Он также отпадает в том случае, когда главный возбудитель имеет независимое возбуждение.

В случае самовозбуждения и регулирования напряжения одним только шунтовым регулятором для обеспечения устойчивости напряжения возбудителя и при малых токах возбуждения применяются регулирующие полюса. Как известно, при работе на прямолинейной части магнитной характеристики шунтового генератора его напряжение получает неустойчивый характер при всяком незначительном изменении скорости машины или сопротивления цепи возбуждения. Применяя же регулирующие полюса с вырезами (рис. 6, а) или же разделенные узким воздушным промежутком на две части, связанные между собой лишь несколькими проходными листами (рис. 6, б), мы получаем необходимую для устойчивости напряжения кривизну характеристики уже в начальной ее части. Такая характеристика представлена на рис. 7. Магнитный поток, проходя при малых токах возбуждения главным образом через небольшое сечение железа, создает в этом магнитном мостике значительное насыщение при слабом насыщении остальных участков магнитной цепи. Так как регулирующие полюса вызывают увеличение тока возбуждения, то в мощных возбудителях

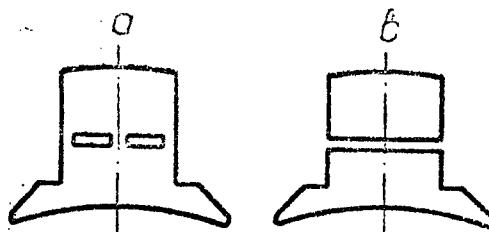


Рис. 6

имеющих ток возбуждения выше 10–12 А, регулятор напряжения выбирирующего типа может оказаться непригодным, так что придется переходить к регуляторам реостатного типа.

Определение скорости нарастания напряжения на зажимах возбудителей

Скорость нарастания напряжения на зажимах возбудителя зависит от целого ряда факторов. В числе их существенное значение имеют характеристики магнитной цепи, род возбуждения, скорость вращения возбудителя.

Рассмотрим более подробно изменение тока возбуждения и потока полюсов возбудителей как при независимом возбуждении, так и при самовозбуждении. При независимом возбуждении, схема которого представлена на рис. 8, напряжение V , приложенное к цепи возбуждения главного возбудителя, предполагается постоянным, что соответствует действительным условиям, так как вспомогательный возбудитель выполняется всегда с компаундной обмоткой. В переходных процессах, имеющих место при замыкании и размыкании контактов регулятора напряжения, индуктивность цепи возбуждения благодаря насыщению железа не остается постоянной, а сильно меняется в зависимости от тока возбуждения. При коротком замыкании контактов регулятора напряжения возрастающий магнитный поток полюсов создает на зажимах обмотки возбуждение э. д. с. при напряжении.

$$\frac{2p \cdot w}{a} \cdot \frac{d\Phi}{dt} \cdot 10^{-8},$$

которая вместе с омическим падением напряжения Ri уравновешивается в каждый момент времени приложенным неизменным напряжением V , что может быть выражено уравнением:

$$V = Ri + \frac{2p \cdot w}{a} \cdot \frac{d\Phi}{dt} \cdot 10^{-8}, \quad (1)$$

где w —число витков на полюсе, a —число параллельных витков обмотки возбуждения, R —сопротивление обмотки возбуждения главного возбудителя, i —полный ток возбуждения, Φ —поток одного полюса в рассматриваемый момент времени.

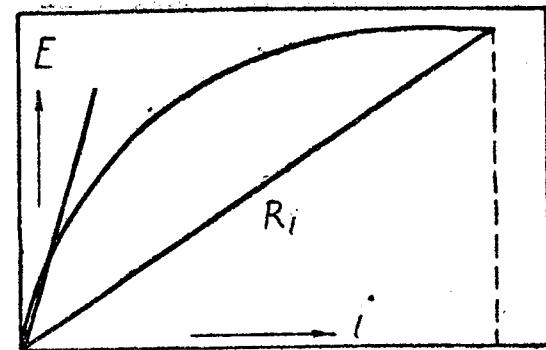


Рис. 7

Исходя из конечных условий, когда устанавливается максимальный ток возбуждения

$$i_{\max} = \frac{V}{R}. \quad (2)$$

можно уравнение (1) переписать так:

$$\frac{2p \cdot w}{a} \cdot \frac{d\Phi}{dt} \cdot 10^{-8} = V - Ri = R(i_{\max} - i). \quad (3)$$

По магнитной характеристике, представленной на рис. 9, можно для каждого тока i найти соответствующее значение потока Φ . Тогда интегрирование уравнения (3) даст время,

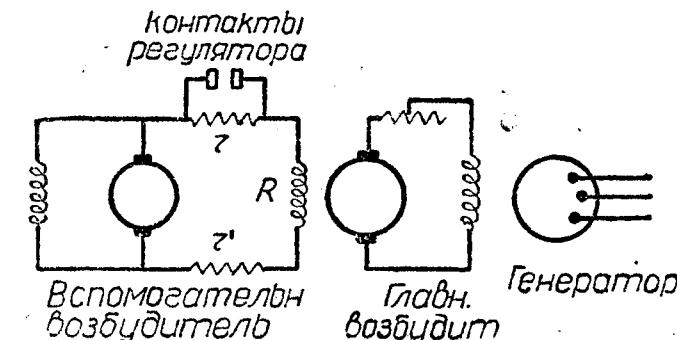


Рис. 8

прошедшее от момента замыкания контактов регулятора до достижения током значения i :

$$t = \frac{2p \cdot w \cdot 10^{-8}}{a \cdot R} \int \frac{d\Phi}{\Phi_0} \frac{1}{i_{\max} - i}. \quad (4)$$

Выражение (4) показывает, что для получения быстрого нарастания тока возбуждения обмотка возбуждения должна быть выполнена с большим омическим сопротивлением.

Для определения времени возбуждения Рюденберг придает выражению (4) другой вид, позволяющий произвести графическое интегрирование. Если ввести в выражение (4) значение разности $i_{\max} - i$, определенное из рис. 10:

$$i_{\max} - i = i_{\max} \cdot \frac{\Delta \Phi}{\Phi_{\max}} \quad (5)$$

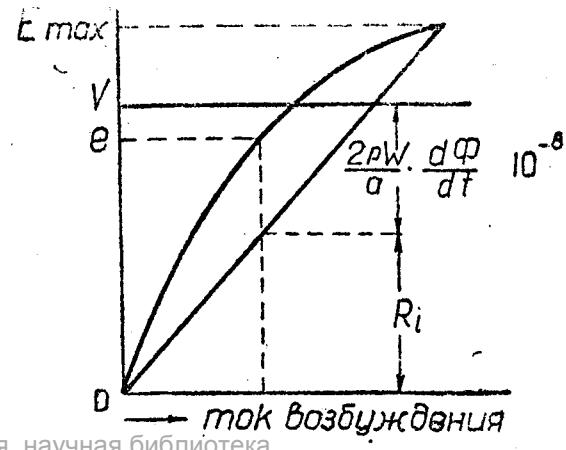


Рис. 9

и, приняв во внимание уравнение (2), вывести за знак интеграла постоянные Φ_{\max} и i_{\max} , то для определения времени t получим следующее выражение:

$$t = \frac{2p \cdot w \cdot \Phi_{\max} \cdot 10^{-8}}{a \cdot V} \int \frac{d\Phi}{\Delta\Phi}. \quad (6)$$

Выражение, стоящее перед знаком интеграла, имеет размерность времени и поэтому назовано Рюденбергом постоянной времени насыщенного контура при независимом возбуждении. Как видно из выражения (6), эта постоянная времени неизменна для каждого процесса возбуждения, но она зависит от величин конечного потока и приложенного напряжения.

Рюденберг приводит и самый метод графического интегрирования²⁾.

При применении в качестве возбудителей машин постоянного тока с самовозбуждением по схеме рис. 11 приходится регулировать в широких пределах напряжение возбудителя, чтобы при изменяющейся нагрузке поддерживать неизменным напряжение синхронной машины.

Если пренебречь влиянием на напряжение возбудителя реакции якоря и падения напряжения, то можно считать, что э. д. с. e , индуцированная в якоре, будет в каждый момент уравновешивать омическое падение напряжения в обмотке возбуждения и э. д. с. самоиндукции. Это можно выразить таким уравнением:

$$e = Rl + \frac{2p \cdot w}{a} \cdot \frac{d\Phi}{dt} \cdot 10^{-8} \quad (7)$$

где e является уже переменной величиной.

Рассматривая опять изменение тока возбуждения и потока полюсов при замыкании накоротко контактов регулятора на-

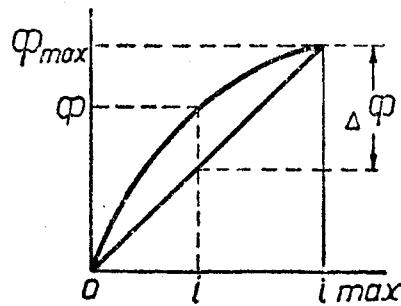


Рис. 10

пражения, получим, как видно из рис. 12, по прекращении изменения потока напряжение E_{\max} и максимальный ток возбуждения.

$$I_{\max} = \frac{E_{\max}}{R} \quad (8)$$

Так как э. д. с. e в каждый момент пропорциональна потоку, то

$$\Phi = \Phi_{\max} \cdot \frac{e}{E_{\max}}. \quad (9)$$

Дифференцируя это выражение, получим:

$$\frac{d\Phi}{dt} = \frac{\Phi_{\max}}{E_{\max}} \cdot \frac{de}{dt}; \quad (10)$$

Подставив найденное значение производной в уравнение (7), находим для э. д. с. самоиндукции следующее выражение:

$$e - Rl = \frac{2p \cdot w \cdot \Phi_{\max} \cdot 10^{-8}}{E_{\max}} \cdot \frac{de}{dt}, \quad (11)$$

где величина, стоящая перед производной, может быть названа постоянной времени насыщенного контура при самовозбуждении.

В отличие от случая независимого возбуждения постоянная времени при самовозбуждении благодаря пропорциональности между э. д. с. и магнитным потоком представляет собой абсолютную постоянную машины и не зависит от того, на какой точке характеристики производится работа.

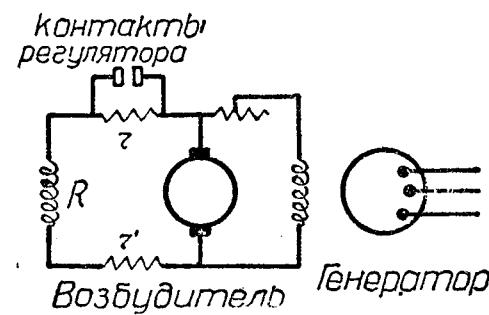


Рис. 11

Время нарастания напряжения от начального его значения до величины e получается как результат интегрирования уравнения (11), а именно:

$$t = \frac{2p \cdot w \cdot \Phi_{\max} \cdot 10^{-8}}{a \cdot E_{\max}} \int \frac{e}{e - Rl} dt. \quad (12)$$

Как показал Рюденберг, и это выражение тоже интегрируется графическим путем.

Выражение (12) и построение рис. 12 показывают, что для получения малого времени возбуждения кроме небольшой величины постоянной времени необходимо иметь еще большое расхождение между характеристикой и линией сопротивления, т. е. сильно изогнутую характеристику.

Определение времени возбуждения путем графического интегрирования при практических подсчетах оказывается неудобным, так как сопряжено с большим количеством вычислений и графических построений, требующих большой точности. Более быстрых результатов можно достигнуть, применяя следующий метод, дающий для любой точки магнитной характеристики скорость нарастания напряжения в вольтах в секунду и позволяющий легко определить время возбуждения.

Как мы уже видели, для любой точки характеристики справедливы выражения (9) и (10). Из последнего выражения определяем производную

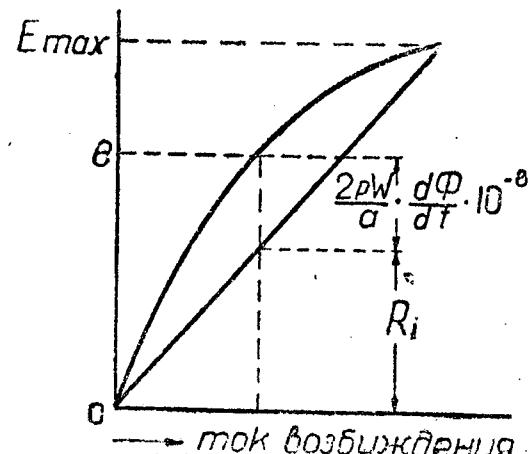
$$\frac{de}{dt} = \frac{E_{\max}}{\Phi_{\max}} \cdot \frac{d\Phi}{dt}. \quad (13)$$

Вместо отношения $\frac{E_{\max}}{\Phi_{\max}}$ представляется более удобным

взять равное отношение $\frac{E_a}{\Phi}$, где E_a и Φ —значения э. д. с. и потока одного полюса приnominalном напряжении на зажимах возбудителя, т. е. величины, легко определяемые из расчетных данных. Если, кроме того, поток полюса выразим как произведение потока в воздушном зазоре Φ_a на коэффициент рассеяния полюсов, то выражение (13) представится в таком виде:

$$\frac{de}{dt} = \frac{E_a}{a \cdot \Phi_a} \cdot \frac{d\Phi}{dt}. \quad (14)$$

Подставив в это последнее выражение значение производной $\frac{d\Phi}{dt}$ из уравнения (3), получим для случая независимого возбуждения следующее выражение, дающее в вольтах в секунду



²⁾ Рюденберг, Явления неуставновившегося режима в электрических машинках.

скорость нарастания э. д. с. якоря в момент прохождения ее через любое значение e :

$$\frac{de}{dt} = \frac{(V - Ri) \cdot a \cdot E_a \cdot 10^{-8}}{2p \cdot w \cdot \sigma \cdot \Phi_a}. \quad (15)$$

Подобным же образом, подставив в уравнение (14) значение производной $\frac{d\Phi}{dt}$ из уравнения (7), получим выражение для определения скорости нарастания напряжения при самовозбуждении:

$$\frac{de}{dt} = \frac{(e - Ri) \cdot a \cdot E_a \cdot 10^{-8}}{2p \cdot w \cdot \sigma \cdot \Phi_a}. \quad (16)$$

Оба уравнения (15 и 16) построены совершенно одинаково, разница между ними лишь в том, что при независимом возбуждении V представляет напряжение вспомогательного возбудителя, а при самовозбуждении e равно э. д. с. якоря возбудителя в рассматриваемый момент времени.

Исходя из уравнений (15) и (16), легко можно определить и время возбуждения машины от напряжения e' до e . Для этого вычисляем величины $\frac{de^1}{dt}$ и $\frac{de}{dt}$ и находим среднюю скорость нарастания напряжения $\frac{\Delta e}{\Delta t}$ на данном участке магнитной характеристики и среднее время повышения напряжения на 1 В, равное $\frac{\Delta t}{\Delta e}$.

Отсюда уже получается время возбуждения машины от напряжения e' до e .

$$\Delta t = (e - e') \cdot \frac{\Delta t}{\Delta e}. \quad (17)$$

В качестве примера определим скорость нарастания напряжения на зажимах возбудителя гидрогенератора большой мощности. Возбуждение возбудителя независимо; вспомогательный возбудитель в пределах от холостого хода до полной нагрузки дает постоянное напряжение $V = 250$ В.

Данные главного возбудителя следующие:

1. Мощность $P = 375$ kW
2. Номинальное напряжение $E = 250$ V
3. Скорость $n = 985$ об/мин.
4. Число полюсов $2p = 6$
5. Число витков на полюс $w = 1000$
6. Число параллельных групп обмотки возбуждения $a = 2$
7. Сопротивление обмотки возбуждения (горячей) $R = 10 \Omega$
8. Максимальная э. д. с. якоря $E_{max} = 347$ V
9. Электродвижущая сила при номинальном напряжении $E_a = 260$ V
10. Поток воздушного зазора $\Phi_a = 4,73 \times 10^{-6}$
11. Коэффициент рассеяния $= 1,125$

Подставляя эти данные в уравнение (15), получаем:

$$\frac{de}{dt} = \frac{(250 - 10t) \cdot 2 \cdot 260 \cdot 10^{-8}}{6 \cdot 1000 \cdot 1,125 \cdot 4,73 \cdot 10^{-6}} = 1,63 (250 - 10t),$$

где значения тока возбуждения t берем из магнитной характеристики.

Результаты вычислений приведены в табл. 1.

Таблица 1

e	i	Ri	$V - Ri$	$\frac{de}{dt}$	$\frac{\Delta e}{\Delta t}$	$\frac{\Delta t}{\Delta e}$	$e - e'$	Δt	t
0	0	0	250	407	—	—	—	—	0
50	2	20	230	375	391	0,00256	50	0,1280	0,1280
100	4	40	210	342	358,5	0,00279	50	0,1396	0,2675
150	5,7	37	193	314	328	0,00305	50	0,1525	0,4200
200	7,6	76	174	284	299	0,00335	50	0,1674	0,5874
230	9	90	160	261	272,5	0,00367	30	0,1100	0,6974
250	10,4	104	146	238	249,5	0,00401	20	0,0802	0,7776
270	12,2	122	128	209	223,5	0,00448	20	0,0896	0,8672
290	14,4	144	106	173	191	0,00525	20	0,1050	0,9722
310	17,4	174	76	124	148,5	0,00674	20	0,1348	1,1070
330	21,1	211	39	63	93,5	0,01070	20	0,2140	1,3210
340	23	230	20	34	48,5	0,02065	10	0,2065	1,5275
347	25	250	0	0	17	0,06880	7	0,4820	2,0095

Последняя графа этой таблицы дает в секундах полное время, необходимое для возбуждения машины от нуля до максимального напряжения. Средняя скорость возбуждения за весь цикл намагничивания для данного возбудителя будет:

$$\frac{\Delta e}{\Delta t} = \frac{E_{max} - 0}{t} = \frac{347}{2,0095} = 173,5 \text{ V/sec.}$$

На рис. 13 для разобранного случая построены в функции от времени кривые нарастания э. д. с. и тока возбуждения.

Произведенное для сравнения определение времени возбуждения по методу Рюденберга дало очень близкое совпадение со значениями, приведенными в таблице.

