

ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

ОРГАН АКАДЕМИИ НАУК СССР, МИНИСТЕРСТВА ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ СССР
И МИНИСТЕРСТВА ЭЛЕКТРОПРОМЫШЛЕННОСТИ СССР

СОДЕРЖАНИЕ

Г. И. Атабеков — Новый принцип выполнения направленной дистанционной защиты	3
А. А. Ермилов — Основные принципы построения трансформаторных подстанций промпредприятий	7
Б. М. Тареев и Я. М. Парнас — Нагревостойкая пористая изоляция	13
Л. Р. Нейман — Поверхностный эффект в ферромагнитных проводах и магнитных цепях	18
Р. А. Воронов и Г. Е. Пухов — Общие уравнения четырехполюсника	25
Э. М. Мазурский — Критический пролет цепи подвески	32
К. А. Смирнов — Устойчивость регулирования возбуждения генераторов при повышающихся характеристиках	34
С. А. Бургучев — Когда возможно сочетание воздушной линии с кабельной сетью	40
Н. П. Ермолин — Безреостатный пуск маломощных шунтовых электродвигателей постоянного тока в автономных установках	44
В. В. Енько и П. Д. Лебедев — Исследование теплопередачи в электрических машинах	47
ИЗ ОПЫТА РАБОТЫ	
С. И. Огороднов — К вопросу проектирования схем управления заблокированными механизмами литейных цехов	53
ЗАМЕТКИ И ПИСЬМА	59
ИЗ ИСТОРИИ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ	
М. А. Шателен — Первый всероссийский электротехнический съезд	60
ПО СТРАНИЦАМ ТЕХНИЧЕСКИХ ЖУРНАЛОВ	75
СТАНДАРТЫ И НОРМЫ	
Номинальные напряжения стационарных электрических сетей (Проект ГОСТ)	77
ДИСКУССИИ	
К проекту ГОСТ на номинальные напряжения стационарных электрических сетей	78
ХРОНИКА	
В НТО Московского энергетического института им. Молотова	84
Комиссия по диэлектрикам при Академии наук СССР	85
Конференция читателей сборника „Электротермия“	85
Профессор М. П. Костенко	86
Профессор А. Н. Ларионов	87
Профессор Б. П. Апаров	87
Е. А. Свирский	88
П. С. Жданов	89
БИБЛИОГРАФИЯ	
В. Р. Секторов — Книга Н. К. Кузнецова, А. П. Златковского „Сельскохозяйственные гидроэлектростанции“	90
Ф. В. Майоров — Книга П. М. Пфлиер „Электрическое измерение механических величин“	92
Д. И. Марьяновский — Книга Г. Лауер, С. Лесник, Л. Мадсон „Основы теории сервомеханизмов“	93
Ю. М. Галонен — Книга С. Г. Блантера „Электрическое оборудование тяговых подстанций“	94
Новые книги по электричеству, электротехнике и электроэнергетике	95



РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

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

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

Новый принцип выполнения направленной дистанционной защиты

Доктор техн. наук, проф. Г. И. АТАБЕКОВ

ЦНИЭЛ МЭС

Обычные дистанционные омметры, применяемые для защиты сетей 110 — 220 кВ от междуфазных коротких замыканий, включаются, как правило, на линейные напряжения и разности фазных токов [Л. 1]. Чаще всего эти омметры устанавливаются во всех трех фазах. Только на линиях, на которых кратность токов короткого замыкания по отношению к токам нагрузки велика (например, на линиях с односторонним питанием), иногда практикуется включение одного импедансного омметра на разность фазных токов по односистемной схеме с переключением цепей напряжения с фазы на фазу в зависимости от вида короткого замыкания.

Недостатком трехсистемного исполнения дистанционной защиты от многофазных коротких замыканий является:

1) большое число сложных реле: пусковых органов минимального импеданса, органов направления мощности, омметров;

2) необходимость отстройки пусковых органов от максимальных нагрузок; на линиях большой протяженности и на сильно нагруженных линиях пусковые органы оказываются в ряде случаев столь заглубленными (из-за отстройки от перегрузки), что защита может отказывать в действии при коротких замыканиях;

3) необходимость применения устройств, блокирующих защиту при качаниях;

4) нереагирование на двухфазные замыкания на землю (в случае блокировки защиты при замыканиях на землю).

К числу основных недостатков существующих односистемных схем (с неизменными цепями тока и с переключением цепей напряжения) относятся:

1) ограниченная область применения (линии с односторонним питанием) из-за возможности неправильного замера при двухфазных коротких замыканиях [Л. 2, стр. 167 и 169];

Показана принципиальная возможность создания дистанционной защиты линий электропередач 110 — 220 кВ от многофазных коротких замыканий с помощью направленных омметров, удовлетворяющих условиям срабатывания (1) и (2). Эти омметры могут быть выполнены на базе использования систем: детекторной, балансной или индукционной с вращающимся полем. Дистанционная защита, основанная на новом принципе, имеет ряд преимуществ по сравнению с существующими. Статья представляет расширенное изложение докладов, прочитанных автором в январе 1949 г. в Мосэнерго и ЦНИЭЛ МЭС.

2) возможность уменьшения замера при двухфазном замыкании за трансформатором, имеющим соединение обмоток звезда — треугольник [Л. 2, стр. 170];

3) необходимость выведения защиты из действия при замыканиях на землю [Л. 2, стр. 407].

В 1949 г. на научно-технической сессии ВНИТОЭ по электроавтоматике и телемеханике в Ленинграде автором сделано краткое сообщение о новом принципе выполнения дистанционной защиты с помощью двух типов направленных омметров¹, а именно:

омметра, действующего при

$$|\dot{U}_1 - i_1 Z'_1| < |\dot{U}_2 - i_2 Z'_1|. \quad (1)$$

и омметра, действующего при

$$\left| \dot{U}_1 - i_1 \frac{Z'_1}{2} \right| < \left| i_1 \frac{Z'_1}{2} \right|; \quad (2)$$

здесь $\dot{U}_1, \dot{U}_2, i_1, i_2$ — напряжения и токи положительной и отрицательной последовательностей в месте установки реле; $Z'_1 = z'_1 e^{j\delta}$ — полное сопротивление положительной последовательности защищаемой зоны (все величины отнесены к первичной стороне измерительных трансформаторов).

В резолюции вышеуказанной сессии отмечена целесообразность разработки дистанционной защиты на этом новом принципе. Краткое упоминание об этом принципе имеется также в работе автора [Л. 2, стр. 193].

Как будет показано ниже, весьма удачной разновидностью омметра первого типа является предложенное А. М. Бреслером в качестве направленного омметра индукционное реле с вра-

¹ Авторское свидетельство по заявке № 385928-III, от 11 октября 1948 г. г. а. и. Атабекова.

шающимся полем², реагирующее на знак синуса угла между напряжениями

$$\dot{U}_{AB} - i_{AB} Z'_1 \text{ и } \dot{U}_{BC} - i_{BC} Z'_1.$$

Примером омметра второго типа может служить реле типа Mho, включенное на составляющие положительной последовательности [Л. 2, стр. 356].

Целью настоящей работы является показать, что защита, выполненная с помощью двух реле, удовлетворяющих условиям (1) и (2), представляет собой направленную дистанционную защиту от многофазных коротких замыканий: трехфазных коротких замыканий, замыканий между любыми двумя фазами и двухфазных замыканий на землю (в одной точке).

Для этого в соответствии с (1) и (2) подлежат исследованию при различных видах коротких замыканий (в зоне и вне зоны) знаки выражений

$$\Delta U' = |\dot{U}_1 - i_1 Z'_1| - |\dot{U}_2 - i_2 Z'_1|; \quad (3)$$

$$\Delta U'' = \left| \dot{U}_1 - i_1 \frac{Z'_1}{2} \right| - \left| i_1 \frac{Z'_1}{2} \right|. \quad (4)$$

Обозначая через $Z_1 = z_1 e^{j\delta}$ — полное сопротивление положительной последовательности участка от места установки реле до места короткого замыкания (при отсутствии отсоса или подпитки на этом участке), а через $\dot{U}_{1K}$ и $\dot{U}_{2K}$ — напряжения положительной и отрицательной последовательностей в месте повреждения, можно взамен (3) и (4) написать:

$$\Delta U' = |\dot{U}_{1K} + i_1 (Z_1 - Z'_1)| - |\dot{U}_{2K} + i_2 (Z_1 - Z'_1)|; \quad (5)$$

$$\Delta U'' = \left| \dot{U}_{1K} + i_1 \left(Z_1 - \frac{Z'_1}{2} \right) \right| - \left| i_1 \frac{Z'_1}{2} \right|. \quad (6)$$

Ниже рассмотрены случаи металлических трехфазных и двухфазных коротких замыканий между любыми двумя фазами или любых двух фаз на землю (в одной точке).

Трехфазные короткие замыкания. При трехфазных коротких замыканиях первое реле, реагирующее на знак выражения (5), не действует, и работа защиты всецело определяется поведением второго реле, реагирующего на знак выражения (6). Характеристика его срабатывания, вычерченная в комплексной плоскости, представляется в этом случае в виде окружности, проходящей через начало координат. Действительно, уравнение реле может быть получено в результате деления равенства

$$\left| \dot{U}_1 - i_1 \frac{Z'_1}{2} \right| - \left| i_1 \frac{Z'_1}{2} \right| = 0 \quad (7)$$

на I_1 , с учетом того, что $\frac{\dot{U}_1}{I_1} = Z = z e^{j\varphi}$:

$$\left| Z - \frac{Z'_1}{2} \right| = \frac{z'_1}{2} \quad (8)$$

или, что то же:

$$z^2 - z z'_1 \cos(\varphi - \delta) + \left(\frac{z'_1}{2} \right)^2 = \left(\frac{z'_1}{2} \right)^2; \\ z = z'_1 \cos(\varphi - \delta). \quad (9)$$

Выражение (9) представляет в полярных координатах уравнение окружности, проходящей через начало координат с диаметром, повернутым относительно оси на угол δ ; как известно, это и есть характеристика направленного омметра типа Mho [Л. 2, стр. 356].

Таким образом при трехфазных коротких замыканиях второе реле действует, как омметр типа Mho.

Двухфазное замыкание в конце защищаемой зоны. При двухфазном коротком замыкании в конце зоны

$$Z_1 = Z'_1. \quad (10)$$

При этом в соответствии с (5)

$$\Delta U' = |\dot{U}_{1K}| - |\dot{U}_{2K}| = 0, \quad (11)$$

так как при двухфазном замыкании напряжения положительной и отрицательной последовательностей в месте повреждения равны по абсолютной величине.

В свою очередь в соответствии с (6)

$$\Delta U'' = \left| \dot{U}_{1K} + i_1 \frac{Z'_1}{2} \right| - \left| i_1 \frac{Z'_1}{2} \right| > 0. \quad (12)$$

Таким образом, оба реле не действуют.

Двухфазное замыкание за пределами защищаемой зоны. В этом случае при направлении мощности короткого замыкания от шин в сторону линии

$$z_1 > z'_1. \quad (13)$$

При этом

$$\left. \begin{aligned} |\dot{U}_{1K} + i_1 (Z_1 - Z'_1)| &> U_{1K}, \\ |\dot{U}_{2K} + i_2 (Z_1 - Z'_1)| &< U_{2K}. \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

Следовательно, в соответствии с (5) и (14)

$$\Delta U' > 0.$$

В свою очередь в соответствии с (6) при условии (13)

$$\Delta U'' > 0.$$

Таким образом, при двухфазном замыкании за концом зоны оба реле не действуют.

Аналогичное явление имеет место при двухфазном замыкании вне защищаемой зоны, в случае направления мощности короткого замыкания в сторону шин. Иначе говоря, первое реле так же, как и второе, является направленным омметром.

² Авторское свидетельство № 66343, 1945 г., на имя А. М. Бреслера.

Двухфазное замыкание в защищаемой зоне.
В этом случае

$$z_1 < z'_1 \quad (15)$$

и соответственно

$$|\dot{U}_{1K} + \dot{I}_2(Z_1 - Z'_1)| \approx U_{1K} + I_2(z'_1 - z_1) > U_{1K}. \quad (16)$$

Что касается величины $|\dot{U}_{1K} + \dot{I}_1(Z_1 - Z'_1)|$, входящей в (5), то она может быть как меньше, так и больше U_{1K} . В первом случае с учетом (5) и (16) $\Delta U' < 0$ и, следовательно, первый омметр действует. Во втором случае поведение первого омметра может быть различным. Например, если угол между $\dot{U}_{1K}$ и $\dot{I}_{1K}$ близок по величине к углу полного сопротивления линии, то

$$|\dot{U}_{1K} + \dot{I}_1(Z_1 - Z'_1)| \approx I_1(z'_1 - z_1) - U_{1K} > U_{1K}, \quad (17)$$

и на основании (5), (16) и (17)

$$\Delta U' \approx -2U_{1K} + (I_1 - I_2)(z'_1 - z_1), \quad (18)$$

т. е. первый омметр может либо действовать, либо не действовать в зависимости от соотношения величин, входящих в (18). Наиболее вероятен отказ омметра при замыкании вблизи места установки защиты и при значительном преобладании I_1 на I_2 , что возможно при двухфазных замыканиях на землю.

Таким образом, при условии (17) возможно неравенство $\Delta U' > 0$, в силу которого первый омметр не действует. Однако, отказа защиты при этом не происходит, так как срабатывает второй омметр. Действительно, пусть

$$|\dot{U}_1 - \dot{I}_1 Z'_1| > U_{1K}$$

или, что то же,

$$|\dot{U}_1 - \dot{I}_1 Z'_1| > |\dot{U}_1 - \dot{I}_1 Z_1|. \quad (19)$$

Разделив обе части неравенства (19) на I_1 и приняв, как и раньше, $\frac{\dot{U}_1}{I_1} = Z = ze^{j\varphi}$, получаем:

$$|Z - Z'_1| > |Z - Z_1|.$$

Отсюда

$$z^2 + (z'_1)^2 - 2zz'_1 \cos(\varphi - \delta) > z^2 + z_1^2 - 2zz_1 \cos(\varphi - \delta).$$

В результате простых преобразований находим:

$$z < \frac{z'_1 + z_1}{2 \cos(\varphi - \delta)}. \quad (20)$$

Условие трогания второго омметра на основании (9) может быть записано в виде:

$$z < z'_1 \cos(\varphi - \delta). \quad (21)$$

В соответствии с (20) и (21) для действия второго омметра достаточно соблюдение неравенства

$$\cos(\varphi - \delta) \geq \sqrt{\frac{1}{2} \left(1 + \frac{z_1}{z'_1} \right)}. \quad (22)$$

Это условие является достаточным (но не необходимым) для того, чтобы второй омметр резервировал первый в случае его отказа при двухфазном замыкании в зоне защиты. Так, например, при $z_1 = 0$ достаточно, чтобы соблюдалось условие $|\varphi - \delta| < 45^\circ$.

Поскольку разница в углах φ (угол между $\dot{U}_1$ и $\dot{I}_1$) и δ (угол полного сопротивления линии) обычно не выходит за пределы указанной величины при замыкании в защищаемой зоне и наличии двухстороннего питания, и ввиду того, что выполнение неравенства (22), вообще говоря, не обязательно, так как условия (20) и (21) могут быть соблюдены помимо (22), можно считать, что резервирование действия первого омметра вторым при двухфазных замыканиях на землю вблизи места установки защиты (когда первый омметр может отказывать) практически почти всегда обеспечено.

В случае перевода линии на временный режим одностороннего питания защита, выполненная вышеуказанным способом и установленная на приемном конце линии, при коротких замыканиях вне защищаемой зоны работать не будет; поэтому вывести ее из действия на приемном конце не требуется.

Итак, во всех рассмотренных выше случаях трехфазных и двухфазных замыканий защита, основанная на применении двух вышеупомянутых омметров, действует правильно.

Можно показать, что при однофазных замыканиях на землю защищаемая зона сокращается и поэтому блокировка защиты при однофазных замыканиях на землю не требуется.

Наличие переходного сопротивления в месте повреждения также влияет в сторону укорочения защищаемой зоны.

Соединение обмоток понижающих трансформаторов звезда — треугольник на работу защиты не влияет.

В качестве омметров, удовлетворяющих условиям срабатывания (1) и (2), могут быть применены реле, выполненные на базе систем: детекторной, балансной или индукционной с вращающимся полем. Каждой из этих систем присущи свои особенности.

Детекторная система, выполненная в виде поляризованного реле, приключенного к твердым выпрямителям, характеризуется малым потреблением мощности в цепях тока и напряжения.

Балансная электромагнитная система, в которой сравнение абсолютных значений электрических величин осуществляется путем сравнения механических усилий электромагнитов, отличается большой простотой.

Индукционная система с вращающимся полем, выполненная в виде реле с цилиндрическим ротором, обладает высокой чувствительностью.

Как детекторная, так и балансная системы, отвечающие условиям срабатывания (1) и (2),

требуют применения фильтров положительной и отрицательной последовательностей.

Что касается индукционной системы с вращающимся полем, то для выполнения омметра, удовлетворяющего условию срабатывания (1), применение фильтров симметричных составляющих не обязательно.