В качестве второго примера определим время и скорость возбуждения для возбудителя мощного турбогенератора. Возбудитель работает с самовозбуждением и имеет следующие данные:

1. Мощность $P = 250$ kW
2. Номинальное напряжение $E = 250$ V
3. Скорость $n = 1500$ об/мин
4. Число полюсов $2p = 6$
5. Число витков на полюс $w = 860$
6. Число параллельных групп обмотки возбуждения $e = 1$

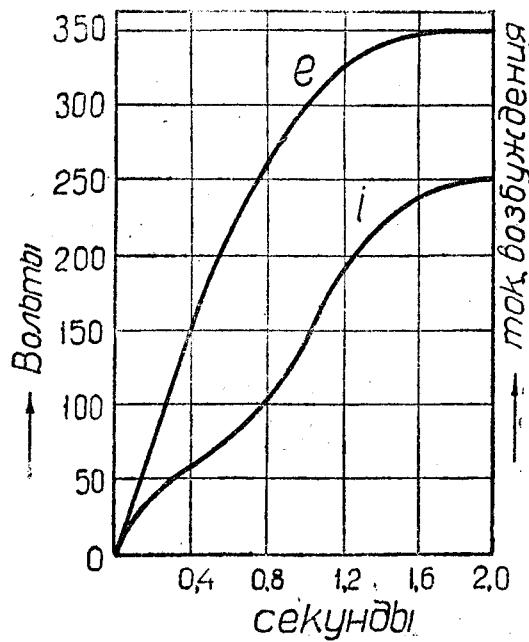


Рис. 13

7. Сопротивление обмотки возбуждения $R = 14 \Omega$
8. Максимальная э. д. с. якоря $E_{max} = 359$ V
9. Электродвижущая сила при номинальном напряжении $E_a = 262$ V
10. Поток воздушного зазора $\Phi_a = 3,64 \times 10^{-6}$
11. Коэффициент рассеяния $= 1,13$

Для определения скорости возбуждения получаем из уравнения (16)

$$\frac{de}{dt} = \frac{(e - 14t) \cdot 1 \cdot 262 \cdot 10^{-8}}{6 \cdot 860 \cdot 1,13 \cdot 3,64 \cdot 10^{-6}} = 1,235 (e - 14t).$$

Результаты вычислений приведены в табл. 2.

Таблица 2

e	i	Ri	$V - Ri$	$\frac{de}{dt}$	$\frac{\Delta e}{\Delta t}$	$\frac{\Delta t}{\Delta e}$	$e - e'$	Δt	t
6	0	0	6	7,4	—	—	—	—	0
45	0,93	13	32	39,5	23,45	0,0427	39	1,665	1,665
93	2,16	30,2	62,8	77,5	58,5	0,0171	48	0,811	2,476
140	3,67	51,4	88,6	109,6	93,5	0,0107	47	0,503	2,979
184	5,54	77,6	106,4	131,5	120,5	0,0083	44	0,365	3,344
220	7,38	104,6	115,4	142,5	137	0,0073	36	0,263	3,607
250	9,33	130,6	119,5	147,5	145	0,0069	30	0,207	3,814
279	11,7	163,6	115,4	142,5	145	0,0069	29	0,200	4,014
299	13,96	195,5	103,5	128	132,25	0,0074	20	0,148	4,162
316	16,4	230	86	118,5	123,25	0,0081	17	0,138	4,300
335	19,63	275	150	74	96,25	0,0104	19	0,197	4,497
349	22,6	317	32	39,5	56,75	0,0176	14	0,246	4,743
359	25,6	359	0	0	19,75	0,0507	10	0,507	5,250

Средняя скорость возбуждения для данного случая будет:

$$\frac{\Delta e}{\Delta t} = \frac{E_{\max} - E_0}{t} = \frac{359 - 6}{5 \cdot 25} = 67 \text{ V/sec.}$$

Кривые нарастания напряжения на зажимах возбудителя и изменения тока возбуждения даны на рис. 14, причем первые

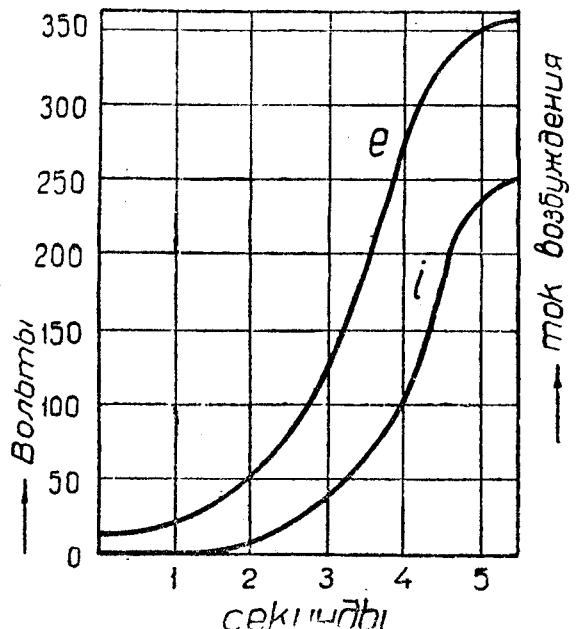


Рис. 14

вия кривая начинается не от нуля, а от точки $E_0 = 6 \text{ V}$, соответствующей остаточному магнетизму.

Полученные в рассмотренных примерах средние скорости возбуждения $173,5 \text{ V/sec}$ и 67 V/sec не могут дать представления о действительных скоростях, имеющих место при работе на возбуждение генераторов, когда напряжение на зажимах возбудителей изменяется в значительно более узких пределах, чем от нуля до максимума. Благодаря этому действительные скорости возбуждения будут много выше, как это видно из таблиц.

Кривые напряжения рис. 13 и 14 показывают, что при независимом возбуждении наибольшая скорость нарастания напряжения получается при минимальных токах возбуждения, а в случае самовозбуждения—приблизительно при номинальном напряжении. Из этих же кривых можно видеть, что благодаря насыщению предельные значения напряжения и потока достигаются значительно быстрее, чем в иенаасыщенных контурах с неизменной индуктивностью, когда нарастание поля происходит по показательной кривой $\Phi = \Phi_{\max} \left(1 - e^{-\frac{t}{T}}\right)$.

Из рис. 14 видно, что при самовозбуждении большое значение имеет величина остаточного магнетизма, так как она определяет собой скорость нарастания поля в начальной части магнитной характеристики.

Произведенные Washburn³⁾ испытания целого ряда возбудителей показали, что действительные скорости возбуждения в среднем на 5–10% меньше вычисленных им по формулам, подобным выражениям (15) и (16). Причиной этого расхождения, по всей вероятности, является то обстоятельство, что при выводе выражений (15) и (16) совершенно не принималось во внимание размагничивающее действие токов Фуко в массивных частях магнитной цепи.

Из рассмотрения выражений (15) и (16) и кривых рис. 13 и 14 можно видеть, какие практические способы приемлемы для увеличения скорости нарастания напряжения на зажимах возбудителей.

Выбор относительно высокого максимального напряжения

Из кривых нарастания напряжения видно, что по мере приближения к максимальному напряжению скорость возбуждения значительно уменьшается. Это относится как к машинам

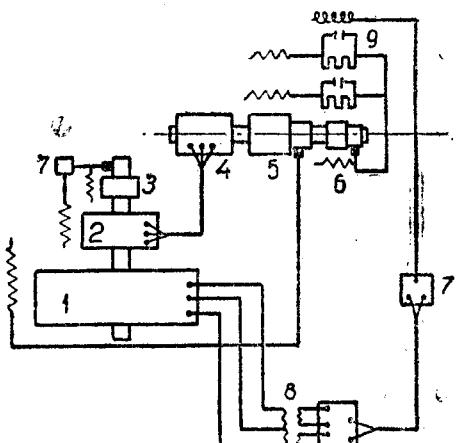
с независимым возбуждением, так и с самовозбуждением. Поэтому для получения достаточно высоких скоростей возбуждения в пределах рабочей части характеристики приходится рассчитывать возбудители с относительно большим „потолочным“ (Ceiling Voltage) значением напряжения. Увеличение „потолка“ создает значительную разницу в сопротивлениях цепи возбуждения при замкнутых и разомкнутых контактах регулятора напряжения и тем самым ускоряет процесс возбуждения. В возбудителях с самовозбуждением при последовательном соединении полюсных катушек максимальное напряжение должно составлять приблизительно 140% номинального напряжения возбудителя; в случае же независимого возбуждения или разделения полюсных катушек (при самовозбуждении добавочного сопротивления) потолок напряжения берется несколько меньший, так как в этом случае достаточную скорость возбуждения можно получить и при более низком максимальном напряжении.

Быстроходность возбудителей

Величина скорости вращения возбудителя оказывает большое влияние на быстроту нарастания напряжения на его зажимах. При больших скоростях вращения возбудителя уменьшается величина потока, необходимого для создания требуемого напряжения возбудителя, и, следовательно, представляется возможность получения меньшей индуктивности обмотки возбуждения. С этой стороны возбудители быстроходных турбогенераторов, непосредственно соединенные с последовательными сопротивлениями, имеют значительные преимущества по сравнению с возбудителями тихоходных гидрогенераторов. Поэтому часто для возбудителей гидрогенераторов предпочтается привод от отдельного быстроходного двигателя. Чтобы различные повреждения на стороне переменного тока не отражались на системе возбуждения, питание приводного двигателя возбудителя производится не от главных шин станции, а от генераторов, работающих на осветительную сеть станции, или же от особого вспомогательного генератора, сидящего на одном валу с главным гидрогенератором. Такая схема возбуждения (рис. 15) принята для главных генераторов 1 Днепровской гидростанции. Вспомогательный генератор 2 в этой схеме кроме приводного двигателя 4 главного возбудителя 5 питает еще приводные двигатели регуляторов турбины. Главный возбудитель, имеющий независимое возбуждение от вспомогательного возбудителя 6, выполнен быстроходным (985 об/мин) и дает поэтому достаточно высокую скорость возбуждения. Возбудитель 3 вспомогательного генератора выполнен тихоходным (88,2 об/мин), но для него большая скорость возбуждения не является необходимой. Из других элементов схемы показаны регуляторы напряжения 7, трансформаторы напряжения 8 и контакты 9 регулятора напряжения.

Применение возбудителей с независимым возбуждением

В возбудителях с независимым возбуждением, как видно из выражений (15) и (16) и кривых рис. 13 и 14, можно достичь значительно больших скоростей возбуждения, чем в возбудителях с самовозбуждением, у которых ток возбуждения зависит от напряжения на зажимах возбудителя и поэтому возрастает медленнее, чем при независимом возбуждении. Особенное значение применение независимого возбуждения возбудителей имеет для тихоходных гидрогенераторов, так как в этом случае благодаря большой индуктивности обмотки возбуждения при самовозбуждении невозможно получить до-



статочно высокую скорость нарастания напряжения возбуждения.

Повышение напряжения вспомогательного возбудителя

При независимом возбуждении скорость нарастания напряжения главного возбудителя может быть значительно увеличена путем повышения напряжения вспомогательного возбудителя. Это следует из уравнения (15). При сохранении существующей обмотки возбуждения главного возбудителя в этом случае для получения тех же самых ампер-витков возбуждения приходится последовательно с обмоткой возбуждения включать добавочное сопротивление r' такой величины, чтобы ток возбуждения сохранил свое прежнее значение. Если напряжение вспомогательного возбудителя повысить в k раз, то, очевидно, для выполнения указанного требования относительно тока возбуждения придется выбрать добавочное сопротивление r' так, чтобы полное сопротивление цепи возбуждения $R + r'$ было равно rR . Тогда скорость возбуждения возрастет в том же отношении, как и напряжение вспомогательного возбудителя. Увеличение скорости возбуждения происходит здесь за счет уменьшения постоянной времени при включении добавочного сопротивления и достигается благодаря увеличению мощности вспомогательного возбудителя.

Параллельное включение катушек возбуждения

Разделение обмотки возбуждения на несколько параллельных групп представляет наиболее удобный способ получения больших скоростей возбуждения. Получение больших скоростей нарастания напряжения при параллельном соединении полюсных катушек возможно, однако, лишь при включении в цепь возбуждения добавочного сопротивления. При отсутствии последнего постоянная времени в случае переключения обмотки возбуждения с последовательного соединения на параллельное остается неизменной, так как самоиндукция и сопротивление изменяются при этом одинаково. Как при независимом возбуждении, так и при самовозбуждении увеличение скорости нарастания напряжения возбудителя достигается при включении добавочного сопротивления, уменьшающего постоянную времени лишь за счет увеличения мощности возбуждения.

При практическом переходе в имеющейся машине от последовательного к параллельному включению полюсных катушек необходимым условием правильной работы возбудителя является сохранение прежних ампер-витков возбуждения. При неизменном числе витков обмотки возбуждения на каждом полюсе это условие приводит к необходимости сохранения прежнего тока возбуждения в каждой катушке. Так как при включении полюсных катушек в a параллельных групп сопротивление обмотки возбуждения уменьшается в a раз, а ток в каждой катушке возрастает в a раз, то для получения прежнего тока в катушке добавочное сопротивление r' нужно взять такой величины, чтобы полное сопротивление всей цепи возбуждения получилось в a раз меньше сопротивления обмотки возбуждения при последовательном соединении. Таким образом величина добавочного сопротивления r' , вклю-

чаемого последовательно с обмоткой возбуждения, легко определяется из выражения:

$$r' = \frac{R_{посл}}{a} - R_{паралл}. \quad (18)$$

Необходимо отметить, что при таком переключении обмотки возбуждения с последовательного на параллельное соединение полный ток возбуждения увеличивается в a раз. Помимо возрастания мощности возбуждения этот факт увеличения тока возбуждения может оказаться очень неблагоприятно в том отношении, что сделается невозможной работа контактов быстродействующего регулятора напряжения вибрирующего типа и потребуется переход к реостатному регулятору.

В случае независимого возбуждения те же самые ампер-витки на полюс, что и при последовательном соединении полюсных катушек, можно получить при параллельном соединении и без включения добавочного сопротивления, если уменьшить в a раз напряжение вспомогательного возбудителя. Однако такой способ не способствует увеличению скорости возбуждения, так как мощность вспомогательного возбудителя остается при этом без изменения.

Для большей ясности в данном вопросе приведем следующую сравнительную таблицу для различных способов соединения полюсных катушек возбудителя с независимым возбуждением:

Так как в формуле (16) для определения скорости нарастания напряжения и во всех рассмотренных в таблице случаях остаются постоянными все величины кроме двучлена, стоящего

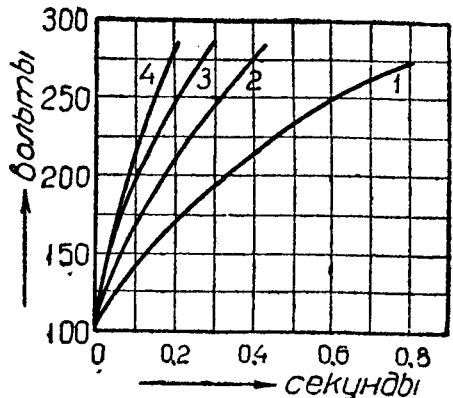


Рис. 16

в скобках, и числа параллельных групп a , то для краткости в приведенной таблице постоянная часть обозначена через C .

В качестве иллюстрации эффективности параллельного соединения катушек возбуждения на рис. 16 представлены кривые нарастания напряжения у возбудителя с независимым возбуждением при последовательном соединении (кривая 1) и при разделении обмотки возбуждения на 2, 3 и 4 параллельных группы (кривые 2, 3 и 4). Для удобства сравнения кривые вычерчены от начальной точки, соответствующей

Таблица 3

Способ соединения полюсных катушек	Последовательное соединение	Параллельное без добавочного сопротивления	Параллельное с добавочным сопротивлением
Число последовательно соединенных катушек	$2p$	$\frac{2p}{a}$	$\frac{2p}{a}$
Сопротивление одной катушки	r_k	r_k	r_k
Сопротивление обмотки возбуждения	$2p \cdot r_k$	$\frac{2p \cdot r_k}{a^2}$	$\frac{2p \cdot r_k}{a^2}$
Добавочное сопротивление	—	—	$\frac{2p \cdot r_k}{a} - \frac{2p \cdot r_k}{a^2}$
Сопротивление цепи возбуждения	$p \cdot r_k$	$\frac{2p \cdot r_k}{a^2}$	$\frac{2p \cdot r_k}{a^2}$
Напряжение вспомогательного возбудителя	V	$\frac{V}{a}$	V
Ток возбуждения	i	$a \cdot i$	$a \cdot i$
Ток в катушке	i	i	i
Ампер-витки на полюс	$i \cdot w$	$i \cdot w$	$i \cdot w$
Скорость нарастания напряжения	$C(V - 2p \cdot r_k \cdot i)$	$C \left(\frac{V}{a} - \frac{2p \cdot r_k}{a^2} a \cdot i \right) a$	$C \left(V - \frac{2p \cdot r_k}{a} a \cdot i \right) a$
Мощность вспомогательного возбудителя	$V \cdot i$	$V \cdot a \cdot i = V \cdot i$	$V \cdot a \cdot i = a \cdot V \cdot i$

60 V. Как видно из кривых, параллельное включение катушек имеет весьма значительный эффект, сокращая время возбуждения во столько же раз, сколько имеется параллельных ветвей.

Выполнение полюсов и ярма из листового железа

Как указывалось ранее, скорость нарастания напряжения уменьшается благодаря токам Фуко, возникающим в массивных частях магнитной цепи при изменениях потока. Размагничивающее действие токов Фуко имеет особенно большое значение.

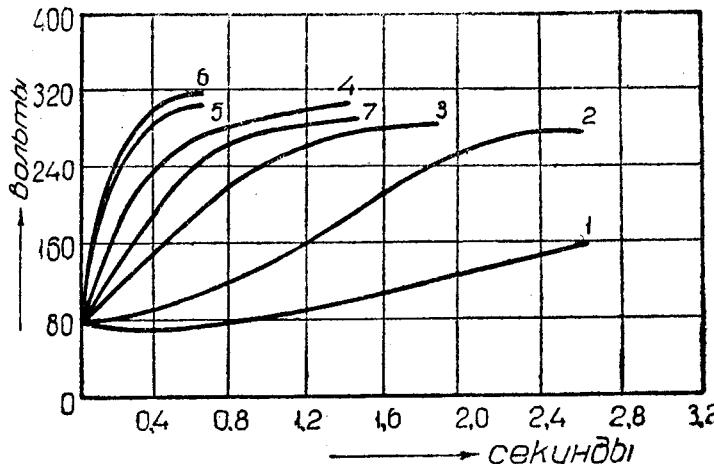


Рис. 17

Чем при больших скоростях возбуждения, как, например, при ударном возбуждении синхронных конденсаторов. Для уменьшения размагничивающего действия токов Фуко хорошим средством является выполнение полюсов и ярма из листового железа. При небольших сравнительно скоростях нарастания напряжения возбудителей синхронных генераторов вполне достаточным оказывается выполнение из листового железа только одних полюсов, при ударном же возбуждении синхронных конденсаторов листовой материал необходимо применять также и для ярма.

Применяя указанные выше способы, можно весьма значительно повысить скорость нарастания напряжения возбудителя. По представленным на рис. 17 кривым можно проследить влияние на скорость возбуждения всех факторов, способствующих ее увеличению, а также сделать заключение о значении быстроходности возбудителя, рода возбуждения и способа соединения обмотки возбуждения. Кривая 1 дана для тихоходного возбудителя с самовозбуждением и последовательным соединением полюсных катушек; кривые 2 и 3 показывают

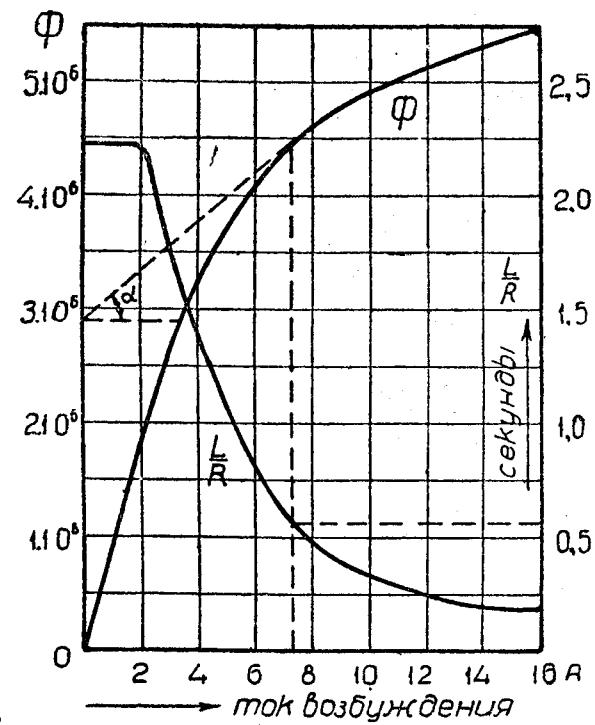
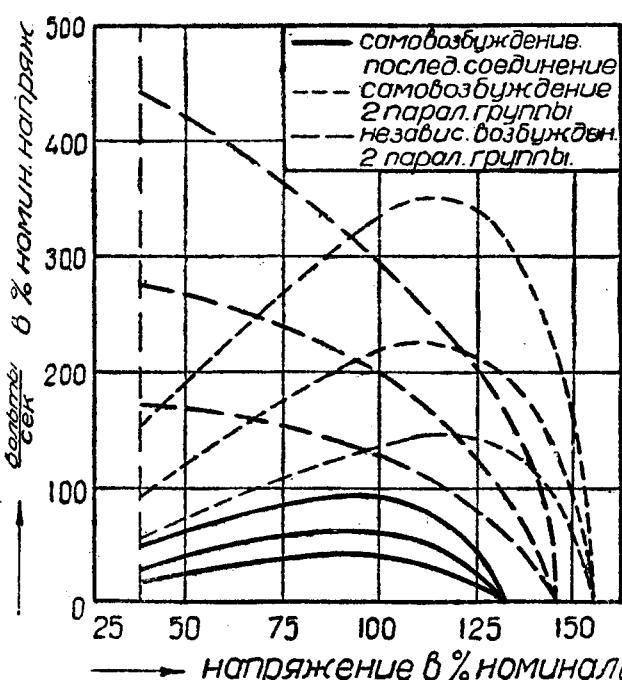


Рис. 19

нарастание напряжения у одного и того же возбудителя при самовозбуждении и независимом возбуждении; кривые 4 и 5 представляют быстроходные возбудители такой же мощности, как и предыдущие, но с параллельным соединением обмотки возбуждения, различающиеся между собой по скорости на 25%; кривые 7 и 3 даны для одного и того же возбудителя при разделении его обмотки возбуждения на 3 и 2 параллельные цепи; наконец, кривая 6 представляет возбудитель, в котором для повышения скорости возбуждения использованы все имеющиеся возможности.

Из рассмотренных способов повышения скорости возбуждения мы видели, что наиболее действительными оказываются разделение обмотки возбуждения на параллельные группы и применение независимого возбуждения. Быстроходность же возбудителя, оказывающая большое влияние на скорость возбуждения, связана с конструкцией машины и не может быть изменена произвольно. Степень эффективности того или другого способа увеличения скорости возбуждения оказывается тесно связанной с отношением $kW/\text{об}/\text{мин}$, характеризующим физическую мощность якоря возбудителя и косвенным образом учитывающим быстроходность. В этом отношении весьма показательны испытания, проведенные Washburn на целым рядом возбудителей как при последовательном, так и при параллельном соединении полюсных катушек для случаев самовозбуждения и возбуждения от вспомогательного возбудителя.

Приведенные на рис. 18 экспериментальные кривые Washburn дают скорость нарастания напряжения возбудителя, измеренную числом вольт в секунду, в процентах по отношению к номинальному напряжению. Из кривых видно, что в машинах с малым значением отношения $kW/\text{об}/\text{мин}$ можно получить тем большую скорость возбуждения, чем меньше это отношение; в машинах же большой мощности, имеющих высокие значения отношения $kW/\text{об}/\text{мин}$, влияние этого фактора на скорость возбуждения даже для машин, значительно отличающихся друг от друга в величинах $kW/\text{об}/\text{мин}$, почти совсем не сказывается. Кривые рис. 18 подтверждают также сделанные ранее выводы относительно распределения по кривой намагничивания скоростей нарастания напряжения при независимом возбуждении и в случае самовозбуждения.



Как известно, коэффициент самоиндукции обмотки возбуждения при любом способе соединения полюсных катушек определяется из выражения:

$$L = \frac{2p \cdot w \cdot 10^{-8}}{a^2} \cdot \frac{d\Phi}{di}, \quad (19)$$

где все обозначения сохраняют свое прежнее известное из предыдущего значение.

Пользуясь магнитной характеристикой возбудителя, легко можно определить из нее коэффициент самоиндукции и построить кривую изменения постоянной времени T в зависимости от тока возбуждения. Так как обычно магнитная характеристика строится для потока воздушного зазора, то на основании равенства $\Phi = \sigma \cdot \Phi_a$ будем иметь:

$$L = \frac{2p \cdot w \cdot \sigma \cdot 10^{-8}}{a^2} \cdot \frac{d\Phi_a}{di}. \quad (20)$$

В то же время из рис. 19 мы можем найти для любой точки характеристики значение производной $\frac{d\Phi_a}{di}$, а именно:

$$\frac{d\Phi_a}{di} = \operatorname{tg} \alpha. \quad (21)$$

Проводя поэтому касательные в различных точках характеристики и вычисляя для этих точек величину $T = \frac{L}{R}$, можно построить кривую изменения постоянной времени.

Если последовательно с обмоткой возбуждения включено добавочное сопротивление r' , то постоянная времени в этом случае будет $T = \frac{L}{R + r'}$.

Выбор скорости возбуждения

Ввиду большой сложности проблемы устойчивости и сравнительно незначительного еще применения систем быстродействующего возбуждения в вопросе выбора необходимых скоростей нарастания напряжения возбудителей до сих пор нет еще установленных решений. Очевидно, что здесь главнейшую роль играет влияние быстрого подъема напряжения возбудителя на поток в воздушном зазоре генератора при авариях системы. Кроме скорости нарастания напряжения в системах быстродействующего возбуждения весьма важным фактором является быстрота замыкания контактов регулятора напряжения, оказывающая в нормальных системах возбуждения лишь незначительное влияние на время восстановления потока генератора.

Учитывая наиболее неблагоприятный случай размагничивания генератора при трехфазном коротком замыкании, когда напряжение падает до 50% своего начального значения в течение нескольких десятков долей секунды, необходимо выбрать такую скорость возбуждения, которая дала бы возможность получить лишь весьма кратковременное и незначительное ослабление поля генератора. Powell в качестве критерия для выбора скорости возбуждения приводит положение, установленное опытным путем для систем с быстродействующим возбуждением, что поток в зазоре генератора не должен падать больше чем на 5% от своего начального значения при внезапном изменении реактивных мощностей и от 50% номинальных мощностей полной нагрузки до 150%, что соответствует приблизительно режиму генератора до и после аварии.

Практически получаемые скорости нарастания напряжения, возбудителей мощных синхронных генераторов не превосходят 500 V/sec. GEC дает для своих возбудителей с номинальным напряжением 250 V средние скорости возбуждения порядка

200 V/sec, что составляет 80% от номинального напряжения, в то время как фирма Westinghouse применяет значительно большие скорости. Это расхождение в величинах скорости возбуждения еще раз указывает на отсутствие должной ясности в данном вопросе.

Применение очень высоких скоростей подъема напряжения в возбудителях синхронных генераторов, хотя и дает повышенную устойчивость при нарушениях режима, все же является нежелательным, так как после ликвидации аварии может привести к неустойчивому состоянию благодаря колебаниям, возникающим при большом потоке напряжения в момент освобождения от аварии*).

Высокие скорости возбуждения, достигающие 6 000 — 7 000 V/sec, оказываются необходимыми, повидимому, лишь при ударном возбуждении синхронных конденсаторов, начи-

нающем действовать в момент аварии и включаемом при ликвидации. Как видно из рис. 20, синхронные конденсаторы в случае такого сверхвозбуждения значительно повышают отдачу реактивных мощностей во время аварии, чего нельзя было бы получить при обычной системе возбуждения, даже применяя синхронные конденсаторы значительной мощности. Необходимо, однако, отметить, что при сверхвозбуждении требуется сильно повышенная мощность возбудителей и высокий поток напряжения, доходящий до 1 000 V.

Так как применение быстродействующего возбуждения имеет особое значение в мощных силовых системах, где требуется повышенная надежность работы, то выбор скорости

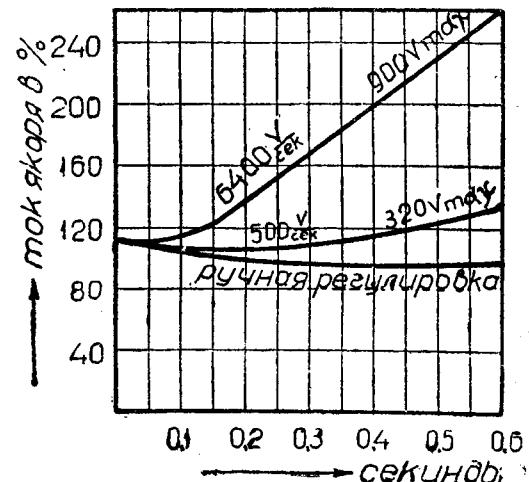


Рис. 20

возбуждения в широкой степени определяется экономическими условиями и должен решаться применительно к конкретным условиям каждого отдельного случая.

Что касается теоретической стороны разбираемого вопроса, то она требует дальнейшей проработки на основе экспериментальных данных и использования опыта работающих установок быстродействующего возбуждения.

Литература

1. Р. А. Лютер, Электрические характеристики современных американских и европейских гидро- и турбогенераторов, „Вестник электропромышленности“ № 1, 1931.
2. А. Е. Алексеев и Р. А. Лютер, Синхронные машины для мощных районных систем, „Электричество“ № 12, 1931.
3. Л. А. Чернышев, Передача больших мощностей на большие расстояния, „Электричество“ № 5, 1931.
4. С. А. Лебедев, Устойчивость параллельной работы крупных электрических станций, „Электричество“ № 5, 1931.
5. А. А. Смуров, Устойчивость параллельной работы центральных электрических станций, соединенных линией передачи, „Электричество“ № 8, 1930.
6. И. И. Сазанов, Устойчивость параллельной работы электростанций, „Электричество“ № 2, 1932.
7. Р. Рюденберг, Явления неустановившегося режима в электрических установках.
8. Н. В. Washburn, Rates of Voltage Build up Obtainable with Standard Exciters, „GER“, July 1928.
9. D. M. Jones, Super-excitations, „GER“, Dec. 1927.
10. C. A. Powell, Quick Response Excitation for Alternating Current Synchronous Machinery, „El. Journal“, Apr. 1927.
11. P. H. Robinson, Practical Considerations Affecting Quick Response Excitation for Salient Pole Machines, „El. Journal“, Febr. 1928.
12. G. F. Hamner, High Speed Excitation Generators, „El. W.“ Aug. 1927.
13. R. E. Doherty, Excitation Systems, „AIEE“, May 1928.
14. C. A. Nickel and B. M. Carothers, Automatic Voltage Regulators, „AIEE“, July 1928.
15. R. D. Booth and G. S. Dahl, Power Systems Stability, „GER“, Dec. 1930, Febr. 1931.
16. D. M. Jones, Super-excitations on Synchronous Condensers for Conowingo System, May 1928.
17. T. I. Woith, A comparison of Exciters for Waterwheel Generators, „El. Journal“, June 1931.
18. E. I. Burnham, Generator Overvoltage when Dropping Load, „El. Engn.“, March 1932.
19. Instructions GEC — 847. Voltage Regulator, type FA-4.

Как известно, коэффициент самоиндукции обмотки возбуждения при любом способе соединения полюсных катушек определяется из выражения:

$$L = \frac{2p \cdot w \cdot 10^{-8}}{a^2} \cdot \frac{d\Phi}{di}, \quad (19)$$

где все обозначения сохраняют свое прежнее известное из предыдущего значение.

Пользуясь магнитной характеристикой возбудителя, легко можно определить из нее коэффициент самоиндукции и построить кривую изменения постоянной времени T в зависимости от тока возбуждения. Так как обычно магнитная характеристика строится для потока воздушного зазора, то на основании равенства $\Phi = \sigma \cdot \Phi_a$ будем иметь:

$$L = \frac{2p \cdot w \cdot \sigma \cdot 10^{-8}}{a^2} \cdot \frac{d\Phi_a}{di}. \quad (20)$$

В то же время из рис. 19 мы можем найти для любой точки характеристики значение производной $\frac{d\Phi_a}{di}$, а именно:

$$\frac{d\Phi_a}{di} = \operatorname{tg} \alpha. \quad (21)$$

Проводя поэтому касательные в различных точках характеристики и вычисляя для этих точек величину $T = \frac{L}{R}$, можно построить кривую изменения постоянной времени.

Если последовательно с обмоткой возбуждения включено добавочное сопротивление r' , то постоянная времени в этом случае будет $T = \frac{L}{R+r'}$.

Выбор скорости возбуждения

Ввиду большой сложности проблемы устойчивости и сравнительно незначительного еще применения систем быстродействующего возбуждения в вопросе выбора необходимых скоростей нарастания напряжения возбудителей до сих пор нет еще установленных решений. Очевидно, что здесь главнейшую роль играет влияние быстрого подъема напряжения возбудителя на поток в воздушном зазоре генератора при авариях системы. Кроме скорости нарастания напряжения в системах быстродействующего возбуждения весьма важным фактором является быстрая замыкания контактов регулятора напряжения, оказывающая в нормальных системах возбуждения лишь незначительное влияние на время восстановления потока генератора.

Учитывая наиболее неблагоприятный случай размагничивания генератора при трехфазном коротком замыкании, когда напряжение падает до 50% своего начального значения в течение нескольких десятых долей секунды, необходимо выбрать такую скорость возбуждения, которая дала бы возможность получить лишь весьма кратковременное и незначительное ослабление поля генератора. Powell в качестве критерия для выбора скорости возбуждения приводит положение, установленное опытным путем для систем с быстродействующим возбуждением, что поток в зазоре генератора не должен падать больше чем на 5% от своего начального значения при внезапном изменении реактивных мощностей и от 50% номинальных мощностей полной нагрузки до 150%, что соответствует приблизительно режиму генератора до и после аварии.

Практически получаемые скорости нарастания напряжения, возбудителей мощных синхронных генераторов не превосходят 500 V/sec. GEC дает для своих возбудителей с номинальным напряжением 250 V средние скорости возбуждения порядка 200 V/sec, что составляет 80% от номинального напряжения, в то время как фирма Westinghouse применяет значительно большие скорости. Это расхождение в величинах скорости возбуждения еще раз указывает на отсутствие должной ясности в данном вопросе.

Применение очень высоких скоростей подъема напряжения в возбудителях синхронных генераторов, хотя и дает повышенную устойчивость при нарушениях режима, все же является нежелательным, так как после ликвидации аварии может привести к неустойчивому состоянию благодаря колебаниям, возникающим при большом потоке напряжения в момент освобождения от аварии⁴⁾.

Высокие скорости возбуждения, достигающие 6 000 — 7 000 V/sec, оказываются необходимыми, повидимому, лишь при ударном возбуждении синхронных конденсаторов, начи-

нающем действовать в момент аварии и включаемом при ее ликвидации. Как видно из рис. 20, синхронные конденсаторы в случае такого сверхвозбуждения значительно повышают отдачу реактивных мощностей во время аварии, чего нельзя было бы получить при обычной системе возбуждения, даже применяя синхронные конденсаторы значительной мощности. Необходимо, однако, отметить, что при сверхвозбуждении требуется сильно повышенная мощность возбудителей и высокий поток напряжения, доходящий до 1 000 V.

Так как применение быстродействующего возбуждения имеет особое значение в мощных силовых системах, где требуется повышенная надежность работы, то выбор скорости

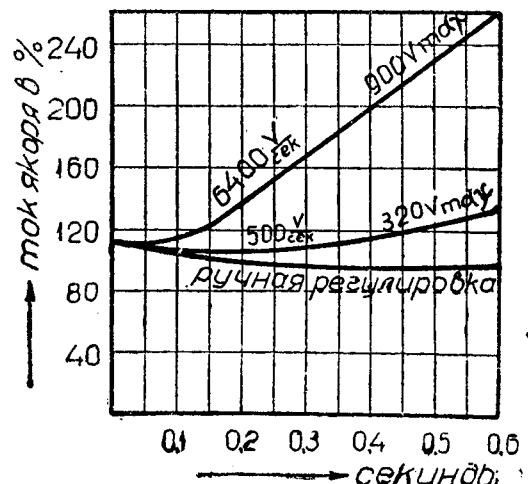


Рис. 20

возбуждения в широкой степени определяется экономическими условиями и должен решаться применительно к конкретным условиям каждого отдельного случая.

Что касается теоретической стороны разбираемого вопроса, она требует дальнейшей проработки на основе экспериментальных данных и использования опыта работающих установок быстродействующего возбуждения.

Литература

1. Р. А. Лютер, Электрические характеристики современных американских и европейских гидро- и турбогенераторов, „Вестник электропромышленности“ № 1, 1931.
2. А. Е. Алексеев и Р. А. Лютер, Синхронные машины для мощных районных систем, „Электричество“ № 12, 1931.
3. Л. А. Чернышев, Передача больших мощностей на большие расстояния, „Электричество“ № 5, 1931.
4. С. А. Лебедев, Устойчивость параллельной работы крупных электрических станций, „Электричество“ № 5, 1931.
5. А. А. Смуров, Устойчивость параллельной работы центральных электрических станций, соединенных линией передачи, „Электричество“ № 8, 1930.
6. П. И. Сазанов, Устойчивость параллельной работы электростанций, „Электричество“ № 2, 1932.
7. Р. Рюденберг, Явления неустановившегося режима в электрических установках.
8. Н. В. Washburn, Rates of Voltage Build up Obtainable with Standard Exciters, „GER“, July 1928.
9. Д. М. Jenes, Super-excitations, „GER“, Dec. 1927.
10. С. А. Powell, Quick Response Excitation for Alternating Current Synchronous Machinery, „El. Journal“, Apr. 1927.
11. Р. Н. Robinson, Practical Considerations Affecting Quick-Response Excitation for Salient Pole Machines, „El. Journal“, Febr. 1928.
12. Г. Ф. Hamner, High Speed Excitation Generators, „El. W.“ Aug. 1927.
13. Р. Е. Doherty, Excitation Systems, „AIEE“, May 1928.
14. С. А. Nickel and В. М. Carothers, Automatic Voltage Regulators, „AIEE“, July 1928.
15. Р. D. Booth and G. S. Dahl, Power Systems Stability, „GER“, Dec. 1930, Febr. 1931.
16. Д. М. Jenes, Super-excitations on Synchronous Condensers for Synchronous System, May 1928.
17. Т. И. Woth, A comparison of Exciters for Waterwheel Generators, „El. Journal“, June 1931.
18. Е. И. Burnham, Generator Overvoltage when Dropping Load, „El. Engn.“, March 1932.
19. Instructions GEC — 847, Voltage Regulator, type FA-4.