К индукционной системе, реагирующей на косинус угла между напряжениями на ее зажимах, должны быть подведены напряжения

$$\dot{U}_m = (\dot{U}_1 - i_1 Z_1') e^{j\alpha} + (\dot{U}_2 - i_2 Z_1') e^{-j\beta}; \quad (23)$$

$$\dot{U}_n = (\dot{U}_1 - i_1 Z_1') e^{j\beta} - (\dot{U}_2 - i_2 Z_1') e^{-j\alpha}; \quad (24)$$

здесь α и β — произвольные фиксированные углы, удовлетворяющие условию

$$|\alpha - \beta| \neq 90^\circ. \quad (25)$$

В этом случае момент индукционной системы пропорционален действительной части комплексного выражения $\dot{U}_m \dot{U}_n$, т. е. можно показать, что

$$M = K \{ |\dot{U}_1 - i_1 Z_1'|^2 - |\dot{U}_2 - i_2 Z_1'|^2 \} \cdot \cos(\alpha - \beta); \quad (26)$$

здесь K — коэффициент пропорциональности. Очевидно, что знак момента M при фиксированных значениях α и β определится соотношением абсолютных величин

$$|\dot{U}_1 - i_1 Z_1'| \quad \text{и} \quad |\dot{U}_2 - i_2 Z_1'|.$$

В качестве практических вариантов могут быть рассмотрены два:

1) $\alpha = \beta = 0$. В этом случае

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_m &= \dot{U}_A - \dot{U}_0 - (i_A - i_0) Z_1', \\ \dot{U}_n &= j \frac{1}{\sqrt{3}} (\dot{U}_{BC} - i_{BC} Z_1'). \end{aligned} \right\} \quad (27)$$

2) $\alpha = 30^\circ$; $\beta = 0$. При этом

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_m &= \frac{1}{\sqrt{3}} (\dot{U}_{AB} - i_{AB} Z_1'), \\ \dot{U}_n &= j \frac{1}{\sqrt{3}} (\dot{U}_{BC} - i_{BC} Z_1'). \end{aligned} \right\} \quad (28)$$

Взамен реле, реагирующего на косинус угла между напряжениями $\dot{U}_m$ и $\dot{U}_n$, может быть применено реле, реагирующее на синус угла между $\dot{U}_m$ и $-j\dot{U}_n$.

Таким образом, реле, реагирующее на синус угла между напряжениями $\dot{U}_{AB} - i_{AB} Z_1'$ и $\dot{U}_{BC} - i_{BC} Z_1'$, представляет не что иное, как рациональный вариант выполнения направленного омметра на индукционной системе при $\alpha = 30^\circ$ и $\beta = 0$. Такое реле было предложено в 1945 г. А. М. Бреслером в качестве омметра на основе

произведенного им анализа векторных диаграмм при двухфазных коротких замыканиях.

Как уже указывалось выше, индукционная система с вращающимся полем позволяет также выполнить омметр, отвечающий условию срабатывания (2). С этой целью может быть применено реле, включенное на напряжения, пропорциональные $\dot{U}_1$ и $\dot{U}_1 - i_1 Z_1'$ (коэффициент пропорциональности может быть действительным или комплексным).

Выводы. Новый принцип выполнения направленной дистанционной защиты, основанный на применении омметров, удовлетворяющих условиям срабатывания (1) и (2), имеет следующие преимущества перед известными принципами:

1. Омметры совмещают в себе функции органов направления мощности, и поэтому исключается необходимость применения отдельных органов направления.

2. Не требуется переключение омметров с фазы на фазу в зависимости от вида короткого замыкания; в связи с этим отпадает необходимость в применении избирательных органов в фазах и исключается необходимость отстройки от токов неповрежденных фаз.

3. В связи с пп. 1 и 2 защита в целом упрощается.

4. Ввиду отсутствия пусковых органов, нереагирования первого омметра на перегрузку и отстройки характеристики трогания второго омметра от нагрузочного режима [Л. 2, стр. 353] облегчается задача защиты длинных и сильно нагруженных линий.

5. Омметр, удовлетворяющий условию срабатывания (1), по принципу своего действия не реагирует на качания; поэтому блокировка его при качаниях не требуется. Омметр, удовлетворяющий условию срабатывания (2), также может не блокироваться, так как он обладает характеристикой, мало реагирующей на качания [Л. 2, стр. 360].

6. При однофазных замыканиях на землю вне защищаемой зоны неправильного действия не происходит; поэтому при $I_0 \neq 0$ защита не блокируется и остается в работе при двухфазных замыканиях на землю.

7. Защита правильно действует при замыканиях за трансформатором, имеющим соединение обмоток звезда — треугольник.

Область применения: защита от многофазных коротких замыканий (трехфазных, замыканий между двумя фазами и двухфазных замыканий на землю в одной точке) линий электропередач 110 — 220 кВ.

Литература

1. Руководящие указания по релейной защите. Госэнергоиздат, 1948.
2. Г. И. Атабеков. Релейная защита высоковольтных сетей. Госэнергоиздат, 1949.

20. 8. 1949]



Основные принципы построения трансформаторных подстанций промпредприятий

Инж. А. А. ЕРМИЛОВ

Центроэлектромонтаж

Современные тенденции в области построения трансформаторных подстанций промышленных предприятий могут быть охарактеризованы тремя основными положениями:

а) разукрупнение цеховых подстанций; б) гибкая система цехового распределения электроэнергии; в) внедрение индустриальных методов в монтаж подстанций.

Этим трем основным положениям должны быть подчинены все решения по выбору схемы, мощности, конструкции и месторасположения промышленных подстанций.

Первое положение решает вопросы экономии цветных металлов и электроэнергии и снижения общей стоимости электроснабжения. Оно весьма существенно отразилось на выборе расположения подстанций, их мощности, числа трансформаторов на них и на конструктивном их выполнении.

Во все возрастающем количестве появляются пристроенные, встроенные и внутренние, малогабаритные одно- и двухтрансформаторные цеховые подстанции с простейшей схемой электрических соединений, чрезвычайно несложной конструкции, зачастую без сборных шин и высоковольтных выключателей.

Компактные прислонные щиты заменили прежние громоздкие отдельно-стоящие.

Второе положение, требующее гибкой и мобильной системы цехового распределения энергии, еще более упростило схему и конструкцию подстанции, так как отпал щит низкого напряжения. На подстанции практически остается только один трансформатор с очень несложными коммутационными аппаратами на стороне высшего и низшего напряжения.

Основа третьего положения заключается в переносе почти всех работ по монтажу подстанции на завод или в мастерские, где изготавливаются «комплектные» или «сборные» распределительные устройства и подстанции. Монтаж подстанции при этом сводится, по существу, лишь к

Излагаются основные требования, предъявляемые к современным подстанциям промышленных предприятий. Освещены новейшие тенденции в области схем коммутации, электрооборудования и конструктивного выполнения подстанций. Изложены требования к комплектным распределительным устройствам и подстанциям и к внутрицеховым трансформаторным подстанциям.

такелажным работам и подсоединению питающих и отходящих кабелей.

Все эти три положения иллюстрируются рис. 1, на котором представлена комплектная подстанция

малой мощности, без собирательных шин высокого и низкого напряжения с выводами непосредственно на цеховую магистраль низкого напряжения. Комплектные подстанции радикально разрешают задачу широкого внедрения их внутрь производственных помещений и, следовательно, приближения их к потребителям, и это является основным их преимуществом.

Таким образом, выдвинутые выше положения не вызывают взаимных противоречий в отношении предъявляемых ими требований к конструктивному выполнению цеховых подстанций. Наоборот, эти требования гармонически сочетаются.

Схемы соединений. Применение на промышленных подстанциях простейших схем соединений позволяет резко упростить конструкции подстанций, уменьшить их габариты, а в некоторых случаях вовсе отказаться от распределительных устройств на них. Это дает значительное упрощение и удешевление подстанции с одновремен-

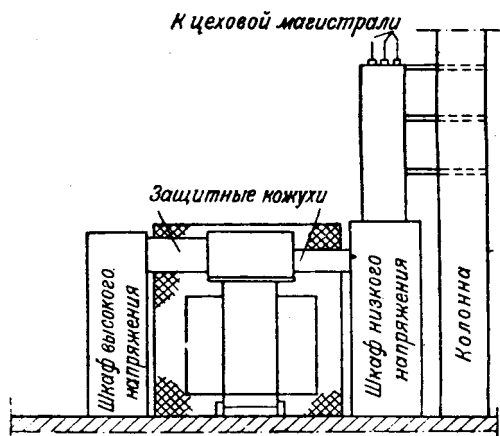


Рис. 1.

ным повышением надежности и безопасности в эксплуатации.

Очень широкое применение имеют одно- и двухтрансформаторные цеховые подстанции, питаемые по магистральной или радиальной схеме и не имеющие сборных шин высокого напряжения.

В самое последнее время на цеховых подстанциях промышленных предприятий (главным образом, на металлургических заводах) все большее и большее применение начинает находить чрезвычайно экономичная и очень гибкая в эксплуатации система блока «трансформатор — магистраль низкого напряжения» (рис. 1). При этой системе схема подстанции еще более упрощается и при радиальном питании получается схема полного блока — «линия высокого напряжения — трансформатор — магистраль низкого напряжения».

Во всех прочих случаях на цеховых подстанциях, как правило, применяется одна система сборных шин с разделением в необходимых случаях на секции. Таким образом, выполняются схемы соединений даже очень крупных и ответственных цеховых подстанций металлургических заводов, питающих потребителей первой категории (доменные, мартеновские и др.).

Две системы сборных шин применяются сравнительно редко и лишь на очень мощных подстанциях ответственного назначения с преобладанием нагрузок первой категории, например, на главных понизительных подстанциях крупных заводов с развитой сетью, с большим числом присоединений и наличием транзитных линий.

Произведенные Главэлектромонтажем обследования электрооборудования действующих предприятий показали, что отказ от двух систем сборных шин, упрощая эксплуатацию подстанций, не приводит к нарушению бесперебойности электроснабжения. Наоборот, надежность повышается, так как простота схемы сводит к минимуму вероятность ошибочных манипуляций с коммутационными аппаратами.

Поэтому необходимость двух систем шин должна быть надлежащим образом обоснована в каждом отдельном случае. Например, ее совершенно не следует применять даже при нагрузках первой категории, если питание их может быть надежно обеспечено при одной системе шин, в частности, путем применения автоматического включения резерва или же путем соответствующего построения схемы электроснабжения, позволяющего обеспечить надежное питание ответственных потребителей.

Связь между секциями сборных шин на промышленных подстанциях обычно осуществляется при помощи разъединителей. В дальнейшем для этой цели широкое применение должны получить разъединители мощности и лишь на мощных подстанциях со значительным числом линий, а также при наличии значительных нагрузок первой категории целесообразно предусматривать силовые выключатели.

Основное электрооборудование. В настоящее время выявилась тенденция к преимущественному

применению на промышленных подстанциях оборудования с малым объемом масла или безмасляного (маломасляные и безмасляные выключатели, сухие силовые и измерительные трансформаторы, сухие кабельные разделки и т. п.), что диктуется требованиями пожаро- и взрывобезопасности. В большом количестве применяются горшковые маломасляные выключатели типа ВМГ-133. Начинает применяться безмасляный газогенерирующий силовой выключатель типа ВГ-10 с параметрами, близкими к параметрам ВМГ-133. Постепенно внедряются разъединители мощности и мощные высоковольтные предохранители. Разрабатывается серия безмасляных выключателей (электромагнитных и пневматических) на все напряжения. Один из заводов МЭП приступает к изготовлению сухих силовых трансформаторов средней мощности.

Технические преимущества перечисленных аппаратов бесспорны. Очевидны также и лучшие экономические показатели распределительных устройств, оборудованных этими выключателями: уменьшение кубатуры (примерно на 40%), отсутствие взрывных камер, возможность применения сборных конструкций для скоростного монтажа и т. п.

Наиболее выпуклое выражение преимущества маломасляных и безмасляных выключателей и разъединителей мощности приобретают при применении их в следующих случаях:

а) на внутрицеховых подстанциях, а также во всякого рода пусковых ящиках, шкафах и распределительных устройствах, располагаемых в машинных залах, компрессорных, насосных и других производственных помещениях;

б) когда по тем или иным соображениям нельзя или затруднительно выполнить взрывные камеры, требующиеся для многомасляных выключателей.

Некоторым недостатком нового безмасляного выключателя ВГ-10 является отсутствие дистанционного привода; это существенно ограничивает область его применения.

Разъединители мощности в комплекте с мощными силовыми предохранителями уже сейчас способны заменить силовые выключатели с разрывной мощностью до 200 мвга, напряжением до 6 кВ и номинальным током до 100 ÷ 200 А, а в ближайшее время эти параметры должны увеличиться.

Схемы с разъединителями мощности имеют широкие перспективы на подстанциях промышленных предприятий. Они дают возможность выполнить распределительное устройство высокого напряжения без сложного комплекса коммутационной и защитной аппаратуры. Значительно упрощается также конструкция подстанции, особенно по сравнению с конструкциями, требующими применения взрывных камер.

К сожалению, выпускавшийся до сего времени разъединитель мощности типа РМ-6 не является еще достаточно совершенным, так как при его отключении может иметь место выброс горячих газов непосредственно наружу, а при включении — нечеткая работа вилок. Поэтому впредь

до освоения более совершенного типа РМП-10, свободного от вышеупомянутых недостатков, разъединители мощности не нашли применения на линиях, питающих ответственных потребителей. Они применяются пока, главным образом, на тупиковых линиях и, в частности, на присоединениях к силовым трансформаторам.

При применении схем с разъединителями мощности возникает необходимость рационального разрешения вопросов учета энергии и измерения электрических величин, а в некоторых случаях также вопросов защиты от замыканий на землю и газовой защиты трансформаторов, ибо, как известно, силовой предохранитель обеспечивает только защиту от сверхтоков, причем он не обладает достаточной чувствительностью к перегрузкам. Нужно стремиться к такому разрешению этих вопросов, чтобы, как правило, упростить конструктивные решения, так как в противном случае снижается экономический эффект от применения этих простых аппаратов.

Наряду с новыми типами аппаратов продолжают пока выпускаться также и некоторые из прежних баковых выключателей (ВМ-16, ВМ-35). Разработан даже новый баковый выключатель типа ВМБ-10 с автоматическим штурвальной приводом типа ПАШ-10, призванный заменить менее совершенный выключатель типа ВМ-16.

Как новинку следует отметить применение на промышленных подстанциях для зарядки аккумуляторных батарей селеновых выпрямителей, обладающих следующими преимуществами по сравнению с другими зарядными устройствами:

1) отсутствие вспомогательных цепей для пуска, вследствие чего пуск осуществляется мгновенно и увеличивается надежность работы выпрямителя;

2) большая механическая прочность.

Внедрению нового оборудования и, в частности, выключателей типа ВГ-10 и разъединителей мощности препятствует чрезмерно высокая их стоимость по сравнению со старыми типами аппаратов.

Так, например, выключатель ВГ-10 почти втрое дороже более мощного выключателя типа ВМГ и в четыре раза дороже выключателя типов ВМ-16 и ВМБ-10.

Конструктивные принципы. Современные взгляды на конструктивное выполнение подстанций подвергаются в настоящее время коренному пересмотру и приводят к простейшим решениям как основных конструктивных узлов, так и общей компоновки подстанций.

Причинами такого пересмотра являются, с одной стороны, изложенные выше факторы, вытекающие из изменения принципов электроснабжения промпредприятий и требований к индустриализации монтажных работ, и, с другой стороны, сдвиги, происходящие и намеченные на ближайшие годы в нашем аппарато- и трансформаторостроении.

Сокращение объема масла в аппаратах или полное изъятие его, сухие разделки кабелей, сухие трансформаторы позволяют по-новому подой-

ти к конструктивным решениям соответствующих элементов подстанции и получить устройства более компактные, простые, дешевые и надежные в эксплуатации и более безопасные или совершенно безопасные в пожарном отношении.

Тяжелые и громоздкие многоэтажные подстанции с двойной системой шин, с многообъемными баковыми масляными выключателями, взрывными камерами, взрывными коридорами и с кабельными подвалами постепенно исчезают. На смену им в самое ближайшее время должны прийти легкие, малогабаритные и мобильные заводские комплектные распределительные устройства (КРУ) и комплектные трансформаторные подстанции (КТП).

Должны измениться и наши взгляды на требования надежности, безопасности, удобства эксплуатации и т. п., предъявляемые к указанным устройствам, так как нельзя подходить с одной меркой к старым и новым типам распределительных устройств, построенных на резко разнящихся конструктивных принципах.

Раньше указанные требования достигались: соблюдением достаточных расстояний между токоведущими частями, удобным доступом к оборудованию с целью его чистки, ревизии и ремонта, возможностью удобного и безопасного осмотра аппаратов и токоведущих частей без снятия напряжения и т. п. Теперь в комплектных устройствах выполнение этих же требований обеспечивается: компактностью, надежным закрытием всех токоведущих частей для защиты от прикосновения, надлежащими уплотнениями для предотвращения запыления, надежной изоляцией всех токоведущих частей и контактных соединений, возможностью быстрой замены поврежденного элемента путем его выкатки для ремонта или ревизии на специальном стенде в удобных и совершенно безопасных условиях.

Комплектные распределительные устройства и подстанции. Вполне законченным конструктивным воплощением описанных выше тенденций являются КРУ и КТП, полностью со всеми аппаратами и вспомогательными устройствами изготовленные и испытанные на заводе и в собранном виде доставляемые на место установки. Здесь вместо обычных распределительных устройств высокого напряжения и щитов низкого напряжения мы имеем полностью закрытые шкафы с подвижной основной аппаратурой высокого и низкого напряжения.

По сравнению с ныне применяемыми типами комплектные устройства обладают следующими преимуществами:

а) Упрощается строительство подстанции.

б) Сокращаются сроки выполнения монтажных работ.

в) Удешевляется стоимость распределительных устройств с одновременным повышением их качества и надежности.

г) Повышается безопасность при обслуживании, ревизии и ремонте.

д) Достигается удобство и быстрота расширения, сводящегося лишь к присоединению дополнительных ячеек.