⁴⁾ С. А. Powell, „El. Journal“, Apr. 1927.

НОВОЕ В ПРАКТИКЕ ОГРАНИЧЕНИЯ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ

Железные сопротивления для ограничения токов короткого замыкания

Инж. Буткович Ю. В., инж. Кулакова Р. В.¹⁾

ВЭИ

Ограничение токов короткого замыкания в маломощных ответвлениях, присоединенных к шинам с мощными источниками питания, является весьма актуальной задачей. Однако применение реакторов не всегда возможно и в большинстве

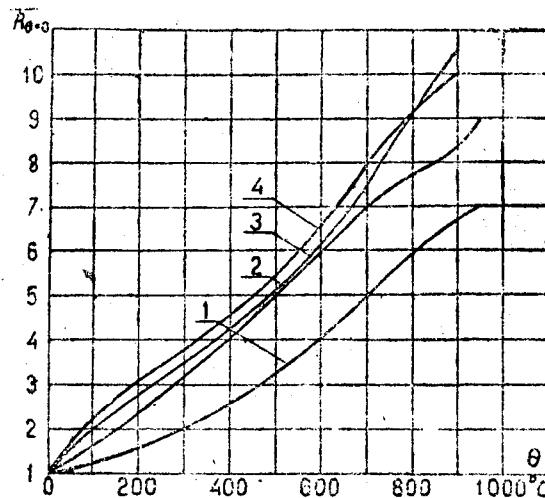


Рис. 1. Зависимость кратности увеличения сопротивления от повышения температуры.

- 1—полосовое железо 1.55×20 шт
- 2—кровельное железо 0.55×20
- 3—кабельная броня 0.8×60
- 4— 0.5×45

случаев весьма затруднительно. При напряжениях до 6 000 В и малых токах (до 100—150 А) реакторы получаются сравнительно громоздкими и дорогостоящими.

Чрезвычайно важен вопрос ограничения токов короткого замыкания в сетях низкого напряжения до 500 В, например, в фабрично-заводских установках, где токи короткого замыкания могут достигать весьма больших значений. Весьма удачной идеей ограничения токов в низковольтных сетях оказалось применение железных сопротивлений (резисторов), нашедших довольно широкое распространение в Германии. Железные сопротивления строятся для напряжений до 6 кВ. Условия кризиса, безусловно, тормозят введение железных сопротивлений в капиталистических странах, ибо там нет оснований отказываться от меди, заполняющей заводские склады. В советских же условиях, где применение того или иного аппарата диктуется, главным образом, хлебной целесообразностью, железные ограничители должны найти широкое применение.

К сожалению, в деле внедрения этих сопротивлений в нашу практику мы еще сильно отстали, и если за последнее время и начинает развиваться интерес к резисторам, то во всяком случае нет еще достаточных сдвигов в смысле практической постановки вопроса.

При напряжениях до 6 кВ железные резисторы обходятся значительно дешевле и обладают несравненно меньшими габаритами, чем реакторы (до 200 А), не говоря уже о более низких напряжениях, где разница эта получается еще более значительной. Кроме того, ввиду малой напряженности поля около токоведущих частей расстояния до железобетонных конструкций могут быть значительно меньше, чем то необходимо для реакторов.

При малых токах и даже при сравнительно больших токах, но малых выдержках времени порядка десятых и сотых долей секунды, например, при работе железных сопротивлений с плавкими предохранителями или автоматами, размеры сопротивлений получаются настолько незначительными, что их легко можно располагать без отвода специального места.

Принцип действия железных резисторов основан, как известно, на увеличении сопротивления с температурой. Железо для этой цели оказалось наиболее подходящим материалом. Оно обладает высоким температурным коэффициентом и высокой температурой плавления ($\approx 1500^{\circ}\text{C}$). Таким обра-

зом повышение температуры при коротких замыканиях порядка $700\text{--}900^{\circ}\text{C}$ способно привести к значительным повышениям сопротивления железа (в 8—10 раз).

На рис. 1 представлена зависимость кратности увеличения сопротивления кровельного железа и кабельной брони от повышения температуры. Как показывает опыт, наиболее значительное влияние на температурный коэффициент оказывает содержание углерода. Анализ показал, что содержание углерода у образцов кабельной брони, давших наилучшие результаты, колеблется в пределах $0.05\text{--}0.07\%$. На рис. 2 дана зависимость кратности увеличения сопротивления образцов железа (с различным содержанием углерода) от температуры. Эти опытные результаты показывают, что не представляется особых трудностей получить для изготовления токоограничителей железо со средним температурным коэффициентом порядка $\alpha = 0.009$. Существенную роль играют также форма и размеры сечения железа. У сравнительно толстых полос при переменном токе довольно сильно проявляется явление скин-эффекта и насыщения железа. При малых плотностях тока, а следовательно, и при малых полях активное сопротивление получается значительно большим, чем сопротивление постоянному току. С увеличением силы тока магнитное насыщение железа увеличивается, скин-эффект уменьшается, а вместе с тем убывает и активное сопротивление. Таким образом, результирующий эффект при толстых полосах невелик, ибо сопротивление в начальный момент короткого замыкания резко спадает и начинает повышаться лишь позже по мере увеличения нагрева. Отношение между конечным и начальным сопротивлением получается небольшим (порядка 3—4).

Опыт показал, что при переменном токе 50 пер/сек не следует брать железо толщиной более 1 мм и вообще следует стремиться к возможно более тонким полосам. Тонкое железо благоприятно и в отношении условий охлаждения: оно слабее нагревается при номинальных нагрузках и быстрее охлаждается после коротких замыканий. Последние два обстоятельства имеют очень большое значение. Температуру перегрева для железных сопротивлений при номинальном режиме, вообще говоря, можно допустить сравнительно высокую, например, порядка 200°C , но тогда сузился бы диапазон колебания температуры, так как верхний предел более или менее жестко фиксирован ($800\text{--}900^{\circ}\text{C}$). Таким образом, чем ниже температура при номинальном режиме, тем больший эффект можно получить при ограничении тока короткого замыкания.

Повышение скорости спадания температуры после короткого замыкания имеет то значение, что сопротивление быстрее возвращается к начальному состоянию и, следовательно, становится способным воспринимать новое короткое.

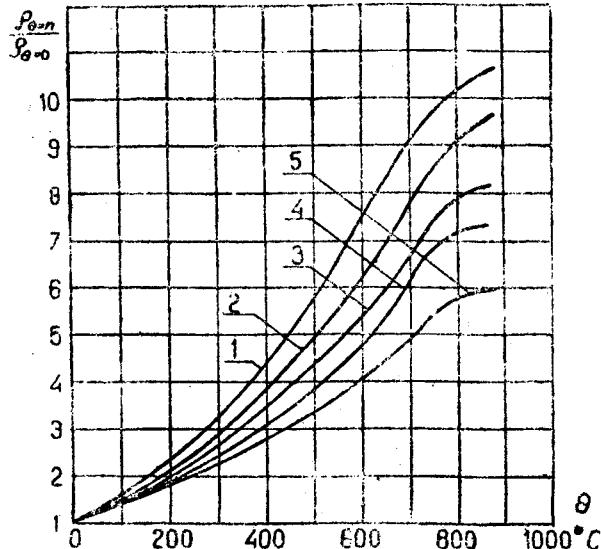


Рис. 2. Зависимость увеличения сопротивления от температуры для образцов железа с различным содержанием углерода

1—	содержание углерода	0,019%
2—	-	0,11%
3—	-	0,35%
4—	-	0,7%
5—	-	1,22%

Кроме того, чем быстрее охлаждается железо, тем меньше оно страдает от окисления, а следовательно, будет больше срок его службы. Что касается начального сопротивления железного ограничителя, то при номинальном режиме оно

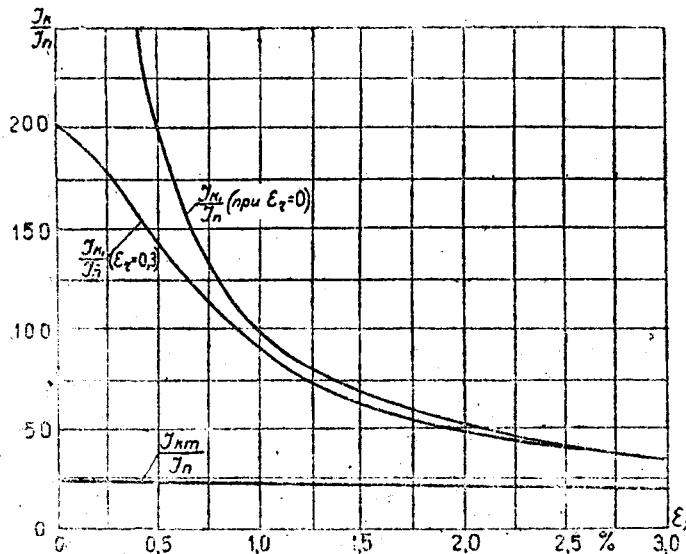


Рис. 3. Зависимость отношения начального и конечного тока короткого замыкания к номинальному току от процентного реактанца ϵ_x ($\epsilon_r = 0$ и $0,5\%$)

определяет собой потери и в свою очередь определяется последними. Обычно сопротивление это выражается в виде процентного падения напряжения при номинальном токе, отнесенном к фазовому напряжению,

$$\text{т. е. } \epsilon_{rn} = \frac{R_n}{E_\phi} \cdot I_n \cdot 100.$$

Эта величина в среднем принимается равной $0,5\%$. Очевидно, что и потери будут выражаться тем же процентом от общей пропускаемой резистором мощности. Малоамперные реакторы обладают потерями примерно того же порядка и отчасти даже более высокими. Таким образом при малых токах потери в железных резисторах могут быть исключены в смысле сравнения резисторов с реакторами.

В специальных случаях, когда резистор может включаться в цепь лишь после наступления аварий, будучи зашунтирован при нормальном режиме каким-либо приспособлением, хотя бы небольшим автоматом или предохранителем, начальное сопротивление может быть принято значительно более высоким.

Величины начальных и выключаемых токов

Рассмотрим случай, когда сопротивление R_n приключено к шинам. Все реактанцы генераторов и трансформаторов, питающих шины, заменим результирующим реактанцем X . Эффективное значение переменной составляющей тока короткого замыкания в начальный момент определяется очевидно равенством

$$I_{k1} = \frac{E_\phi}{\sqrt{X^2 + R_n^2}} \quad (1)$$

или, если X и R_n выразить в процентах, отнести к номинальному току ответвления I_n , то начальный ток короткого замыкания можно представить в виде

$$\frac{I_{k1}}{I_n} = \frac{100}{\sqrt{\epsilon_x^2 + \epsilon_{rn}^2}} \quad (2)$$

На рис. 3 представлена зависимость отношения начального тока короткого замыкания к номинальному току $\left[\frac{I_{k1}}{I_n} \right]$ от процентного реактанца ϵ_x для $\epsilon_{rn} = 0,5\%$ и для $\epsilon_{rn} = 0$. Как видно, при $\epsilon_x = 1\%$ начальный ток почти не зависит от активного сопротивления. При меньших ϵ_x резистор оказывает заметное влияние на ограничение начального тока короткого замыкания.

Возьмем пример: резистор $\epsilon_r = 0,5\%$ включен в ответвление с номинальным током $I_n = 100$ А. Сборные шины питают от генератора 10 000 кВА, 3 000 В, $\epsilon_{xg} = 10\%$. Реактанс генератора, отнесенный к току ответвления, составит

$$\epsilon_x = \frac{I_n}{I_{k1}} \epsilon_{xg} = \frac{100 \cdot 10 \cdot 3000}{10000 \cdot 10^3} \cdot \sqrt{3} = 0,519\%$$

По кривым рис. 3 видно, что при $\epsilon_r = 0,5\%$ $\frac{I_{k1}}{I_n} = 190$, а при $\epsilon_r = 0,1\%$ начальный ток снижается до $\frac{I_{k1}}{I_n} = 140$.

Очевидно, чем больше общая мощность на шинах, тем сильнее проявляется эффект ограничения начального тока короткого замыкания при помощи резистора. Здесь все время рассматривались эффективные значения токов симметричной составляющей и совершенно не принималась во внимание постоянная составляющая. Если принять ее во внимание, то оказывается, что при малых относительных реактивностях разница в ударных токах в защищенным и незащищенным фидерах увеличивается еще больше. Наличие активного сопротивления порядка $\epsilon_r = 0,5\%$ при малых реактивностях ведет к столь быстрому затуханию постоянной составляющей, что она практически очень мало или даже совсем не отражается на первой амплитуде тока, в то время как при отсутствии сопротивления постоянная составляющая может увеличить первую амплитуду почти в 2 раза.

Если замыкание происходит в наиболее неблагоприятный момент короткого замыкания, т. е. при максимуме симметричной составляющей, то уравнение тока можно с достаточной точностью представить в виде

$$i = I_m e^{-at} - I_m \cos \omega t = I_m (e^{-at} - \cos \omega t). \quad (3)$$

При $t = 0,01$ сек., т. е. через полпериода, ток достигает своего наибольшего значения, но этот максимум зависит от величины e^{-at} или в конце концов от $a = \frac{R}{L}$.

В пределе, когда $R = 0$ и $a = 0$, $e^{-at} = 1$, и тогда через каждые полпериода, т. е. через каждые $t = 0,01$ сек., ток будет достигать двойного амплитудного значения и иметь не затухающий характер. В действительности $R \neq 0$, и, следовательно, e^{-at} убывает по времени и тем быстрее, чем больше величина a .

Величину a можно представить в следующем виде:

$$a = \frac{R}{L} = \frac{\omega R}{X} = \omega \cdot \frac{\epsilon_r}{\epsilon_x},$$

где ϵ_r и ϵ_x отнесены к одной и той же силе тока, например к току ответвления, в которое включается защитное сопротивление. На рис. 4 и 5 приведены значение e^{-at} в зависимости от времени для $\epsilon_{rn} = 0,5$ и $1,0\%$ и $\epsilon_x = 0,1; 0,3; 0,5; 0,7$ и $1,0\%$.

Нас интересует значение постоянной составляющей через отрезок времени, соответствующий половине периода. Как видно, для $\epsilon_r = 1,0\%$ при всех значениях $\epsilon_x = 0,1-1,0\%$ постоянной слагающей можно практически пренебречь.

В общем можно не считаться с постоянной составляющей, когда

$$\frac{\epsilon_x}{\epsilon_r} \leq 1,0.$$

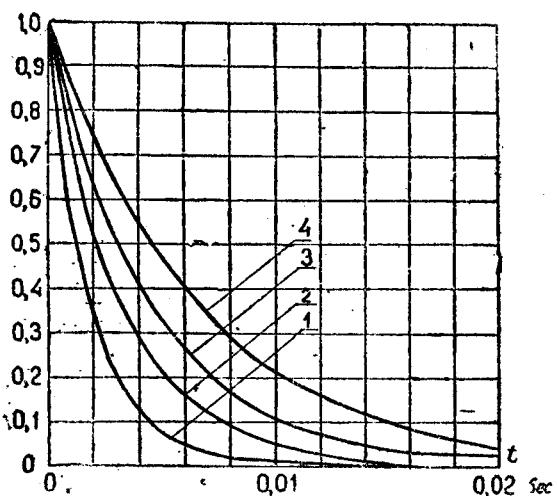


Рис. 4. Затухание постоянной составляющей во времени

- 1— при $\epsilon_r = 0,5\%$ и $\epsilon_x = 0,3\%$
- 2— . . . $\epsilon_r = 0,5\%$. $\epsilon_x = 0,5\%$
- 3— . . . $\epsilon_r = 0,5\%$. $\epsilon_x = 0,7\%$
- 4— . . . $\epsilon_r = 0,1\%$. $\epsilon_x = 1,0\%$

Если принять $c = 550 \frac{W_s}{kg \cdot ^\circ C}$, $\alpha = 0,009^\circ C$ и $t_m = 800^\circ C$, то выражение (8) преобразуется в

$$\psi = \frac{182t_m}{\epsilon_{rn} \left[233 \left(\frac{\epsilon_x}{\epsilon_{rn}} \right)^2 + 3680 \right]} \quad (13)$$

Далее, полагая удельное сопротивление железа при номинальной нагрузке (примерно при $50^\circ C$) равным в среднем $0,22 \frac{\Omega \cdot mm^2}{m}$,

удельный вес $7,9 \frac{kg}{dm^3}$ и подставляя значение ψ в уравнение (12), получим

$$\left. \begin{aligned} S &= 22,5 \frac{I_n}{\epsilon_{rn}} \cdot \frac{\sqrt{t_m}}{\sqrt{233 \left(\frac{\epsilon_x}{\epsilon_{rn}} \right)^2 + 3680}} = \\ &= 1,5 \frac{I_n}{\epsilon_{rn}} \cdot \frac{\sqrt{t_m}}{\sqrt{\left(\frac{\epsilon_x}{\epsilon_{rn}} \right)^2 + 15,8}}, \\ t &= 1,024E \frac{\sqrt{t_m}}{\sqrt{233 \left(\frac{\epsilon_x}{\epsilon_{rn}} \right)^2 + 3680}} = \\ &= 0,067E \frac{\sqrt{t_m}}{\sqrt{\left(\frac{\epsilon_x}{\epsilon_{rn}} \right)^2 + 15,8}}. \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

При $E_x = 0$ формулы (14) значительно упрощаются и получают вид

$$\left. \begin{aligned} S &= 0,375 \frac{I_n}{\epsilon_{rn}} \sqrt{t_m} \text{ mm}^2, \\ t &= 0,0168E \sqrt{t_m} \text{ m}. \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

В табл. 2 и 3 приведены сечения и длины железной ленты для различных токов и напряжений при $\epsilon_{rn} = 0,5\%$ и $t_m = 0,5$ сек., подсчитанные по формулам (15).

Таблица 2

Сечения железной ленты

I_n	25	50	75	100	150	200	A
S	13,3	26,5	39,8	53	79,5	106	mm ²

Таблица 3

Длина железной ленты

E	$500/\sqrt{3}$	$3000/\sqrt{3}$	$6000/\sqrt{3}$	V
I	3,44	20,6	41,2	m

При наличии в цепи реактивного сопротивления, с величиной которого, отнесененной к мощности ответвления, приходится считаться, размеры железной ленты могут быть уменьшены.

Если принять размеры ленты при $E_x = 0\%$ за 100%, то при $E_x \neq 0\%$ и при всех прочих равных условиях они должны убывать в следующем порядке [см. уравнение (14)]:

$$I\% = S\% = 100 \frac{\sqrt{15,8}}{\sqrt{\left(\frac{\epsilon_x}{\epsilon_{rn}} \right)^2 + 15,8}}. \quad (16)$$

На рис. 6 дано относительное изменение I и S , подсчитанные по последней формуле в зависимости от $\frac{\epsilon_x}{\epsilon_{rn}}$ и изменение веса железа.