е) Сокращаются сроки и уменьшается объем проектных работ.

Благодаря таким преимуществам комплектные устройства должны получить широкое применение в промышленных подстанциях и в первую очередь в тех из них, к которым предъявляются повышенные требования в отношении надежности и удобства эксплуатации.

В настоящее время Министерство электропромышленности разрабатывает серию комплектных распределительных устройств для подстанций промышленных предприятий и собственных нужд электростанций. Выпущены и передаются в пробную эксплуатацию первые образцы этих КРУ. Министерством электростанций также организовано на одном из своих заводов производство КРУ.

Основные отличия КРУ от обычных распределительных устройств:

а) Оборудование и шины полностью размещаются в закрытых ячейках — шкафах.

б) Шины и контактные соединения изолированы.

в) Выключатели с приводами к ним выдвигаются из ячейки для ревизии и ремонта при помощи специальных тележек (индивидуальных для каждого выключателя или общих для всего КРУ).

Выдвижная часть ячейки присоединяется к неподвижной при помощи надежных штепсельных соединений.

Ячейки КРУ максимально унифицируются по габаритам для сокращения числа конструктивных исполнений. Все элементы КРУ стандартизируются. Выдвижные части ячеек должны быть взаимозаменяемыми при одинаковых параметрах оборудования. Это требование очень существенно; для его выполнения необходима, во-первых, такая точность в изготовлении, чтобы любая выдвижная часть могла легко и без каких-либо дополнительных «подгонок» войти в любую ячейку КРУ. Кроме того, необходимо, чтобы выдвижная часть ячейки содержала минимум аппаратов, а именно только выключатель и его привод. Трансформаторы тока, измерительные приборы и реле должны оставаться в неподвижной части ячейки. Это позволит на все распределительное устройство иметь только одну резервную тележку с выключателем. Если же на выдвижной части монтировать также и трансформатор тока, то одной ячейки будет недостаточно. Еще хуже, в отношении взаимозаменяемости, если на выдвижной части монтируется также вся защита и измерительные приборы, что, к сожалению, имело место в первых образцах, выпущенных МЭП и МЭС. В этом случае почти никакой взаимозаменяемости получить не удастся ввиду разнообразия схем вторичной коммутации. Для удобства ревизии и наладки защиты желательно применение в КРУ реле выдвижного типа.

Комплектная трансформаторная подстанция (КТП) состоит из следующих элементов: а) шкафа или ячейки высокого напряжения; б) трансформатора; в) распределительного устройства или шита низкого напряжения.

Все эти элементы должны быть стандартизированы и взаимозаменяемы при одинаковых параметрах оборудования. Распределительное устройство низкого напряжения должно выполняться в виде комплектного устройства с выемными автоматами. Все токоведущие части КТП закрываются сплошными защитными покрытиями.

Компоновка и конструкция КТП должна быть выполнена, исходя из минимума занимаемой ею полезной площади, которая складывается из габаритов самой подстанции и прохода вокруг нее. С этой целью КТП должна иметь минимальную ширину для удобной установки вдоль стен зданий или между колоннами. Крайне желательно предусмотреть возможность удобного одностороннего обслуживания КТП, что существенно также и для экономии полезной площади в цехе.

Впредь до освоения комплектных устройств заводского изготовления пока широко применяются так называемые «сборные» распределительные устройства и комплектные трансформаторные подстанции, конструкции которых рассчитаны на изготовление в мастерских электромонтажных организаций. В этих конструкциях переходного периода имеют место вынужденные решения, вызванные необходимостью приспособления их к существующему оборудованию, не рассчитанному по своей конструкции и габаритам на применение в комплектных подстанциях. Так, например, трансформатор на КТП устанавливается широкой стороной перпендикулярно к продольной оси всей подстанции, поскольку его выводы располагаются на крышке по широкой стороне, а не сбоку по узкой стороне, как это требуется для КТП. Можно полагать, что эти, хотя и менее совершенные, конструкции КТП все же найдут достаточно широкое применение в электрооборудовании промышленных предприятий в течение ближайших лет, впредь до выпуска в необходимом количестве КТП заводского изготовления.

С точки зрения требований индустриализации монтажных работ нет существенных принципиальных различий между комплектными и сборными распределительными устройствами, если не считать, что при сборных распределительных устройствах на месте монтажа все же остается несколько больше работы, чем при КРУ (сочленение некоторых элементов, дополнительная регулировка и т. п.). Однако, по конструктивному выполнению между ними имеется принципиальное различие, так как по существу сборные распределительные устройства в отличие от КРУ выполняются по тем же правилам размещения шин и аппаратов, которые приняты при сооружении обычных железобетонных или кирпичных распределительных устройств с соблюдением примерно таких же, установленных практикой расстояний между токоведущими частями и до земли. Аппаратура в них совершенно такая же, как и в обычных распределительных устройствах; сборные шины и ответвления от них не изолируются, выключатели не выкатываются. Поэтому и общий вид ячеек сборных распределительных устройств (рис. 2) в принципе мало отличается от ячеек обычных бетонных или кирпичных распределительных устройств.

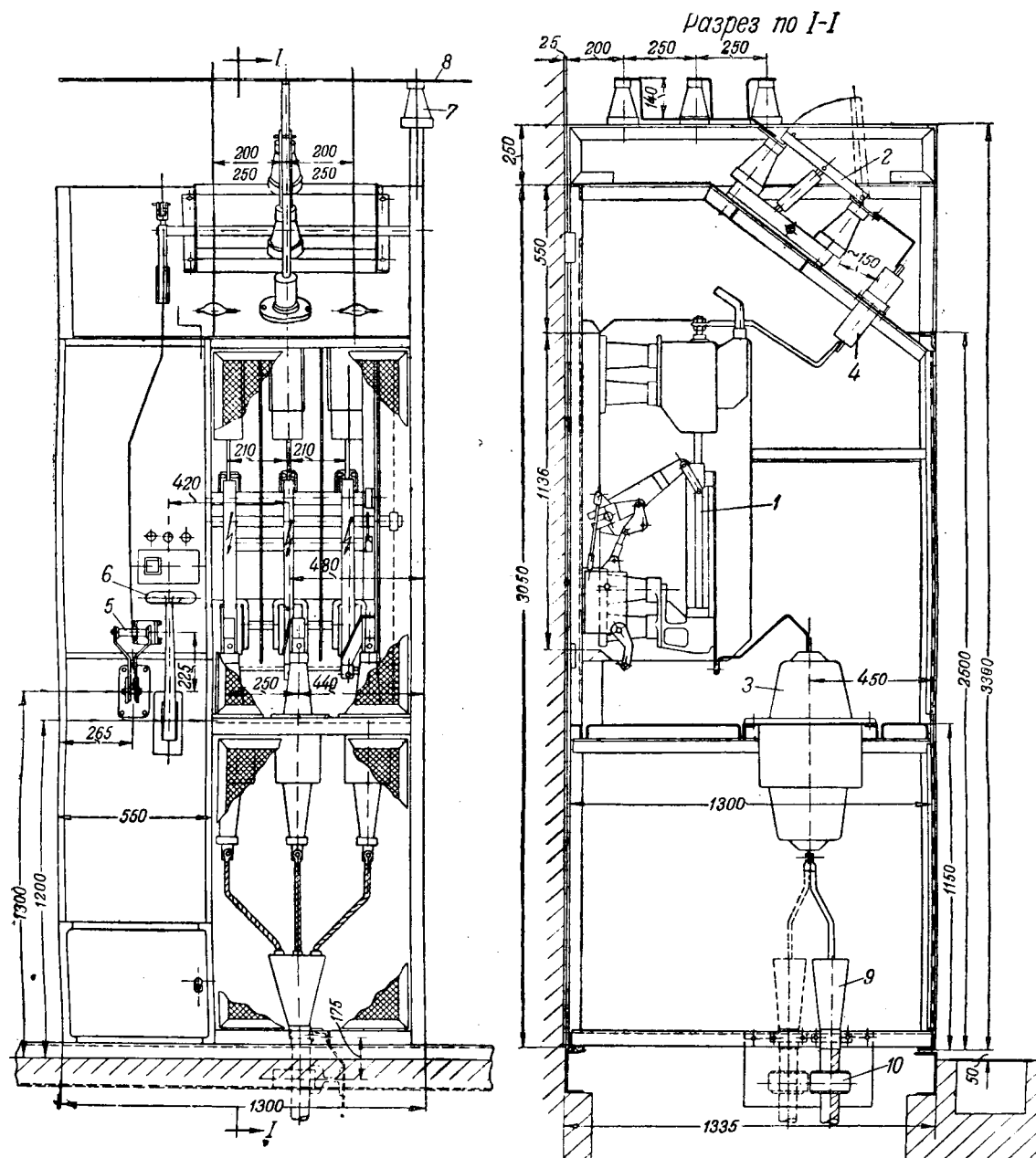


Рис. 2.

1 — автогазовый выключатель типа ВГ-10; 2 — трехполюсный разъединитель; 3 — трансформатор тока; 4 — проходной изолятор; 5 — привод разъединителя; 6 — рычаг для завода выключателя ВГ-10; 7 — опорный изолятор; 8 — сборные шины; 9 — кабельная воронка; 10 — трансформатор тока защиты от замыкания на землю.

тельных устройств. Наряду с каркасными конструкциями в настоящее время начали применять полностью гнутые конструкции сборных распределительных устройств, целиком выполненные из листовой стали.

При применении сборных распределительных устройств так же, как и при КРУ, получается значительное упрощение и удешевление строительной части. Это достигается, главным образом, за счет применения маломасляных или безмасляных силовых выключателей, более компактных и не требующих взрывных камер.

Необходимо отметить, что сборные распределительные устройства будут применяться наряду с КРУ и после освоения последних нашей электропромышленностью.

Баковые многообъемные масляные выключа-

тели, требующие взрывных камер, не нашли применения в сборных распределительных устройствах, так как в этом случае невозможно полностью осуществить принцип сборности (сборные конструкции удастся выполнить лишь для аванкамер и сборных шин).

Внутрицеховые трансформаторные подстанции. Внутрицеховые подстанции могут быть выполнены или в виде описанных выше КТП, или же в закрытых будках. Они располагаются непосредственно в производственных помещениях (производства категории Г и Д по ОСТ 90015-39) с целью наибольшего приближения к центру нагрузок потребителей.

Кроме требований, предъявляемых ко всем подстанциям вообще, внутрицеховые подстанции должны, кроме того, удовлетворять некоторым

специальным дополнительным требованиям как к изготовлению, так и к установке, обусловленным их расположением в производственных помещениях вместе с находящимся в нем работающим производственным оборудованием и персоналом, не имеющим непосредственного отношения к подстанциям. Основными из этих требований являются: 1) минимум занимаемой полезной площади цеха и 2) минимум помех производственному процессу предприятия.

Эти обстоятельства, естественно, налагают ряд ограничений в отношении мощности, конструктивного выполнения и строительной части подстанции, количества масла в аппаратах и трансформаторах, а также в отношении общей и пожарной безопасности. Так, например, на внутрицеховых закрытых подстанциях может быть установлено не более трех масляных трансформаторов с общим количеством масла не более 3 000 кг, причем максимальная мощность трансформатора не должна быть больше 1 000 кВа, а при установке на втором этаже мощность всей подстанции не должна превышать 750 кВа. Предельная мощность КТП также установлена в 750 кВа. Трансформаторы мощностью от 320 кВа и выше в отличие от обычных правил должны снабжаться газовой защитой. При сухих трансформаторах эти ограничения, разумеется, отпадут.

Выключатели, как правило, должны быть безмасляные или с малым объемом масла. Баковые масляные выключатели допускаются не более двух с количеством масла в каждом не более 60 кг при установке каждого в отдельной закрытой камере. Не допускается расположение подстанций под помещениями производств с мокрым технологическим процессом, а также под душевыми, уборными и т. п. При выборе места подстанций следует учитывать прохождение путей внутрицехового транспорта и расположение подъ-

емно-транспортных механизмов и принимать меры для защиты подстанций от случайных повреждений. Забор воздуха для вентиляции камер трансформаторов при нормальной окружающей среде допускается непосредственно из цеха. В помещениях пыльных или содержащих токопроводящие или разъедающие примеси, воздух должен либо забираться извне, либо очищаться фильтрами. В зданиях с огнестойкими перекрытиями выброс воздуха из камеры разрешается непосредственно в цех, а при сгораемых или полусгораемых перекрытиях цеха выпуск воздуха из камер трансформаторов должен производиться по вытяжным шахтам, выведенным выше кровли здания не менее чем на 1 м.

На внутренних подстанциях применяется прислонный щит, так как он дает единственное удовлетворительное решение в отношении их общей компоновки, обслуживания и уменьшения занимаемого в цехе места. Отдельно стоящий щит является в этих случаях чрезмерно громоздким, а применяемые в городских трансформаторных пунктах низковольтные сборки не удовлетворяют требованиям промышленных подстанций в отношении удобства и безопасности эксплуатации.

В заключение следует отметить, что в новых правилах устройства некоторые требования к устройству закрытых внутрицеховых подстанций подверглись пересмотру в сторону упрощения конструкции. Не требуется устройства верхних и нижних шлюзов; вместо автоматических заслонок на входной и выходной частях вентиляционных каналов оставлены только ручные затворы. Практика показала, что эти требования чрезмерны и трудно выполнимы; кроме того, на фоне открыто устанавливаемых в цехе комплектных подстанций подобные требования вообще являются излишними.

[23.9.1949]



Нагревостойкая пористая изоляция

Доктор техн. наук, проф. Б. М. ТАРЕЕВ и кандидат техн. наук Я. М. ПАРНАС

Всесоюзный заочный энергетический институт

При проектировании электрических машин и устройств в ряде случаев возникает необходимость иметь электрическую изоляцию, могущую длительно работать при температуре порядка $180 \div 200^\circ \text{C}$.

Для изоляции ряда электрических устройств применяется стеклолакоткань в сочетании с пропиткой нагревостойкими лаками. Подобная изоляция, имеющая достаточно хорошие электроизоляционные свойства при нормальной температуре и способная переносить без видимых повреждений действие высокой температуры, при повышении температуры резко ухудшает электрические свойства. Так, при повышении температуры катушек с пропитанной стекловолоконной изоляцией с 20° до 150°C сопротивление изоляции уменьшается примерно с $10^{12} \div 10^{14}$ до $10^6 \div 10^8 \text{ ом}$, $\text{tg } \delta$ возрастает с $0,05 \div 0,1$ до $1 \div 3$, а пробивная прочность падает с $40 \div 50$ до $10 \div 15 \text{ кВ/мм}$. Кроме того, опыты, произведенные авторами, показали, что при применении самых различных пропиточных лаков после ряда резких изменений температуры от -50° до $+180^\circ \text{C}$ неизбежно происходит расслаивание пропитанной изоляции — в первую очередь отслаивание от обмотки катушек,

Отмечаются преимущества непропитанной изоляции из неорганических волокон в газовой среде при высокой рабочей температуре и резких температурных импульсах. Выводятся формулы для пробивного напряжения, диэлектрической проницаемости и угла диэлектрических потерь стеклянной ткани при изменяющейся температуре. Даются результаты экспериментальной проверки предложенных формул, подтверждающих целесообразность применения непропитанных неорганических волокнистых материалов для получения нагревостойкой электрической изоляции.

вследствие чего значительно ухудшаются электроизоляционные свойства и увеличивается тепловое сопротивление изоляции (рис. 1). Таким образом, недостатком пропитанной стекловолоконной изоляции является не только резкая температурная за-

висимость электроизоляционных свойств, но и повышение перегрева, связанное с образованием в эксплуатации сквозных воздушных включений. В ряде случаев подобные изменения недопустимы, и поэтому пропитанные стекловолоконные материалы не могут быть использованы в качестве нагревостойкой изоляции.

Значительными преимуществами по сравнению с пропитанной изоляцией обладает непропитанная (пористая) изоляция неорганического происхождения, например, материалы на основе стеклянного или асбестового волокна, особенно в сочетании со сжатым газом [Л. 1, 2].

Были проведены исследования стеклянной ткани в сочетании с азотом при давлениях от 1 до 11 кг/см^2 в интервале температур от 20 до 350°C . Для этой цели был применен специальный сосуд, обеспечивающий нагрев образцов до необходимой температуры. Бралась плоская образцы, состоящие из восьми слоев тщательно очищенной от замасливателя бесщелочной стеклянной ткани толщиной по $0,1 \text{ мм}$. Пробивное напряжение определялось между электродами: плоскость — плоскость.

Зависимость средней пробивной напряженности ткани $E_{\text{тк}}$ на переменном напряжении от температуры при давлениях $p = 1; 4; 7$ и 11 кг/см^2 приведена на рис. 2. Как видно, электрическая прочность при повышении температуры падает незначительно.

Измерения импульсной электрической прочности при нормальной температуре (рис. 3) показывают, что коэффициент импульса стеклянной ткани близок к единице. Кроме того, было замечено, что пробивная напряженность электрического поля не зависит от числа импульсов.

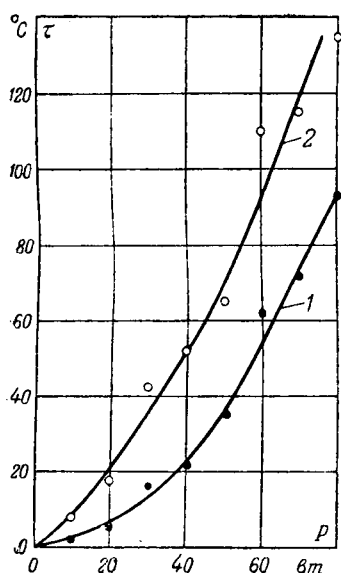


Рис. 1. Зависимость перегрева τ катушек, изолированных стеклолакотканью и пропитанных лаком № 447, от мощности P .