Характер затухания тока короткого замыкания и повышения температуры по времени

Весьма большой интерес представляет закон изменения тока и температуры по времени. Действительно, если известен закон спадания тока, то можно судить о характере нагревания

токоведущих частей, находящихся в короткозамкнутой цепи. Знание закона нарастания температуры железа резистора дает представление о величине возможных предельных передержек в случае отказа действия реле выключателя или плавкого предохранителя. Интересно также проследить, как на эти изменения влияет величина процентной реактивности. В общем можно считать, что относительное значение тока короткого замыкания в зависимости от температуры железа изменяется согласно уравнению

$$\frac{I_k}{I_n} = \frac{100}{\sqrt{\epsilon_x^2 + \epsilon_{rn}^2 (1 + \alpha t)}}. \quad (17)$$

Зависимость между временем и температурой перегрева железа была дана уравнением (7). Величина ψ , входящая в это уравнение, определяется по формуле (8).

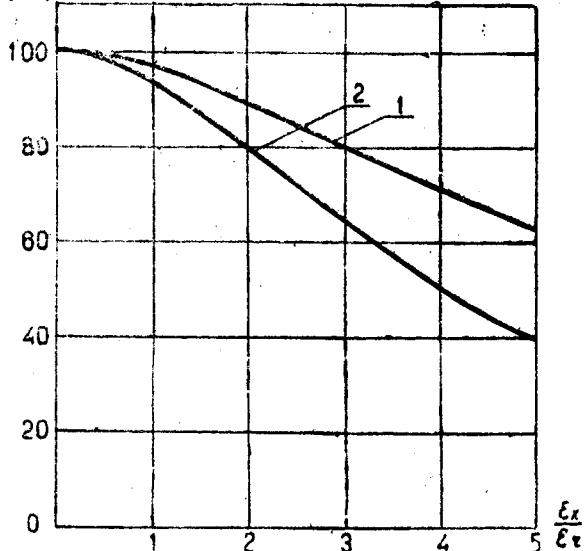
Очевидно, что, зная зависимость температуры от времени, можно по формуле (17) найти изменение тока короткого замыкания по времени.

Из уравнения (7) при $\epsilon_x = 0$ следует:

$$\text{откуда } \frac{\alpha}{2} t^2 + t = \frac{100}{\psi_0 c \epsilon_{rn}},$$

$$t = \frac{-1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot 10^6 \alpha}{\psi_0 c \epsilon_{rn}}}}{\alpha} = \frac{\sqrt{1 + At - 1}}{\alpha}. \quad (18)$$

С5%, С%, S%

Рис. 6. Относительное изменение длины, сечения (1) и веса (2) железной ленты в зависимости от отношения ϵ_x/ϵ_{rn} .

Ток короткого замыкания при $E_x = 0$ равен (уравнение 17)

$$\frac{I_k}{I_n} = \frac{100}{\epsilon_{rn} (1 + \alpha t)}$$

или, после замены повышения температуры его выражением (8)

$$\frac{I_k}{I_n} = \frac{100}{\epsilon_{rn} \sqrt{1 + At}}, \quad (19)$$

где

$$A = \frac{2 \cdot 10^6 \cdot \alpha}{\psi_0 c \epsilon_{rn}}, \quad (20)$$

где ψ_0 при $\epsilon_x = 0$ определяется по формуле (9).

Пример. Приведем определение тока короткого замыкания и повышения температуры железа в зависимости от времени для следующих условий:

$$t_m = 0,5 \text{ сек}; \quad t_m = 800^\circ C; \quad \alpha = 0,009^\circ C; \quad c = 550 \frac{W_s}{kg \cdot ^\circ C};$$

$$\epsilon_{rn} = 0,5\%; \quad \epsilon_x = 0 \text{ и } \epsilon_{rn} = 0,5\%; \quad \epsilon_x = 1,0\%.$$

Согласно формуле (9) для $\epsilon_x = 0$

$$\psi_0 = \frac{10^5 \cdot 0,5}{\left[800 + \frac{0,009 \cdot 800^2}{2} \right] 550 \cdot 0,5} = 0,0495 \frac{kg}{kVA}.$$

По формуле (13) или прямо путем пересчета получаем для $\epsilon_x = 1,0\%$

$$\psi = \frac{182 \cdot 0,5}{0,5 \left[233 \left(\frac{1,0}{0,5} \right)^2 + 3680 \right]} = 0,0395 \frac{kg}{kVA}.$$

Постоянная A , входящая в формулу (19), равна

$$A = \frac{2 \cdot 10^5 \alpha}{\psi_0 c \epsilon_{rn}} = \frac{2 \cdot 10^5 \cdot 0,009}{0,0495 \cdot 550 \cdot 0,5} = 132.$$

На рис. 7 кривые 1 и 2 представляют собой соответственно повышение температуры и затухание тока короткого замыкания при $\epsilon_x = 0$, построенные по формулам (18) и (19).

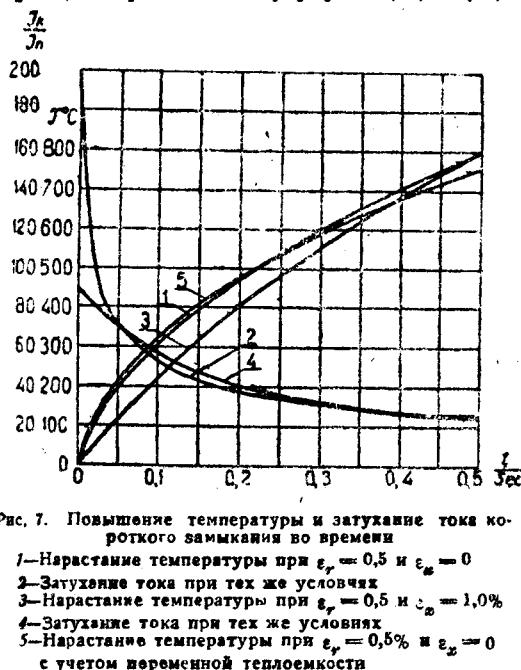


Рис. 7. Повышение температуры и затухание тока короткого замыкания во времени

- 1—Нарастание температуры при $\epsilon_y = 0,5$ и $\epsilon_x = 0$
- 2—Затухание тока при тех же условиях
- 3—Нарастание температуры при $\epsilon_y = 0,5$ и $\epsilon_x = 1,0\%$
- 4—Затухание тока при тех же условиях
- 5—Нарастание температуры при $\epsilon_y = 0,5\%$ и $\epsilon_x = 0$
с учетом переменной теплоемкости

На той же диаграмме по уравнениям (7) и (17) построены те же зависимости, но уже при процентном реактанце, отнесенном к току ответвления $\epsilon_a = 1,0\%$ (кривые 3 и 4). Как видно, при $\epsilon_a = 1,0\%$ сильно снижается начальное значение тока короткого замыкания. В дальнейшем ток по своей величине почти совпадает со случаем, когда $\epsilon_a = 0$.

При исследовании изменений температуры и тока в цепи принималась средняя теплоемкость железа ($c = 550 \frac{Ws}{kg \cdot ^\circ C}$).

Проследим теперь, в какой степени на процесс нарастания температуры влияет изменяющаяся теплоемкость, причем ограничимся только случаем, когда реактивным сопротивлением цепи можно пренебречь ($\epsilon_a = 0$).

На основании уравнения (6') имеем:

$$\frac{10^5 \cdot \alpha \cdot t}{\psi_0 c_0 (1 + \eta t) \epsilon_{rn}} = (1 + \alpha t) d t,$$

откуда

$$\frac{10^5 t}{\psi_0 c_0 \epsilon_{rn}} = \int_0^t (1 + \alpha \tau) (1 + \eta \tau) d \tau$$

или

$$\frac{10^5 t}{\psi_0 c_1 \epsilon_{rn}} = \tau + \frac{\alpha + \eta}{2} \tau^2 + \frac{\alpha \eta}{3} \tau^3, \quad (21)$$

где c_1 —начальная теплоемкость и η —температурный коэффициент теплоемкости.

На рис. 7 дана зависимость температуры от времени для тех же условий, что и в предыдущем примере. При подсчетах было принято $c_1 = 450 \frac{Ws}{kg \cdot ^\circ C}$ и $\eta = 0,00071 / ^\circ C$.

Как видно, вначале температура растет быстрее, и приблизительно при 500° кривые пересекаются. В конце процесса короткого замыкания температура железа оказывается равной 760° С, т. е. на 5% ниже, чем при расчетах с постоянной теплоемкостью в $550 \frac{Ws}{kg \cdot ^\circ C}$. Таким образом отклонения от действительного характера оказываются сравнительно небольшими.

Расчет сопротивлений вполне возможно вести при постоянной теплоемкости, имея при этом в виду, что в действительности конечная температура будет несколько меньше. Однако при значительных перегревах, выходящих далеко за пределы 800° , изменяющаяся теплоемкость может оказаться значительное положительное влияние.

На рис. 8 дано продолжение кривых рис. 7 до 1500° , т. е. до температуры плавления железа, при условии, что теплоемкость продолжает возрастать по закону прямой. Как видно

при учете переменной теплоемкости, время, в течение которого наступает расплавление железа, увеличивается приблизительно на 40%. Этот фактор, очевидно, должен приниматься во внимание при оценке термической устойчивости.

Работа резисторов совместно с плавкими предохранителями

При защите отдельных ответвлений, питаемых от мощной установки, при помощи плавких предохранителей возникает весьма важный вопрос ограничения тока короткого замыкания, а следовательно, и разрывной мощности предохранителей. Весьма удобными для этого являются железные резисторы, причем плавкая вставка должна быть выбрана строго определенного сечения (при данном ее материале). Расплавление вставки должно происходить в тот момент, когда железное сопротивление нагреется до максимальной допускаемой температуры, чтобы получить полное ограничение тока короткого замыкания. Условия разрыва дуги в предохранителе значительно облегчаются здесь тем, что сдвиг фаз между током и напряжением цепи значительно снижается.

Выбор сечения плавкой вставки в основном базируется на выдержке времени, которая может составлять сотые доли секунды.

Если процесс от начала короткого замыкания до полного разрыва цепи длится несколько полупериодов, то при расчете плавкой вставки можно с достаточной точностью оперировать с эффективными значениями тока *).

Ниже приводимый расчет плавкой вставки дается для случая, когда реактивное сопротивление цепи практическим равно нулю. В этом случае сила тока короткого замыкания может быть представлена на основании формулы (19), т. е.

$$I_k = \frac{I_n 100}{\epsilon_{rn} \sqrt{1 + A t}}. \quad (22)$$

Уравнение баланса энергии для плавкой вставки с ранее упомянутыми оговорками можно написать в виде

$$PR dt = G cd \tau$$

или

$$K \frac{I_k^2}{S_n^2} dt = \frac{d \tau}{1 + \alpha \tau}, \quad (23)$$

где S_n есть сечение плавкой вставки в mm^2 . Постоянная $K = \frac{\rho_0}{c \cdot \gamma}$ для различных материалов может быть взята из табл. 4.

Таблица 4

Материал	K	Темп. коэф. α	Темпер. плавления τ_g $^\circ C$
Медь	0,0057	0,004	~ 1084
Алюминий	0,012	0,0039	657
Цинк	0,021	0,0042	419
Железная проволока	0,0473	0,006	1500

После замены тока I_k выражением (22) и интегрирования в пределах $t = 0 + t_m$ и $\tau = 0 + \tau_g$ уравнение (23) получает вид

$$\frac{K}{A} \left(\frac{I_n}{S_n} \right)^2 10^4 \ln (1 + A t_m) = \frac{E_{rn}^2 \tau_g}{\alpha} \ln (1 + \alpha \tau_g),$$

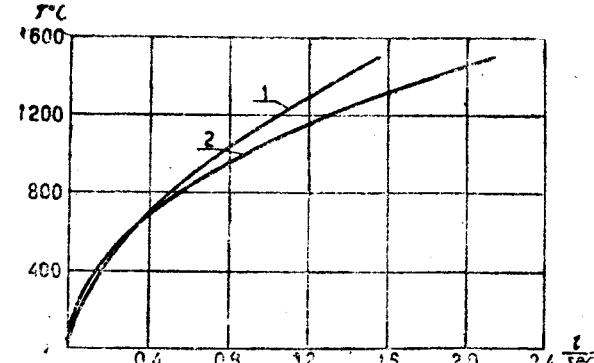


Рис. 8. Зависимость повышения температуры железа от времени для $\epsilon_y = -0,5\%$ и $\epsilon_x = 0\%$ при постоянной (1) и переменной теплоемкости (2)

где τ_g есть температура плавления вставки.

В настоящий момент производятся более уточненные расчеты. (Выполнено по корректуре.)

Отсюда номинальная плотность тока вставки равняется

$$\frac{I_n}{S_n} = E_{rn} 10^{-2} \sqrt{\frac{A}{\alpha K} \cdot \frac{\ln(1 + \alpha t_s)}{\ln(1 + At_m)}} \text{ A/mm}^2. \quad (24)$$

По этой формуле для заданного номинального тока I_n определяется сечение плавкой вставки.

Величина A зависит исключительно от характеристики железного сопротивления и определяется по формуле (20). Если выбрать следующие постоянные для железа резистора:

$$\tau_n = 800^\circ \text{C}; \alpha = 0,0091^\circ/\text{C}; c = 550 \frac{W_s}{\text{kg}^\circ \text{C}}; \epsilon_{rn} = 0,5\%$$

и, кроме того, принять время длительности короткого замыкания в 0,05 сек., то по формуле (20) найдем $A = 1320$. Зная A , можно по уравнению (24) определить плотность номинального тока для различных материалов.

Для меди	$\frac{I_n}{S_n} = 24 \text{ A/mm}^2$	}
алюминия	$\frac{I_n}{S_n} = 14,4 \text{ A/mm}^2$	
цинка	$\frac{I_n}{S_n} = 9,7 \text{ A/mm}^2$	
желези. проволоки	$\frac{I_n}{S_n} = 8,0 \text{ A/mm}^2$	

Как видно, плотности тока получились более или менее соответствующими применяемым для предохранителей закрытого типа. Практически эти данные придется вероятно несколько увеличить для обеспечения большей надежности действия железного сопротивления.

При этих условиях размеры железного сопротивления определяются по формуле (16) в виде

$$\left. \begin{aligned} S &= 0,168 I_n \\ l &= 0,00376 E_\phi \end{aligned} \right\} \quad (26)$$

где E_ϕ —фазовое напряжение и I_n —номинальный ток.

Пример. Требуется рассчитать плавкий предохранитель и железное сопротивление для защиты фидера 50 А 3000 В.

По формуле (26) найдем сечение предохранителя из меди

$$S_n = \frac{I_n}{24} = \frac{50}{24} \approx 2 \text{ mm}^2$$

и диаметр вставки

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 2}{3,14}} = 1,89 \text{ mm}.$$

Сечение и длина железной ленты определяются по формуле (26):

$$S = 0,168 \cdot I_n = 0,168 \cdot 50 \approx 8,5 \text{ mm}^2,$$

$$l = 0,00376 \cdot \frac{3000}{\sqrt{3}} \approx 6,6 \text{ м.}$$

На рис. 9 дана примерная конструкция такого сопротивления для крепления на стене.

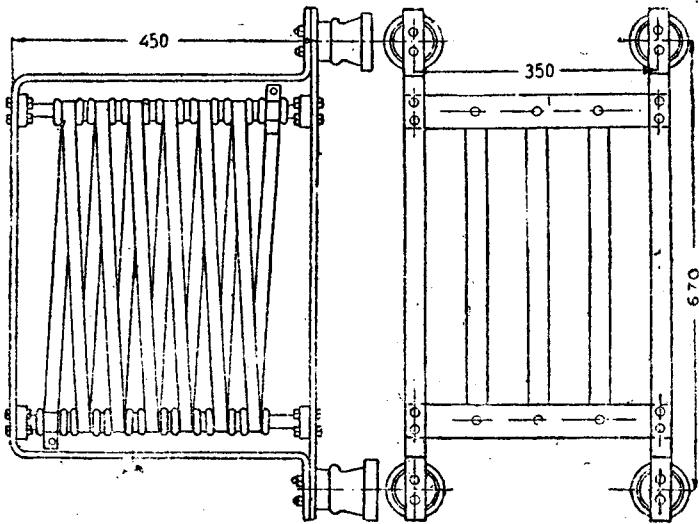


Рис. 9. Схематический чертеж настенного резистора

Вообще для плавких предохранителей можно было бы идти на меньшее еще время длительности короткого, что, однако, повело бы к слишком малому сечению железа уже несоответствующему длительному току нагрузки.

Конструкция резистора на 6 кВ

На рис. 10 и 11 представлена конструкция трехфазного резистора ВЭИ в намотанном и не намотанном видах. Каждая из фаз образуется двумя рамами. В качестве активного материала использована кабельная броня сечением $0,8 \times 60 \text{ mm}^2$. Фарфоровые втулки, специально изготовленные заводом «Изолятор», сидят на железных трубах, покрытых слоем бакелитированной бумаги толщиной около 3 мм. Длина ленты, намотанной на каждую фазу, составляет 32 м, т. е. по 16 м на каждую раму. Так как вертикальные стойки с изоляторами

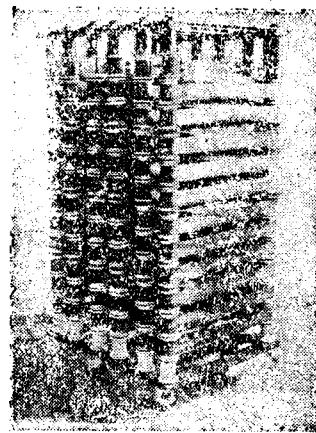


Рис. 10. Конструкция трехфазного резистора на 6 кВ в собранном виде



Рис. 11. Конструкция трехфазного резистора на 6 кВ без ленты

при протекании по ленте токов короткого замыкания стремятся прогибаться внутрь, то для придания всей конструкции большей жесткости между стойками каждой рамы установлено по три железных распорки. Для уменьшения электродинамических усилий, действующих на ленту, а следовательно и на стойки, средняя фаза намотана в обратном порядке. Смысль такой намотки ясен из рис. 12, если принять во внимание, что наиболее опасными в отношении электродинамических сил являются двухполюсное короткое и момент трехполюсного, когда мгновенные токи в двух смежных фазах равны по величине и текут в обратном направлении.

При такой намотке достигается то, что при разном направлении токов все ленты стремятся взаимно отталкиваться, и усилия в значительной степени компенсируются. Остаются более сильно нагруженными по отношению к остальным лишь крайние ленты. Все рамы связаны между собой сверху и снизу бакелитовыми досками, надежно изолирующими отдельные фазы.

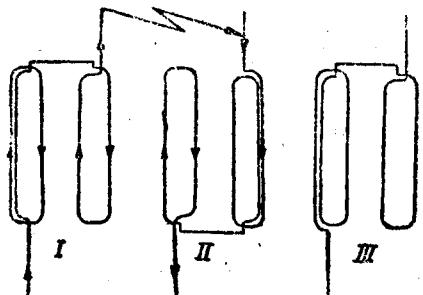


Рис. 12.—Схема намотки трехфазного резистора

Производство резисторов очень просто; почти не требуется какой-либо специально оборудованной базы. Кроме того, в качестве материала вполне можно использовать остатки кабельной брони с наших кабельных заводов и отбросы ее при разделке кабелей, в большом количестве имеющиеся у эксплуатирующих организаций.

В заключение следует отметить, что, несмотря на значительный интерес к железным резисторам со стороны электротехнических организаций, вопрос их применения остается еще на мертвой точке. Между тем применение железных сопротивлений могло бы дать значительную экономию меди. В многих случаях малозатратные медные реакторы могли бы быть заменены железными резисторами.