1 — непосредственно после изготовления; 2 — после 10 тепловых циклов (нагрев до 180°C и охлаждение до -50°C).

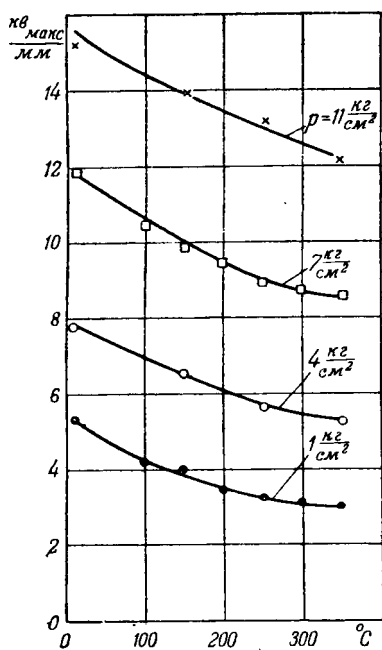


Рис. 2. Зависимость средней пробивной напряженности (амплитудные значения) композиции стеклчанная ткань — азот от температуры при различных давлениях p .

Представляет интерес тот факт, что электрическая прочность стеклчанной ткани, определенная при испытании моделей различных электрических устройств, незначительно отличается от электрической прочности ткани, измеренной между электродами: плоскость — плоскость.

Низкая электрическая прочность непропитанной стеклчанной ткани при атмосферном давлении может быть повышена за счет применения газов с повышенной электрической прочностью, например, элегаза [Л. 3]. При температуре порядка 200°C сравнение электрической прочности непропитанной стеклчанной ткани со стеклолакотканью дает значительно более благоприятные результаты для первой.

На рис. 4 изображена представляющая большой практический интерес температурная зависимость удельного объемного сопротивления образцов стеклчанной ткани и массивного стекла того же состава. Характерны высокие значения удельного сопротивления стеклчанной ткани при повышенных температурах; например, при 150°C удельное сопротивление $\rho_{\text{тк}} > 10^{14} \text{ ом}\cdot\text{см}$; при 200°C $\rho_{\text{тк}} > 10^{13} \text{ ом}\cdot\text{см}$, что значительно больше соответствующих значений для стеклолакоткани (см. выше). Сопротивление бесщелочной стеклчанной ткани практически не изменяется после выдержки при температуре $300 + 350^\circ\text{C}$ в течение 6 час.

Диэлектрическая проницаемость ϵ стеклчанной ткани, измеренная при помощи ртутных электродов, равна $2,0 \div 2,4$.

Зависимость $\text{tg } \delta$ от температуры для стеклчанной ткани и массивного стекла приведена на рис. 5. Видно, что $\text{tg } \delta$ стеклчанной ткани при

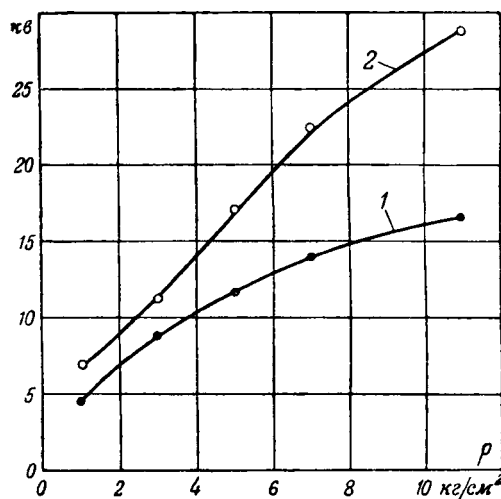


Рис. 3. Зависимость пробивного напряжения композиции стеклчанная ткань — азот от давления p на переменном 50 гц (1) и ударном (2) напряжениях.

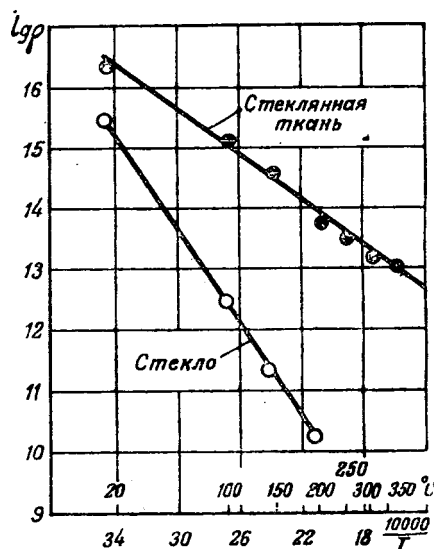


Рис. 4. Зависимость удельного объемного сопротивления ρ (в $\text{ом}\cdot\text{см}$) бесщелочной стеклчанной ткани и массивного стекла того же состава от температуры (по оси абсцисс кроме значений температуры в $^\circ\text{C}$ отложены обратные значения абсолютной температуры T , по оси ординат — $\lg \rho$).

повышенных температурах значительно меньше, чем $\text{tg } \delta$ стеклолакоткани. Еще более разительным является сравнение значений факторов потерь $\epsilon \text{tg } \delta$ в связи с малыми значениями ϵ стеклчанной ткани.

Остановимся на вопросе о тепловом сопротивлении стеклчанной ткани. По данным К. А. Андрианова, В. А. Баева и С. В. Шишкина [Л. 4] теплопроводность непропитанной стеклчанной ткани $\lambda = 5,25 \cdot 10^{-4}$, а стеклолакоткани $\lambda = 12,3 \cdot 10^{-4} \text{ вт/см}^\circ\text{C}$ (для хлопчатобумажной лакоткани $\lambda = 12,0 \cdot 10^{-4} \text{ вт/см}^\circ\text{C}$). Однако, сравнение этих данных не дает еще представления о фактическом перегреве в эксплуатационных условиях катушек, изолированных стеклолакотканью или непропитанной стеклчанной тканью. Рис. 6 показывает, что в состоянии по-

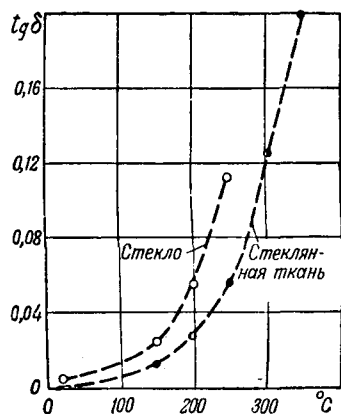


Рис. 5. Зависимость $\operatorname{tg} \delta$ бесцеллюлозной стеклянной ткани и массивного стекла того же состава от температуры.

Рассматривая вопрос о свойствах стеклянной ткани, необходимо учитывать неоднородность ее строения, наличие сравнительно больших зазоров между нитями, скрутку и переплетение нитей, а также раздавливание последних. Вопрос о схемах замещения для анализа свойств стеклянной ткани более сложен, чем для бумаги; для последней достаточно хорошие результаты дает последовательная схема целлюлоза — газ.

Проведенное авторами исследование пробы напряжений образцов композиции стеклянной ткани, состоящих из 2; 4 и 8 слоев ткани толщиной по 0,1 мм в сжатом азоте (рис. 7), показало отсутствие существенной зависимости пробивной напряженности электрического поля от толщины изоляции. Более того, пробой образцов стеклянной ткани, специально проколотых проволокой диаметром 0,8 мм, происходил в непроколоте месте. Эти факты опровергают предположение о том, что пробой стеклянной ткани объясняется пробоем сквозных промежутков, имеющих между нитями.

Последовательная схема стекло — газ для ткани не подтверждается экспериментальными данными зависимости пробивной прочности от температуры. Наиболее слабым местом ткани (при этой схеме) окажется то место, в котором соотношение между толщинами газа h_z и стекла h_c

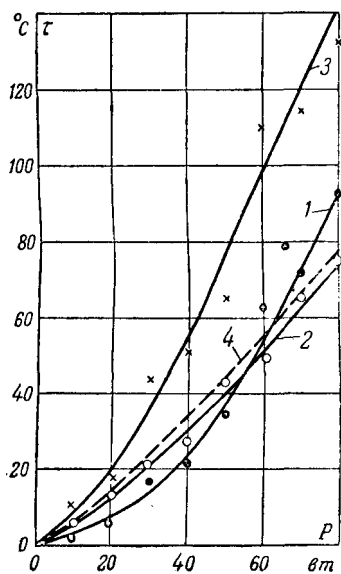


Рис. 6. Зависимость перегрева τ катушек от мощности P .

1 — для катушек, изолированных стеклолакотканью, в состоянии поставки; 2 — для катушек, изолированных стеклянной тканью, в состоянии поставки; 3 — для катушек, изолированных стеклолакотканью, после 10 тепловых циклов; 4 — для катушек, изолированных стеклянной тканью, после 10 тепловых циклов.