Х Р О Н И К А**Ленинградский электрофизический институт (ЛЭФИ)****Работа изоляционного сектора****Старение электрической изоляции**

Одной из основных причин старения электрической изоляции является ее разрушение разрядами, возникающими в полостях, заполненных газом или жидкостью, включенных в твердый диэлектрик.

Действие этих разрядов может быть чисто химическим, так как при разряде образуются химически сильно активные вещества (оzone, окислы, азот), а также тепловым и механическим. Задача производимого в ЛЭФИ исследования заключается в том, чтобы измерить те поля, при которых начинаются разряды в газовых и жидкостных прослойках, выяснить интенсивность действия этих разрядов на твердую изоляцию и разработать меры борьбы с ними. В частности рассматривается вопрос об увеличении прочности изоляции путем применения давления, с особым упором на маслонаполненный и газонаполненный кабель.

Инж. И. М. Гольдман

Пробой твердой и жидкой изоляции при ударных напряжениях

Изучается зависимость пробивного напряжения трансформаторных масел и ряда твердых диэлектриков от длительности воздействия напряжения. Основное внимание сосредоточено на пробое при ударных напряжениях. Форма волн и время, необходимое для пробоя, при данном напряжении регистрируются при помощи катодного осциллографа. Определяются влияние амплитуды волн, крутизна фронта и полярность на длительность пробоя.

Инж. А. Д. Иаге и инж. А. Вальтер

Пробой жидких диэлектриков

Зависимость пробивного напряжения от времени, получающаяся при пробое твердых диэлектриков, указывает на наличие двух механизмов пробоя. Одного чисто электрического (ударная ионизация или вырывание электронов), соответствующего малым временем ($t < 0,1$ сек.) и второго, вероятно теплового характера, в сильной степени зависящего от примесей, содержащихся в жидкости соответствующим временем больше $0,1-1$ сек. В первую очередь изучается механизм пробоя, соответствующий большим временем, в частности уточняется вопрос о влиянии растворенных газов на пробивное напряжение.

Инж. А. Д. Иаге

Механизм короны в газах

Первой задачей этого исследования, преследующего общую цель разобраться в механизме короны более детально, чем это было сделано до сих пор, явилась разработка метода измерения диэлектрических потерь на коротких образцах (длина провода 1—2 м). Такого рода метод в настоящее время разработан. Второй этап, к которому приступлено сейчас, это выяснение вопроса о том, в какой мере свойства поверхности провода, в частности покровов влияют на величину потерь и как объяснить это влияние.

Инж. Б. М. Вуд

Высокочастотная изоляция

Определяются диэлектрические потери изолирующих материалов с целью выяснить связь между структурой материала и его потерями при высоких частотах, в частности влияние гигроскопичности материала.

Инж. Н. П. Богородицкий
Инж. В. К. Малышев**Теплостойкая высоковольтная изоляция**

Основная причина, препятствующая применению оксидной пленки в качестве теплостойкой высоковольтной изоляции, является ее большая хрупкость. Изучается вопрос о том, нель-

зя ли путем соответствующей обработки пленки добиться того, чтобы она, оставаясь достаточно гибкой, могла быть использована при напряжении в 1000 V и выше.

Инж. С. С. Гутин. Инж. Венда

Обезгаживание бумаги

Изучается вопрос о количестве влаги и разных газов, в первую очередь углекислоты, содержащихся в кабельной бумаге. Определяется скорость сушки и обезгаживания бумаги при разных пониженных давлениях. Работа эта почти закончена и дает ряд указаний на то, как следует сушить и обесгаживать бумажную изоляцию высоковольтных кабелей.

Инж. С. Д. Суховольская

Негигроскопичная бумага

Путем соответствующей обработки волокон частично этерифицированной целлюлозы, из которой они состоят удалось сделать бумагу почти не гигроскопичной. При этом, однако, несколько снижается ее механическая прочность. Разрабатываются такие методы обработки бумаги, которые бы почти не снижали механической прочности, достаточно уменьшили гигроскопичность. В первую очередь идет обработка конденсаторной бумаги.

М. М. Мицюков, Е. М. Якимец

Высокочастотная изоляция из стирола

Произведенные в течение первой половины 1932 г. опыты показали, что стирол является весьма высокосортной изоляцией для высоких частот, обладая при этих частотах исключительно малыми потерями ($\text{tg } \delta = 0.0004$). Стирол в виде пленки может заменить слюду, в чистом виде или с наполнителями служить прессмассой для изоляции высокочастотных изделий. Лак из стирола вполне заменяет шеллак. Недостатками стирола являются его малая теплостойкость (температура размягчения 60°) и хрупкость. В настоящее время разрабатываются методы получения более теплостойкого и менее хрупкого стирола.

Инженеры: А. М. Александров, Г. Ф. Доледкий,
Н. П. Богородицкий, В. Малышев,
А. З. Левинсон**Конденсаторы из ацетил-целлюлозы**

Проведенные опыты показывают, что в низковольтных конденсаторах импортная японская бумага может быть с успехом заменена пленкой из ацетил-целлюлозы. Вследствие большой диэлектрической постоянной и высокой электрической прочности ацетил-целлюлозы при этом получается даже заметное уменьшение габарита конденсаторов. В настоящее время разрабатывается методика изготовления конденсаторов.

Инж. Д. А. Федоров

Гигроскопичность трансформаторных масел

Как показывает опыт, эмульсированная вода значительно сильнее снижает электрические свойства трансформаторных масел (в первую очередь пробивное напряжение), чем растворенная. Выясняется, нельзя ли путем добавления антиэмulsаторов предотвратить образование эмульсии и тем самым ослабить вредное действие поглощенной маслом воды.

Инж. А. Ш. Лазарев

Конденсаторы

Разработан технологический процесс изготовления маслонаполненных бумажных конденсаторов на 12 V емкостью около $0,5 \mu \text{F}$. Разрабатывается низковольтный косинусный конденсатор на большую емкость.

Инж. А. З. Левинсон

Всесоюзный электротехнический институт (ВЭИ)

Правильное использование оборудования и соф.

В секции $\cos \varphi$ машинного отдела под руководством инж. Н. А. Сазонова закончены две работы по перегруппировке асинхронных двигателей и трансформаторов и использование резервных синхронных генераторов в качестве компенсаторов.

Материалы обработаны в виде инструкций для промышленных предприятий и содержат практические указания по повышению $\cos \varphi$ путем использования внутренних ресурсов в электрооборудовании каждого предприятия. Например, правильная перегруппировка асинхронных двигателей и трансформаторов дает возможность поднять средний $\cos \varphi$ по предприятию с 0,6 до 0,7—0,72. Использование резервного генератора, например в 1500 kW, в качестве синхронного компенсатора по одному из крупных металлообрабатывающих заводов дает экономию только на снижении платы за электроэнергию в 15 000 руб. в месяц.

Синхронизация асинхронных двигателей

В секции $\cos \varphi$ машинного отдела бригадой инж. В. М. Матюхина разработан метод синхронизации асинхронных двигателей, дающий возможность поднять $\cos \varphi$ работающих асинхронных двигателей до 1. В особой подготовляемой к печати брошюре дается краткое теоретическое обоснование синхронизации асинхронных двигателей, методы определения допустимых величин тока в роторе, методы последовательного соединения роторов нескольких двигателей и, наконец, технико-экономическое обоснование применения этого метода. Выводы исследования говорят, что наиболее целесообразно применение синхронизации асинхронных двигателей для двигателей, работающих с нагрузкой до 60—70%. Применение же асинхронных двигателей в качестве асинхронных компенсаторов путем синхронизации требует значительной затраты активной мощности и поэтому может быть рекомендовано только лишь в отдельных случаях.

К разработке советской конструкции статического конденсатора для улучшения $\cos \varphi$

В секции $\cos \varphi$ бригадой инж. И. М. Эдельмана проведена большая теоретическая и экспериментальная работа по исследованию отдельных образцов заграничных статических конденсаторов. Результаты этой работы позволяют прийти к заключению, что статический конденсатор является наиболее удобным и наиболее экономичным средством для индивидуальной компенсации. В то время как во вращающихся компенсаторах потери составляют от 3 до 6% всей мощности, в статических конденсаторах потери составляют 0,3—0,4%. Как показало исследование, опасаться сильного искажения формы кривой напряжения и тока в сети от включения конденсатора не следует, так как это искажение является крайне незначительным. Статический конденсатор представляет собой наиболее удобный аппарат в отношении эксплуатации и ухода за ним; включающая и защитная аппаратура может быть выполнена крайне простой и дешевой. Продолжением указанного исследования является разрабатываемая в настоящее время конструкция исключительно из советского материала. Опытная партия конденсаторов этой конструкции будет выполнена на одном из Московских заводов и выпущена к 1 мая 1933 г.

Синхронный или асинхронный компенсатор

В секции $\cos \varphi$ было осуществлено экспериментальное исследование двух мощных компенсаторов, а именно асинхронного

в 10 MVA и синхронного той же мощности, установленных в Москве на Измайловской подстанции. Сравнение двух указанных типов конденсатора говорит за то, что преимущества как с точки зрения конструкции, так и эксплуатации имеет синхронный компенсатор.

Регистратор аварийных процессов в электрических сетях

В измерительном отделе инж. Н. В. Олехновичем и инж. А. П. Рудневым разработан аппарат для регистрации аварийных процессов в электрических сетях, позволяющий регистрировать напряжение и силу тока (мгновенные значения) в момент аварийного режима. Вместе с тем прибор автоматически записывает не только изменения тока и напряжения с начала аварии, но и за некоторое время до начала. На основе разработанного принципа предположено приступить к изготовлению портативных конструкций для широкого применения регистратора на высоковольтных сетях.

Улучшение технических магнитных материалов отжигом в водороде

В металломагнитной лаборатории (руководитель А. С. Займовский) отдела материаловедения бригадой Е. И. Кондорского закончена работа по улучшению технических магнитных материалов путем отжига в водороде. Огнегалились техническая трансформаторная сталь и мягкое железо для реле. Отжиг в водороде при 1200° в течение 6 час. снижает потери в этих материалах на 30—60%, и повышает начальную максимальную проницаемость в 2—3 и более раз. Работа имеет большое значение для сильноточной и слаботочной промышленности, и в 1933 г. результаты исследования будут переданы на производство по заводам ВЭО и ВЭСО.

Скрученные железные провода

В той же лаборатории бригадой Б. Г. Лившица произведены исследования по установлению наилучшей конструкции диаметра жилы и состава металла скрученных витых проводов. Производство скрученных железных проводов возможно в условиях оборудования наших кабельных заводов. Опытные провода изготовлены на заводе «Электропровод» № 1, промышленная партия для линии Мосэнерго Бескудниково-Лоби изготовлена на Белорецком заводе.

Электропривод врубовой машины

В угольной секции машинного отдела под руководством инж. Мартынова и Пантишева разработаны технические данные для электропривода врубовой машины, снабженной автоматической регулировкой скорости передвижения. В основу работы было положено предложение инж. Мартынова и Кирченко о применении для этой цели дифференциального механизма с двумя электродвигателями.

Исследование показало, что предложенная схема вполне обеспечивает требуемый режим работы.

Врубовая машина, снабженная автоматической регулировкой скорости передвижения, дает большую производительность машины и улучшает ее использование за счет повышения средней скорости передвижения, а также за счет уменьшения числа аварий. В ближайшем будущем предполагается приступить к конструированию и постройке опытного образца.

Инж. А. П. Примаковский

Лаборатория высокого напряжения им. проф. Смуррова АЭМИ

I. Высоковольтное отделение

Исследование изоляции трансформатора на 380 kV

Лабораторией выдвинут вариант трансформатора на 380 kV с изолирующей и теплоотводящей средой из сжатого газа или масла под давлением.

В настоящее время под руководством проф. Г. Т. Третьяка и инж. Г. Г. Швеца в лаборатории производится экспериментальное исследование поведения сжатого газа и масла под давлением с точки зрения величин разрядного напряжения и теплопередачи. Полученные результаты указывают на реальную возможность создания трансформатора на 380 kV с изолирующей и теплоотводящей средой из сжатого газа или масла под давлением, а также и на то, что применение сжатого газа и масла под давлением дает целый ряд преимуществ по сравнению с другими методами изоляции.

Исследование методов повышения электрической прочности газообразной и жидкой изоляции

Научными сотрудниками лаборатории М. А. Асиашевыми, И. И. Давыдовым и А. А. Шилваном под руководством проф. Г. Т. Третьяка и инж. К. С. Архангельского производятся работы по изучению методов повышения прочности газообразной и жидкой изоляции.

В настоящее время закончено изучение ряда вопросов, связанных с повышением прочности изоляции применением барьера (перегородок) в воздухе и масле между электродами, а также закончены работы по исследованию коронирующих электродов. Произведенные работы наметили пути к созданию теории барьера, а также показали целесообразность покрытия шин изоляцией, так как последняя в значительной степени предотвращает перекрытие шин при авариях и затрудняет распространение дуги по распределительному устройству.

Испытание маслонаполненных кабелей на напряжение 110 и 220 кВ

Под руководством инж. П. И. Войденова и Э. И. Кондор в лаборатории произведены испытания маслонаполненных кабелей, изготовленных заводом „Севкабель“. Кабель 110 кВ выдержал все испытания и показал вполне удовлетворительные качества.

Определение диаметра провода для линий передач 380 кВ

Закончено экспериментальное исследование, имевшее целью определение диаметра провода для линий 380 кВ. Работа произведена по заданию завода „Севкабель“, изготавлившего первый опытный образец стальной магниевого провода для линий 380 кВ. Диаметр провода должен быть, как показали опыты и расчеты, от 52 до 60 мм. Работа произведена научным сотрудником инж. М. А. Асташевым под руководством инж. К. С. Архангельского. В связи с полученными результатами лабораторией выдвигается вариант расщепленных проводов для линий 220–380 кВ, которые обладают рядом преимуществ по сравнению с одиночными проводами.

II. Отделение защиты и автоматики

Исследование дифференциальной защиты трансформаторов и генераторов

Целью работы является определение предела чувствительности дифференциальной защиты и вида наиболее рациональной схемы такой защиты на аппаратуре союзного изготовления путем исследования комплектных схем для генераторов и трансформаторов. В настоящее время сделаны: 1) обзорные очерки таких защит, применяемых различными фирмами, 2) исследовано восемь типов дифференциальных реле, 3) изготовлены искусственные схемы, дающие возможность получать токи до 40 000 А. Заканчиваются работы по исследованию трансформаторов тока, и ведутся работы по исследованию комплектных схем. Работа выполняется под руководством инж. В. И. Иванова и П. И. Рыжова научными сотрудниками инж. Иевлевым, Григорьевым, Осиповым и Поташевым.

Автоматические осциллографы

В лаборатории закончена разработка конструкции автоматического осциллографа, дающего возможность изучения всех вопросов, связанных с эксплуатацией и проектированием крупных электрических систем. Построенный двухшлейфовый осциллограф приводится в действие через 0,5 периода (0,01 сек.) после возникновения. По типу первого образца лабораторией

построен второй четырехшлейфовый осциллограф, который будет установлен на одной из крупных ленинградских станций. Разрабатывается конструкция автоматического шестишлейфового переносного осциллографа. Работа ведется сотрудником инж. В. Я. Гаккель под руководством инж. П. И. Рыжова.

III. Отделение устойчивости

В отделении устойчивости производится работа по экспериментальному исследованию устойчивости параллельной работы центральных станций при помощи специальной установки с искусственной моделью линии передачи и вращающимися синхронными машинами.

Произведены следующие работы:

1. Монтаж двух синхронных машин, искусственной линии передачи, имитирующей 110-кВ линию длиной 300 км, масляных выключателей, трансформаторов, а также схемы управления системой. Имеющееся оборудование позволяет получать разные схемы параллельной работы станций включительно до работы двух станций на бесконечно мощные шины при различных связях между собой.

2. Разработан и осуществлен метод измерения угла между роторами параллельно работающих машин при статическом состоянии, дающий возможность непосредственного отсчета его по прибору.

3. Экспериментально проверен метод расчета проф. А. А. Смурова статической устойчивости при работе машин с явно выраженным полюсами через линию передачи длиной 300 км на бесконечно мощные шины. Результат работы показал полную сходимость эксперимента с расчетом, а следовательно, полную пригодность его для применения в практике.

4. Произведен расчет динамической устойчивости белорусской системы применительно к условиям 1942 г. В последнее время начато экспериментальное изучение динамической устойчивости по схеме § 3. В дальнейшем будет производится работа по исследованию статической и динамической устойчивости двух и более параллельно работающих станций соизмеримой мощности. Работа имеет конечной целью разработку метода расчета устойчивости крупных электрических систем, методики экспериментирования на существующих системах и разработку методов для повышения устойчивости их. Работа ведется под руководством проф. А. А. Смурова при участии проф. А. А. Вульфа, инж. С. Н. Денисовым, И. С. Нефедьевым, В. Ю. Гессен, В. С. Толчковым, А. С. Еремеевым, М. М. Ботвинников и техником С. С. Добротворским.

Составил инж. А. Лурье

Столетний юбилей изобретения Шиллингом электромагнитного телеграфа

В конце 1932 г. исполнилось столетие со дня изобретения П. Л. Шиллингом (1786–1837) первого электромагнитного телеграфа, не оцененного по достоинству при его жизни и всеми признанным значительно позднее.

Только в 50-х годах прошлого столетия Российская академия наук в лице акад. Гамеля начала изучать вопрос об электрических телеграфах вообще и, в частности, об изобретении Шиллинга. Усиливавшийся рост торгового капитала и потребность в ускорении сношений стимулировали изучение и практическое разрешение проблемы телеграфа.

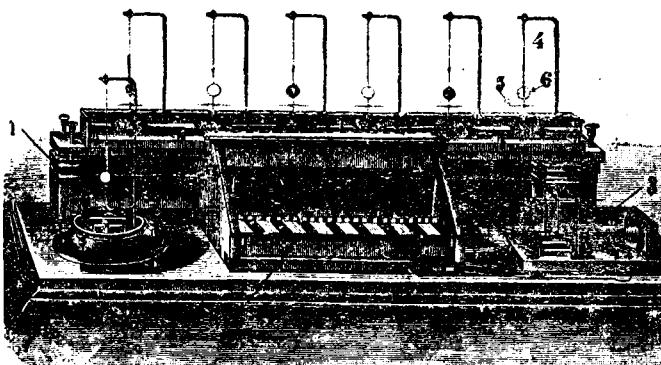


Рис. 1. Общий вид телографного аппарата Шиллинга

Уже задолго до празднования столетия со дня рождения Шиллинга (1886) часть изобретения первого электромагнитного телеграфа была признана всеми учеными мира за Россией и, в частности, был установлен приоритет Шиллинга в этом изобретении.

Во второй половине XVIII века было сделано немало попыток применить для телеграфа статическое электричество. Работы Вольта и Гальвани (в конце XVII века) не нашли при-

менения в телеграфии. В 1802 г. итальянец Романьози открыл, что магнитная стрелка отклоняется под влиянием гальванического тока, пропущенного по расположенному вблизи проводу, и в 1820 г. этим открытием воспользовался датский физик Эрстед.

До того времени известно было лишь одно действие электрического тока, именно его способность разлагать химически сложные тела на составные элементы. Мюнхенский акад. Земмеринг устроил в 1809 г. первый гальванический телеграф, основанный на химическом разложении подкисленной воды. Однако этот телеграф оказался практически неудобным, т. е. не давал быстрой передачи, да и для связи двух станций требовалось 36 проводов.

В 1820 г. появился мультиплексор Швейгера, давший возможность значительно усилить отклоняющее действие электротока на постоянный магнит. Швейгер использовал работы Романьози и Эрстеда и своим изобретением открыл новую эру в развитии электрического телеграфа.

В том же году Ампер открыл, что отклонение стрелки под действием тока можно использовать для телеграфной связи, устанавливая на одной станции источник тока, а на другой столько магнитных стрелок, сколько необходимо передавать знаков. Однако Ампер не сконструировал своего аппарата.

Оставалось воспользоваться всем этим для телеграфии, что и было осуществлено Шиллингом, предложившим в 1832 г. свой электрический телеграф, для которого вначале требовалось 8 проводов, а позже только 2 !).

Почти одновременно с Шиллингом над стрелочным телеграфом работали геттингенские проф. Гаусс и Вебер, причем Гаусс сконструировал коммутатор, позволявший менять направление тока и выключать его. В 1835 г. Шиллинг демонстрировал свой аппарат в Бонне на съезде Общества германских естествоиспытателей. Аппаратом Шиллинга заинтересовался проф. Мунке, демонстрировавший его на своих лекциях, для

1) Телеграфирование по одному проводу с заменой второго, обратного, земли было предложено Штейнхеллем гораздо позднее—в 1838 г.

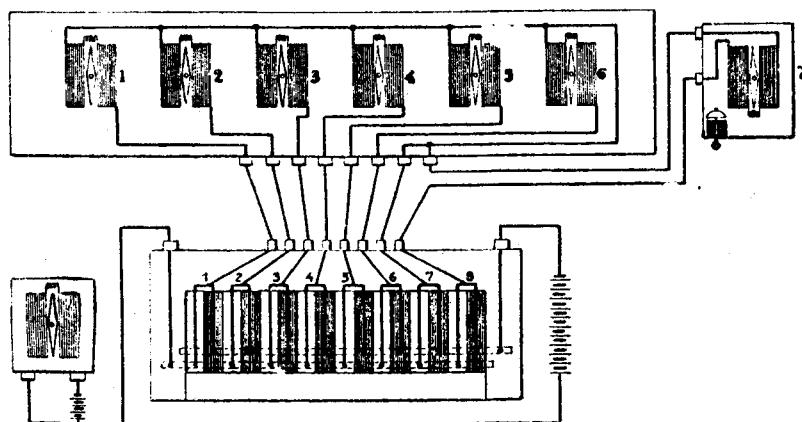


Рис. 2. Схема соединений аппарата Шиллинга

чего он провел ряд проводов в верхнем этаже своего дома и с помощью аппарата Шиллинга впервые осуществил телеграфную связь между своим кабинетом и аудиторией.

Один из слушателей Мунке (Гоппер) сообщил в 1836 г. об аппарате Шиллинга англичанину Куку, который скопировал аппарат, увез его в Англию, и в том же году Шиллинг получил из Англии предложение продать свое изобретение, причем в письме было, между прочим, сказано: «Ваше изобретение может сделаться одним из тех, которые изменяют политические и коммерческие отношения между народами».

В 1837 г. Куку связался с Уитстоном, и их первый опыт передачи сигналов на расстояние в несколько английских миль был осуществлен за 12 дней до смерти Шиллинга. В конце 1837 г. Куку и Уитстон подробно описали свой аппарат, об'явив его, однако, лишь «усовершенствованием».

Таким образом изобретение Шиллинга впервые было практически осуществлено в Англии.

Аппарат Шиллинга, ныне хранящийся в музее НКС в Ле-

нинграде, экспонировался на Всемирной выставке 1878 г. в Париже и на Электротехнической выставке 1883 г. в Вене.

Аппарат Шиллинга состоит из двух частей—передатчика и приемника, соединенных восемью проводами (рис. 1). Передатчик 2 состоит из восьми пар клавиш белого и черного цвета, под которым расположены две медные шины. Шесть пар клавиш присоединено к мультиплексорам на приемной станции, восьмая пара предназначена для вызывного мультиплексора и, наконец, седьмая соединена с обратным проводником.

Приемник (рис. 1) состоит из шести мультиплексоров, внутри которых подвешена на шелковой нити магнитная стрелка 5. На той же нити над катушкой укреплен картонный кружок 6, с одной стороны белый, а с другой—черный. Кружки могут принимать три положения: 1) при протекании тока по катушке мультиплексора в одном направлении кружок поворачивается к телеграфисту, например, черной стороной, 2) при протекании тока в другом направлении кружок поворачивается белой стороной и 3) при выключении тока кружок виден только ребром в виде черточки. Сочетание кружков и черточек дает условную азбуку.

На рис. 2 приведена полная схема аппарата Шиллинга, слева показан его упорощенный вид, требующий только одного мультиплексора и двух проводов между станциями. Источником электричества в аппарате Шиллинга служила батарея из ряда медных и цинковых пластинок с проложенным между ними мокрыми кусками сукна.

В заключение отметим, что Шиллинг изобрел еще изолированный кабель с изоляцией каучуком и впервые предложил подвешивать провода на деревянных столбах. К 1812 г. относятся опыты Шиллинга в С.-Петербурге по взрыванию порога электрическим током, и в 1815 г. он взрывал мины в Париже через р. Сену своим «электрическим проводником», состоявшим из медной проволоки, изолированной каучуком и лаковой мастикой.

Инж. М. М. Савостюк

БИБЛИОГРАФИЯ

«Справочник по суррогатированию», ВЭСО, выпуск 1, Энергоиздат, Ленинград, 1932, тираж 3 000, стр. 28, цена 1 р. 10 к. Отв. ред. Я. Парменов.

Плохие книги делятся на две группы: те, на которые только трятаются бумага и деньги, и на книги, вредные для пользующихся ими. Выпущенный ВЭСО справочник по суррогатированию явно принадлежит ко второй группе.

Вопрос о суррогатировании материалов—один из самых важных вопросов в области электротехники. Правильное суррогатирование дает возможность получить значительное удешевление продукции и замену импортных материалов материалами из советского сырья без ухудшения качества изделий. Инициативу ВЭСО, выпустившего специальный справочник в помощь работающим по суррогатированию, следовало бы особо отметить и всячески приветствовать, если бы качество выполнения работы по составлению этого справочника не было бы безобразно халтурным и технически безграмотным. Материал подобран случайно: некоторые важные вопросы затронуты вскользь, некоторым третьестепенным материалам посвящены целые страницы.

В основу книжки положена таблица, в которой приведены данные о замене одних материалов другими. Приведем отсюда несколько примеров. Изоляционные высоковольтные материалы предложено заменять лаками, кабельную бумагу предлагается заменять бакелитовой, что, безусловно, невозможно. Майколекс рекомендуется заменять микалексом. Подобная замена может быть рекомендована переводчиком с английского языка, но не в производстве: майколекс и микалекс только различные произношения одного и того же слова. Обмоточный шелк предлагается заменять бакелитовым лаком; как предлагает выполнить подобную замену автор справочника, непонятно.

Для замены импортных сплавов сопротивления они рекомендуют не железо или фохраль, например, а константан, в со-

став которого опять-таки входят импортные составные части, так что задача освобождения от импорта этой заменой не разрешается, а читатель лишь вводится в заблуждение.

Очень велико значение пластмасс как суррогатов; но короткая табличка, посвященная им, содержит ряд ошибок как в терминологии, так и в числовых характеристиках.

В разделе о диэлектриках—путаница в единицах, числовых величинах и терминах. Много говорится о связините: изменения веса его от действия различных реактивов даны с точностью до 0,0001 г., а про гигроскопичность безапелляционно утверждается, что сушка и пребывание в воде не изменяют веса. Это уж прямо противоречит цифрам, данным в таблице на той же самой странице. Любопытна фраза, в крепкой азотной кислоте на десятый день на поверхности (связинита) обнаружены (лишь) мелкие пузыри» (стр. 22). На самом деле азотная кислота разрушает связинит, в чем можно убедиться не за 10 дней, а за 10 сек. На стр. 23 дана чрезвычайно важная и ответственная таблица значений теплостойкости диэлектриков—фактора, который часто служит решающим при замене одних диэлектриков другими. Для некоторых веществ здесь даны несоразмерно низкие цифры (например, для асбеста и слюды 55°), для других, напротив, чрезмерно высокие (для карболита 290°, парафина 80° и т. п.). Для дергинакса даны странные случайные данные. Сопротивление связинита указанное в книжке, примерно в 10⁶ раз больше истинного. Приведены несуществующие на самом деле материалы, например, «колонзанизбар», «небакелизирующийся илитол». Гетинакс и пертинакс фигурируют как два различные материала с различными свойствами.

Мы привели лишь несколько примеров ошибок. В целом книжка может лишь тормозить и компрометировать дело суррогатирования в области электрических материалов.

Инж. Б. Тареев (завод „Динамо“)
Инж. Н. Александров (ВЭИ)

Тематический указатель статей журнала „Электричество“ за 1932 г.

Автор и название статьи	№ журн. ала	Стр.	Автор и название статьи	№ журн. ала	Стр.	
Вопросы теоретической электротехники						
Инж. Акаров Б. П.—Теория искажения кривой крутиящих моментов при разбеге асинхронной машины	8	462	Инж. Колпанова А. И.—Технико-экономические основы планирования единой высоковольтной сети	14	711	
Инж. Городской Д. А.—В защиту метода симметричных составляющих	23—24	1075	Проф. Лапиров-Скобле М. Я.—Электропромышленность СССР на путях технической реконструкции	1	14	
Инж. Жебровский С. П.—Коронирующий разряд в случае асимметричных электродов и присутствия радия	8	479	Его же—Проблемы технической реконструкции электропромышленности во второй пятилетке	15—16	769	
Инж. Залесский А. М.—Аналитический расчет установившихся токов короткого замыкания	7	421	Инж. Лаупман П. П. и проф. Толвийский В. А.—Днепровская государственная электрическая станция	9	496	
Инж. Аломинская Л. А.—Метод симметричных координат в исследовании индуктивных сопротивлений трехфазных синхронных машин	20	949	Ломов Г.—О ходе работ по составлению генплана электрификации	1	1	
Инж. Марковский Д. И.—О расчете проводов постоянного тока	14	741	Его же—Новый план электрификации и борьба на два фронта	10	534	
Инж. Маркович И.—Графический способ определения изменения токов короткого замыкания в течение переходного процесса	7	425	Инж. Мельштейн Н. М.—Важнейшие вопросы электростроительства в 1932 г.	6	318	
Инж. Нашиклийсон А. Е.—Упрощенный метод расчета мощности синхронных компенсаторов для регулирования напряжения линии электропередач	23—24	1048	Его же—Задачи энергостроительства Урало-Кузнецкого комбината	15—16	766	
Инж. Проклов В. Г.—Пути научно-исследовательской работы по электротехнике в СССР	21	966	Научно-технические проблемы единой высоковольтной сети	6	313	
Инж. Ситников М. М.—Через технику электрона—к технике иона	23—24	1037	380 кВ—в порядок дня исследовательской работы	20	917	
Проф. Хрушев В. М.—Сравнение метода спрямленной внешней характеристики расчета сверхтоков с методом симметричных составляющих	23—24	1066	Инж. Пигалев А.—Проблемы гидростроительства во второй пятилетке	19	872	
Цитаты 3.—О взглядах Фарадея и Максвелла на природу электромагнитных явлений	17—18	841	Инж. И. Риза-Заде и инж. М. Мамед Нули Заде—Мингечаурская проблема—мощный рычаг социалистической реконструкции народного хозяйства ЗСФСР	3	142	
Проф. Черданцев И. А.—Общая формула напряженности поля при конформном преобразовании	23—24	1065	Садовников Г. С. и Рожанов И. Ф.—Перспективы электрификации ЧАССР	5	262	
Инж. Щедрин Н.—Приближенные уравнения статического состояния электрической системы станции	3	180	Энергетика Урала в системе УКК	4	204	
Вопросы плановой электрификации, электропромышленности и электро- строительства СССР						
Инж. Айзенберг Д. М.—О речных направлениях единой высоковольтной сети	14	758	Проф. Чаплыгин А.—Проблема Большой Волги	2	85	
Акад. Александров И. Г.—О школе Днепровского проектирования и строительства	21	982	Якобсон М. А.—Электроэнергетика и оборона СССР	10	537	
Инж. Аниьев А. А., Седых С. Г. и Шамонин В. С.—Проблема использования энергии ветра в СССР	14	716	Вопросы электрохозяйства капиталистических стран			
Андреев В. И.—Производство мощных турбин и котлов высокого давления в СССР	1	10	Проф. Вейц В. И.—Капиталистическая электрификация под ударами кризиса	3	135	
Его же—О технических установках большевистской программы в 100 млрд. kWh	3	130	Вопросы рационализации электрохозяйства			
Гордонин С.—Генплан электрификации ЗСФСР	1	5				
Его же—Основные элементы генплана электрификации Дальневосточного края	9	490				
Его же—Генеральный план электрификации Северного края	2	78	Инж. Айзенберг Д. М.—Крупное достижение советской электропромышленности—электрический привод к блюмингу	1	34	
Инж. Гельденберг Ю. М.—Электрификация Украины в 1932 г.	6	324	Инж. Гонец Н. Ф.—Электрический привод в нефтяной промышленности	8	477	
Инж. Грановская М. Н.—Теоретический фронт технической политики в области электрификации	5	259	Инж. Кунинский Н. П.—Кнопочное управление электродвигателей металлообрабатывающих станков	11	581	
Его же—Дискуссия о путях решения технических проблем ЕВС в Институте техники и технической политики Комакадемии	6	314	Инж. Метелики Н. Т.—Перспективы развития электроорганической химии в СССР	10	549	
Жуков и Романовский—Электропромышленность СССР на пороге второй пятилетки	3	133	Инж. Палицын И. С.—Научно-исследовательскую работу в электропромышленности—на высшую ступень	5	257	
Его же—Выше темпы и качество социалистической электрификации	2	69	Инж. Самарин А. М.—Развитие электрометаллургии в СССР и задачи электротехников	10	542	
Инж. Климовичий Я. А.—Внимание вопросам эксплуатации электростанций	9	485	Инж. Суходоний В. А.—Некоторые черты современного развития технической электрохимии	13	678	
Его же—Блестящая страница социалистической электрификации—Днепрострой	19	87				

Автор и название статьи	№ журнала	Стр.	Автор и название статьи	№ журнала
Вопросы электрификации сельского хозяйства			Инж. Комар Е. Г.—О выборе магнитных нагрузок в коллекторных двигателях переменного тока	17-18
Инж. Чижевский А. А.—Униполярная ионизация в социалистическом животноводстве	1	38	Инж. Левитус А. И.—Лягушечья обмотка электрических машин	17-18
Вопросы электрификации транспорта			Проф. Лютер Р. А. и инж. Алексеев А. Е.—Современные двухполюсные турбогенераторы	8
Электрификация железных дорог—большевистские темпы	11	571	Инж. Морозов Д. П.—Возбуждение независимого возбудителя к трехфазным асинхронным машинам	13
Инж. Аваков Е. С.—Электрификация железных дорог СССР на пороге 15-й годовщины Октября	21	984	Его же—Технико-экономические обоснования применения возбудителей к трехфазным асинхронным двигателям	23-24
Инж. Богоявленский В. Н.—Теория двухмоторного торможения на электрических железных дорогах	11	575	Инж. Москвитин А. И.—Круговой огонь на коллекторе и причины его возникновения	17-18
Инж. Денисов П. Н.—Универсальная диаграмма тяговых серийс-двигателей	9	520	Проф. Петров Г. Н.—Успехи мощного трансформаторостроения в СССР	21
Инж. Зильберталь А.—Выбор мощности и количество подстанций для трамваев	7	404	Инж. Плющ В. М.—Некоторые схемы сварочных машин	19
Его же—О схеме электрификации железных дорог СССР на вторую пятилетку	2	74	Инж. Поплавко М. И. и инж. Климоцкий Я. А.—Электросварка как орудие технической реконструкции	4
Инж. Коновалов В. Н.—Проблема блюжающих токов при электрификации железных дорог . .	19	880	Инж. Сазонов Н. А.—Определение средней температуры нагрева активных частей в турбогенераторах	8
Инж. Минов Д. К.—О системе постоянного тока 2700 В для электрических железных дорог	4	218	Его же—Задачи советского электромашиностроения во второй пятилетке	7
Инж. Розен К. О.—О регенерации электрической энергии при тяге на постоянном токе	19	901	Инж. Сазонов Н. А. и Эдельман И. М.—Озонирование в турбогенераторах	12
Инж. Сергеев Н. Ф.—Методы защиты контактной сети электрических железных дорог постоянного тока от токов короткого замыкания	9	515	Инж. Токов И. В.—Турбогенераторы завода Уралэлмашстроя	8
Инж. Трахтман, Л. М.—Регенеративное торможение моторных вагонов на электрических железных дорогах	19	887	Акад. Шенфер К. И.—Технические сдвиги в электромашиностроении СССР и капиталистических стран	7
Инж. Финкель К. С.—Московский метрополитен . .	4	213	Его же—Исследовательские работы в области советского электромашиностроения за 15 лет	21
Инж. Шацилю А. А.—Сурамский электровоз и использование его скепного веса при различном положении моторов	12	623	Инж. Шредер Ю.—О программе советского электромашиностроения в 1932 г.	8
Акад. Шенфер К. И.—Электровозы переменного тока нормальной частоты	4	209	Проф. Штейнберг—Проблемы советского трансформаторного железа	1
Его же—Возможна ли рекуперация при тяговых машинах, работающих в качестве генераторов последовательного возбуждения?	19	973	Проф. Эпштейн Г. Л.—Достижения союзного электроаппаратостроения	21
Вопросы автоматизации управления в электроустановках			Техника высоких напряжений, сети, крупные электрические системы	
Инж. Богомолов В. А.—Автоматизация мощных гидроэлектрических станций	22	1012	Проф. Апаров Б. П.—Каскад синхронных генераторов для получения высокого напряжения	10
Инж. Гонен Н. Ф. и инж. Горюх В. И.—Современные автоматические регуляторы	7	415	Инж. Беляков А.—Проблема проводимости грунта в электростроительстве	11
Инж. Егоров Б. П.—Проблема диспетчерской службы и автоматизации управления сложных электрических систем	22	1005	Инж. Бенар П. П. и инж. Лившиц Б. Г.—Сплошные железные провода переменного тока	14
Проф. Попов В. К.—Фотоэлементы и тиратроны как новейшая техническая основа автоматизации производства	22	1001	Проф. Бобровский Л. С.—Передача энергии р. Свирь в Ленинград	1
Вопросы электромашиностроения			Инж. Богоявленский Л. Н.—Исследования поражаемости местности молнией на Урале	10
Инж. Алексеев А. Е., инж. Ефремов Д. В. и проф. Лютер Р. А.—От сборочных мастерских к первоклассному заводу советского электромашиностроения (Развитие завода "Электросила" за 15 лет)	21	97	Инж. Богородицкий Н. и инж. Майгельдинов И.—О методах пропитки дерева для применения его как изолирующего материала	14
Инж. Апаров Б. П. и инж. Лавров В. М.—Современные тенденции в развитии высоковольтных синхронных генераторов и способов их защиты	7	393	Инж. Богородицкий Н. и инж. Строльман А. Г.—Грозовые разряды и методы исследования влияния их на линии передач	14
Инж. Бутаев Ф. И.—Асинхронный компенсатор в 10 000 kVA	17-18	821	Инж. Буйлов А. К.—К исследованию высоковольтных выключателей на разрыв тока короткого замыкания	5
Инж. Горбунов Т.—Уральский электромашиностроительный комбинат	5	267	Инж. Вейтов Ф. Л.—Противопожарная профилактика в электроустановках	11
Инж. Енько В. В.—Турбогенератор № 5 Бежгрэс с алюминиевой обмоткой	3	160	Инж. Воробьев В. И. и инж. Глазанов В. Н.—Новый способ определения места повреждения линий передачи	6
Инж. Иванов Н. П.—Новое в вентиляции турбогенераторов	7	400	Инж. Гениндичев А.—Ток короткого замыкания в линиях передачи с железными проводами	1
Инж. Иванов В. И.—Реактивность синхронных машин	3	171	Инж. Глазанов В. Н. и инж. Стефанов К. С.—Нужны ли дроссельные катушки для защиты?	11
Инж. Кислюк Ф.—Дуговая электросварка током повышенной частоты	4	226	Инж. Глазанов В. Н. и инж. Ньюмен Н.—Электрический расчет деревянной опоры для линии передачи на 380 kV	20
			Инж. Гольдберг Ф. Я.—За строительство замкнутых сетей	6
			Инж. Городецкий С. С.—Новый метод испытания кабелей	12
			Его же—Кабель под давлением	13

Автор и название статьи	№ журнала	Стр.	Автор и название статьи	№ журнала	Стр.
Иванов И. С.—Синхронизирование электрических систем	2	113	Инж. Бабат Г. И.—Ламповые приборы для измерения углов сдвига фаз	13	694
и—Заземление нейтрали и проблема устойчивости	13	658	Инж. Майоров Ф. В.—Новый вибрационный универсальный гальванометр	6	354
Эллинсон Я.—Новости в области применения ртутных выпрямителей	12	638	Инж. Карапанов К. П.—Измеритель емкостей с непосредственным отчетом	6	359
Зингерман А.—К вопросу о механическом расчете шин	14	745	Инж. Стекольников И. С.—Пути развития катодных осциллографов	1	56
Жалантаров А. В. и Лойцянская М. Г.—О перенапряжениях в трансформаторах, вызываемых резонансом	20	935	Талицкий и Михайлов—Социалистическому энергогорхозяйству—высокую измерительную технику	3	143
Карасев В.—О перенапряжениях в каскаде трансформаторов	5	271			
Кожухов В. К. и Лебедев Г. А.—О методах нахождения дефектных изоляторов на линиях электропередач	22	1021			
Краснушкин Н. П.—Ограничение токов короткого замыкания и устойчивость параллельной работы	6	329			
Лебедев С. А.—Регулирование сложных электрических систем	2	105	Проф. Майзель С. О.—Светотехника в СССР за 15 лет	21	985
Лопатин И. А.—Опора линии передачи на 380 кВ	20	929			
Майер Р.—Устойчивость сетей и влияние на нее перевозбуждений	15—16	784			
и—Уменьшение перенапряжения при помощи емкостей	19	903	Проф. Беляевский А. Г.—Определение угла перехода в ртутном выпрямителе стробоскопическим методом	12	692
Марьиновский Д. И.—О расчете проводов постоянного тока	14	741	Инж. Бирнбаум Д. Н.—Трансформирование трехфазного тока в Америке и в Европе	12	640
Мильштейн Н. М.—О применении алюминия и сталь-алюминия как проводникового материала	20	960	Его же—Дуговые печи для плавки стали и чугуна	4	250
и—Устойчивость параллельной работы синхронных машин и метод площадей	6	335	Его же—Новое в электроэнергостроительстве и электротехнике САСШ	17—18	847
Инж. Отрадин, инж. Стекольников и инж. Яворский—О методах исследования влияния гроз на линии передач	23—24	1078	Проф. Ильченко В. И.—Превращение постоянного тока в трехфазный	10	561
Палицын И. С. и Дубинин А. М.—Выключатели с масляным дутьем	23—24	1057	Его же—Полые провода для передачи самых высоких напряжений на далекие расстояния	22	1031
Подольский Л. П.—Нужно ли заземлять нейтраль в установках низкого напряжения?	7	419	Инж. Розинг В. Л.—Новейшие достижения в области теории и практики фотоэлементов	2	117
Инж. Попысаев Б.—За борьбу с коррозией металлов в электроустановках	20	961	Инж. Тимофеев П. В.—О фотоэлектричестве	6	360
Инж. Рашуев Н. Ф.—Скользящие клеммы для сталь-алюминиевых проводов	14	818	Инж. Фридланд П.—Бронированная высоковольтная аппаратура	5	300
Его же—О расчете токов короткого замыкания и выборе реакторов для их ограничения	15—16	790	Инж. Яворский В. В.—Настройка линий нормальной частоты на полволны для передачи больших мощностей	11	605
Инж. Рапота Ф. И. и Януб Ю. А.—Использование перегрузочной способности трансформаторов	20	940			
Инж. Роках Н.—К проекту новых норм по защитным заземлениям	3	176			
Инж. Рокотян С.—Секционирование электрических станций	3	150			
Его же—Секционирование электрических станций	4	231			
Инж. Сазанов П. И.—Устойчивость параллельной работы электрических станций	2	91			
Инж. Соловьев В. А.—Пульсация напряжения ртутных выпрямителей	13	685			
Инж. Стекольников С. С. и инж. Рищенцев Н. В.—Фигуры Лихтенберга при уменьшенном давлении	12	629			
Инж. Третьяк Г. Т. и инж. Архангельский К. С.—Способы повышения разрядных напряжений	12	649			
Инж. Усов В. В.—О механических свойствах проводникового алюминия	4	242			
Инж. Элькинд М. Л. и инж. Малая Р. Ю.—Некоторые вопросы проектирования сложных электрических систем	14	727			
Проф. Хрушцов В. М.—О расчете сверхтоков в сложных электрических сетях	14	756			
Его же—15 лет в области передачи электрической энергии	9	524			
Инж. Швец Г.—О типе трансформаторов на 380 кВ	21	983			
Инж. Яворский В. В.—Заземление опор линий электропередач и роль троса при прямых ударах молний	5	279			
	6	341			

Автор и название статьи	№ журнала	Стр.	Автор и название статьи
Буйлов А., Бутиневич Ю., Суслов М.—Бирнbaum, Современные масляные выключатели, ОНТИ, Энергоиздат, Москва 1932 г.	17-18	865	высокого напряжения, изд. Шпрингер Ю., изд. Берлин
Вершков П.—Инж. Вальтер М., Устройства селективной защиты для установок высокого напряжения, авторизованный перевод с немецкого инж. Вайсмана Е. Л. и Терентьевича С. А., Гостехиздат Украины, 1931, 140 стр., цена 1 р. 20 к.	6	372	Инж. Палицын И. и инж. Иоффе Б.—Живейнов Н. И., Новые выключающие устройства в технике высокого напряжения, ОНТИ, 1932
Вершков П.—Инж. Иващенко Н. Д., Реле и их применение для защиты электрических установок, Гиз, 1929 г.	6	372	Инж. Палицын И.—Генеральный план электрификации СССР, том VI—Энергооборудование. Материалы к Всесоюзной конференции под редакцией Ломова Г. И., Соцэкиз, 1932 г., стр. 364
Инж. Грановская М.—Брошюра инж. Якуба В. М., Теплофиксация и теплоэлектроцентрали, изд. ГНТИ, 1931 г., под редакцией Танер-Тененбума Ж. Л.	4	255	Инж. Тареев Б.—Luke G. E., Сопротивление электрических соединений, "The Elektric Journal", февраль 1924. A. R. Enger, Сопротивление контакта проводников больших сечений, "The Elektric Journal", 1924, пер. Левитского А., под редакцией Мартынова В. А., изд. ЛОВЭО, 1931
То же—Соколовский В. Ф., Кемеровский энергоко-коксо-химический комбинат и его роль в урало-кузбасской проблеме, под редакцией Гардина А. А., ГНТИ, 1931, 48 стр., ц. 30 коп.	5	304	D-r Gipsberg, Омеднение алюминия для контактов, "Hauszeitschrift der VAW" № 1, 1930, пер. Телова И. С. под редакцией Мартынова В. А. и Хащинского В. П., изд. ЛОВЭО, 1931
То же—Инж. Глазунов А. А., Технические заметки о районных электрических станциях САСШ, ГНТИ, 1931 г., 71 стр. с 8 табл. и 12 рис., ц. 90 коп.	6	371	Цейтлин З.—Круг К. А., Основы электротехники (Учение об электричестве), том первый, издание третье, переработанное, стр. 553, ГНТИ, 1931 г., ц. 5 р. 40 к.
Иванов А.—ГНТИ, За рабочим станком, Москва—Ленинград 1931 г., стр. 164 (составила бригада инженерно-технической секции завода "Электроаппарат" в Ленинграде)	1	64	Инж. Цейтлин М.—Rüdenberg, Передача больших мощностей на далекие расстояния
Лебедев Н.—Генсель Г., Электротехника в задачах и примерах, выпуск первый—Постоянный ток, 1931	17-18	866	Цейтлин З.—Поль Р. В., проф. Геттингенского университета. Введение в современное учение об электричестве, пер. с немецкого Тумермана Л. А. под редакцией проф. Шильдерейна Я. Н., издание второе, исправленное и дополненное, ГНТИ, 1931 г., стр. 344, ц. 4 р. 45 к.
Инж. Палицын И.—Макс Фогельзанг, Историческое развитие техники выключателей			15-16

АННОТАЦИИ

ПЕРЕДОВАЯ — Электрификация СССР на грани второй пятилетки. „Эл-во“, 1933, № 2, стр. 1.

Изложив кратце историю развития электрохозяйства в дореволюционной России, автор дает подробную характеристику современного состояния энергоснабжения в Союзе и динамику его роста в сравнении с наиболее передовыми странами капитализма—САСШ и Германией.

ИНЖ. СЕКТОРОВ В. Р.—Современное состояние проектирования и опытного строительства крупных ветрово-электрических установок. „Эл-во“, 1933, № 2, стр. 9.

Автор обсуждает объем проблемы мощных ветроустановок и их эксплуатационные особенности. В заключение автор дает описание агрегата № 1 на Балаклавской опытной станции, мощностью 100 kW, и приводит результаты его испытаний, а также и данные эскизного проекта мощного агрегата на 5 тыс. kW.

ИНЖ. САЗАНОВ П. И. и ИНЖ. КАНТОР Р. Технические преимущества и возможности быстродействующего выключателя. „Эл-во“, 1933, № 2, стр. 13.

В статье анализируется ряд факторов, определяющих количественный эффект быстродействующего выключения на устойчивость параллельной работы, и дается общая оценка его

в сравнении с другими способами увеличения устойчивости системы. Даётся характеристика быстродействующего выключения с точки зрения: а) получения работы защиты, б) уменьшения возможного пика коммутационных перенапряжений, в) предотвращения выпадения промышленной нагрузки при аварии, г) локализации аварии и ее влияния на аппаратуру системы. В заключение дается перечень быстродействующих аппаратуры в свете технических возможностей.

ИНЖ. САХАРОВ А. П—Быстродействующее возбуждение синхронных машин. „Эл-во“, 1933, № 2, стр. 22.

В статье в математической интерпретации дается обзор систем возбуждения синхронных машин в связи с проблемой устойчивости параллельной работы.

ИНЖ. БУТКЕВИЧ Ю. В. и ИНЖ. КУЛАКОВА Р. В.—Железные сопротивления для ограничения токов короткого замыкания. „Эл-во“, 1933, № 2, стр. 31.

Авторы приводят методы расчета и конструирования железных сопротивлений и описывают опытные испытания первых киловольтной модели конструкции ВЭИ, проведенной Н. Г. Георгиевским летом 1931 г. В заключение оказывается, что для изготовления сопротивлений (резисторов) можно использовать остатки и даже отбросы кабельной брони.

ОНТИ—ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО

Технич. редактор Н. Н. Дьяконов.

РЕДКОЛАГИ: инж. Е. С. Аваков, проф. В. И. Вейд, инж. В. Н. Галанов, инж. М. И. Грановская, инж. Я. А. Климовский, акад. Г. И. Кржижановский, инж. И. С. Палицын, М. И. Рубинштейн, инж. И. А. Савенов, проф. И. А. Шаталов, проф. Я. Н. Шильдерейн.

ОТВ. РЕДАКТОР инж. Я. А. Климовский.

Сдано в набор 15/I, подписано к печати 15/II—33 г.

Бумага 62×94. Печатных листов 5½. Печатных знаков в листе 7880

Уполн. Главл. В—46841

Москва, тип. Госбанка СССР, Юшков пер., 10. Зак. 6749.

Тираж 1330

ОТКРЫТА ПОДПИСКА НА 1933 ГОД
на ежемесячный научно-технический журнал

„ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ“⁶⁶

ОРГАН ГЛАВЭНЕРГО

и ГОД ИЗДАНИЯ

4-й ГОД ИЗДАНИЯ

ПРОГРАММА ЖУРНАЛА: Общие технико-экономические проблемы планирования. Освещение отдельных планов электрификации наиболее характерных районов Союза. Общий план электрификации. Технические проблемы электрификации. Критический анализ отдельных проектов крупного электростроительства. Стандартизация и типизация. Описание и критический разбор строительных и монтажных работ. Новые типы и конструкции оборудования. Описание аварий и методы их ликвидации. Организация эксплуатации. Подготовка кадров. Организация ремонтного хозяйства. Режим работы станций. Распределение нагрузок. Регулирование напряжений. Распределение энергии в крупных городах. Вопросы расхода на собственные нужды. Обеспечение надежности параллельной работы станций. Организация диспетчерской службы и опыт ее работы. Централизация управления и применение автоматических приборов. Статистика, информация, библиография, хроника.

ЖУРНАЛ РАССЧИТАН: на инженеров, техников, учащихся вузов, научно-исследовательские институты, проектирующие организации.

ПОДПИСНАЯ ЦЕНА:

на год	18 р.
на 6 мес.	9 р.
на 3 мес.	4 р. 50 к.
Отдельный номер 1 р. 50 к.	

Подпись принимается во всех почтовых отделениях, у письмосenders, во всех отделениях и магазинах книгоцентра

ОТКРЫТА ПОДПИСКА НА 1933 ГОД
на ежемесячный научно-технический журнал

„ТЕПЛО И СИЛА“⁶⁶

орган Четвартурбины

3-й ГОД ИЗДАНИЯ

6-й ГОД ИЗДАНИЯ

ПРОГРАММА ЖУРНАЛА:

Вопросы проектирования станций высокого давления и теплоэлектроцентралей. Технологии схем отопления. Советские конструкции турбин высокого давления, высоких температур и большой мощности. Технологические турбины. Стандартизация схем турбинных установок. Советские схемы высокого давления и большой паропроизводительности. Вопросы экранирования. Стандартизация схем и разработка типовых котельных агрегатов. Котлы с естественной и принудительной циркуляцией. Сжигание жидкокомплексных местных топлив. Топливоподача. Топливоприготовление. Золо- и пакоудаление. Золо- и сероудаление. Стандартизация топочного оборудования. Водо-воздухонагреватели. Аккумуляторы. Советские конструкции и стандартизация водоочистителей, деаэраторов, фильтров, испарителей, умформеров и насосов. Типовые схемы теплового контроля. Измерительные приборы. Вопросы теплофикации промышленности. Схемы тепловых сетей. Типовые расчеты сетей. Теплопровода. Изоляция. Монтаж турбинного и котельного оборудования. Наладка и пуск оборудования. Обмен опытом. Вопросы подготовки кадров. Аварии теплосилового оборудования и методы их ликвидации. Хроника. Научно-техническая информация. Критика. Библиография.

ЖУРНАЛ РАССЧИТАН:

на инженеров, техников, учащихся вузов, научно-исследовательские институты, проектирующие организации.

ПОДПИСНАЯ ЦЕНА:

на год—18 р., на 6 мес.—9 р., на 3 мес.—4 р. 50 к. Отдельный номер—1 р. 50 к.

Подпись принимается во всех почтовых отделениях, у письмосenders, во всех отделениях и магазинах книгоцентра

**ПРИНИМАЕТСЯ ПОДПИСКА на 1933 год НА ЖУРНАЛ
ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ И ЭЛЕКТРОМОНТЕР**

Ежемесячный орган Всесоюзного Электротехнического Объединения ВЭО

Год издания II.

Задачи журнала: освещение вопросов монтажа и применения электротехнического оборудования в различных отраслях народного хозяйства. Популяризация знаний в области электротехники сильных токов. Обмен опытом между работниками электромонтажей и электрохозяйства. Информация о достижениях союзной электропромышленности. Информация о новостях иностранной техники в области электрификации и сильноточной промышленности. Журнал рассчитан на квалифицированных электромонтеров, студентов, младший и средний техперсонал.

Подписная цена: на год 7 р. 20 к., на 6 мес. 3 р. 60 к., на 3 мес. 1 р. 80 к.
Отдельный номер — 60 коп.

**ПРИНИМАЕТСЯ ПОДПИСКА на 1933 г. НА ЖУРНАЛ
„ЭЛЕКТРИЧЕСТВО“**

Год издания 53-й

Орган союзных электроэнергетических учреждений и организаций (ВЭО, Главэнерго НКТП СССР, Энергетического института, Академии наук СССР и ВЭК)

Выходит 2 раза в м-ц

Подписная цена:

на 12 мес. 24 р.
на 6 мес. 12 р.
на 3 мес. 6 р.
Отдельный номер 1 р.

В группе энергетических журналов СССР „Электричество“ является основным руководящим научно-техническим органом, рассчитанным на квалифицированных работников электропромышленности и электрохозяйства.

Программа журнала: Современные научно-исследовательские, теоретические и практические проблемы электротехники и в частности вопросы электро-машино- и аппаратостроения и техники высоких напряжений. Наиболее важные технические и технико-экономические вопросы проектирования, строительства и эксплуатации электростанций и вопросы электрификации промышленности, транспорта и сельского хозяйства. Освещение работы электротехнических научно-исследовательских институтов и крупнейших лабораторий. Освещение работы важнейших энергетических съездов, конференций и ВЭНИТО. Основные вопросы подготовки кадров, рационализации и стандартизации в электропромышленности и электрохозяйстве. Критическая библиография о вновь выходящей электротехнической литературе. Обзоры электрификации СССР и капиталистических стран. Рефераты на статьи в иностранной электротехнической печати.

Подписка принимается во всех магазинах и отделениях КНИГООБЪЕДИНЕНИЯ ОГИЗа (КОГИЗа), у письмоносцев и на ПОЧТЕ