ставки перегрев обеих катушек — с изоляцией стеклолакотканью и непропитанной стеклянной тканью (толщина изоляции в обоих случаях одинакова и равна 2 мм) — приблизительно одинаков, а после 10 тепловых циклов ($+180^\circ\text{C} \div -50^\circ\text{C}$) перегрев катушки, изолированной стеклолакотканью, оказался значительно выше.

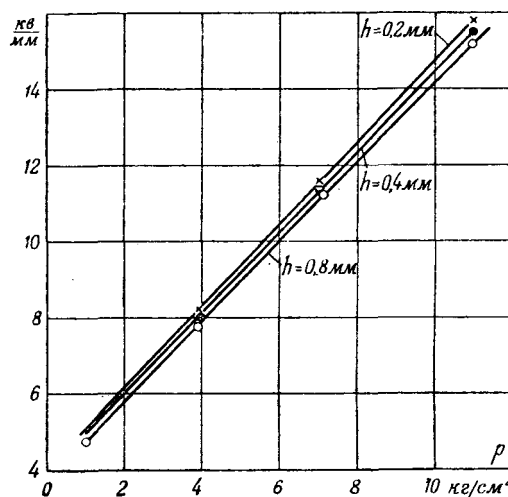


Рис. 7. Зависимость пробивной напряженности (амплитудные значения) электрического поля композиции стеклянная ткань — азот от давления p при различной толщине h образцов.

таково, что критическая напряженность в газовом слое достигается при напряжении, равном пробивному напряжению для слоя стекла. В этом случае пробивное напряжение ткани

$$U_{mk} = E_c h_c = E_z h_z + \frac{1}{\epsilon_c} E_z h_c, \quad (1)$$

где E_c — пробивная напряженность стекла;
 E_z — пробивная напряженность газа;
 ϵ_c — диэлектрическая проницаемость стекла.

Учитывая, что $h_z = h - h_c$ (h — полная толщина образца), после несложных преобразований получаем:

$$U_{mk} = \frac{\epsilon_c E_c E_z h}{\epsilon_c E_c + (\epsilon_c - 1) E_z}. \quad (2)$$

Пробивная напряженность $E_{z(T)}$ газа при абсолютной температуре T и постоянном давлении

$$E_{z(T)} = E_{z(0)} \cdot \frac{T_0}{T}, \quad (3)$$

где $E_{z(0)}$ — пробивная напряженность газа при температуре T_0 .

На рис. 8 даны температурные зависимости пробивной напряженности композиции стеклянной ткани и сжатого азота при $p = 4 \text{ кг/см}^2$. Легко заметить, что фактически пробивное напряжение ткани при повышении температуры до 300°C снижается плавно, подобно снижению пробивного напряжения газа при постоянном давлении; это подтверждает, что пробой стеклянной ткани в этом интервале температур является по своему характеру газовым пробоем. Дополнительным подтверждением этого является независимость пробивного напряжения стеклянной ткани от времени выдержки при 300°C .

Для получения более точно отвечающей действительности упрощенной схемы замещения можно полагать, что электрическое поле приложено

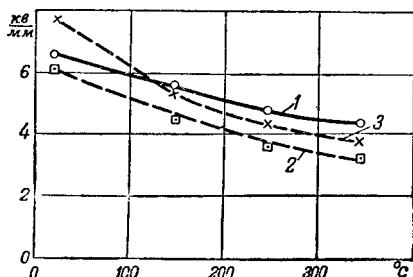


Рис. 8. Зависимость пробивной напряженности (амплитудные значения) стеклянной ткани при давлении $p=4 \text{ кг/см}^2$ от температуры. 1—экспериментальные значения; 2—расчетные значения по уравнению (13); 3—расчетные значения по уравнению (15).

перпендикулярно осям стеклянных волокон, расположенных параллельно и равномерно в газовом промежутке (рис. 9). В этом случае напряженность электрического поля E_x в произвольной точке B , находящейся на поверхности волокна, можно найти из уравнения

$$E_x = \left(K - \frac{L}{r^2} \right) \cdot \cos \alpha, \quad (4)$$

где K и L определяются уравнениями

$$K + \frac{\epsilon_c + 1}{\epsilon_c - 1} \cdot \frac{L}{r^2} = 0; \quad (5)$$

$$\frac{E_{cp} r^2}{L} = \frac{r^2 \pi h}{a^2} + \frac{3(\epsilon_c - 1)}{\epsilon_c + 1} \cdot 0,03235^2 \cdot \frac{\pi^8 r^8}{a^8}. \quad (6)$$

Через E_{cp} обозначена средняя напряженность электрического поля в системе стеклянное волокно—газ:

$$E_{cp} = \frac{U_{mk}}{h}. \quad (7)$$

Максимальная напряженность электрического поля на поверхности волокна будет в точке A , для которой $\alpha = 0$:

$$E_A = K - \frac{L}{r^2}. \quad (8)$$

При равномерном расположении волокон отношение объема, занимаемого стеклом, к объему ткани (коэффициент заполнения) β равно:

$$\beta = \frac{\pi r^2}{a^2}. \quad (9)$$

На основании уравнений (5)—(8)

$$E_A = E_{cp} \cdot \frac{\frac{\epsilon_c + 1}{\epsilon_c - 1} + 1}{\frac{\epsilon_c + 1}{\epsilon_c - 1} - \beta - 0,306 \beta^4 \frac{\epsilon_c - 1}{\epsilon_c + 1}}. \quad (10)$$

Поскольку $\beta < \frac{\pi}{4} < 1$ и $\frac{\epsilon_c - 1}{\epsilon_c + 1} < 1$, приближенно

$$E_A = E_{cp} \cdot \frac{2\epsilon_c}{\epsilon_c + 1 - \beta(\epsilon_c - 1)} \quad (11)$$

[Л. 5]. Напряжение, при котором напряженность в отдельных точках становится равной пробивной напряженности газа, соответствует начальному напряжению $U_{нач}$ стеклянной ткани. Пола-

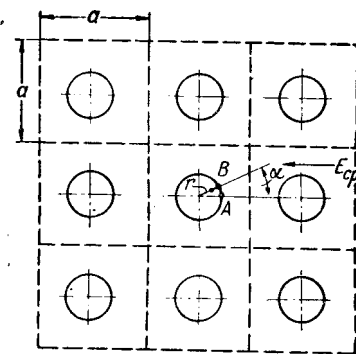


Рис. 9. Схема для расчета электрического поля в стекловолоконной изоляции.

гая в соответствии с опытными данными, что пробивное напряжение ткани

$$U_{mk} = \xi U_{нач}, \quad (11)$$

где коэффициент $\xi = 1,4$, находим:

$$U_{mk} = 0,7 \frac{\epsilon_c + 1 - \beta(\epsilon_c - 1)}{\epsilon_c} U_2, \quad (13)$$

где U_2 — пробивное напряжение газового промежутка, равного толщине образца ткани.

При $\epsilon_c = 7 \div 9$ и $\beta = 0,5 \div 0,6$ имеем $U_{mk} = (0,4 \div 0,5) U_2$, что незначительно отличается от экспериментальных данных.

Удовлетворительное совпадение расчетных и экспериментальных значений получается и при схематическом рассмотрении электрического поля ткани как поля газового промежутка, в котором равномерно расположены стеклянные шарики. В этом случае

$$E_{макс} = E_{cp} \cdot \frac{3\epsilon_c}{\epsilon_c + 2}, \quad (14)$$

где $E_{макс}$ — максимальная напряженность электрического поля на поверхности шарика.

Вводя тот же коэффициент ξ , что и в уравнении (12), получаем:

$$U_{mk} = 0,47 \frac{\epsilon_c + 2}{\epsilon_c} U_2. \quad (15)$$

Уравнение (15) дает завышенные на $10 \div 15\%$ значения пробивного напряжения ткани.

Анализ полученных уравнений (2), (13) и (15) указывает на существование незначительной зависимости U_{mk} от диэлектрической проницаемости стекла ϵ_c при изменении ϵ_c в широких пределах от 7 до 12. При применении волокна из кварцевого стекла, обладающего сравнительно весьма малым значением ϵ_c (около 3,8), пробивное напряжение должно повыситься более значительно.

Поэтому незначительное повышение ϵ_c при возрастании температуры не должно оказать существенного значения на U_{mk} . Полагая, что

ϵ_c не зависит от температуры, мы допустим не очень большую ошибку. Зависимость пробивного напряжения ткани от температуры $U_{mk}(T) = f(T)$ определится соответствующей зависимостью $U_z(T) = f(T)$ по уравнению (3):

$$U_{(mk)T} = 0,7 \cdot \frac{\epsilon_c + 1 - \beta(\epsilon_c - 1)}{\epsilon_c} U_z(T) \frac{T_0}{T} \quad (13')$$

или же

$$U_{mk}(T) = 0,47 \frac{\epsilon_c + 2}{\epsilon_c} U_z(T) \frac{T_0}{T}. \quad (15')$$

Кривые, построенные на основании уравнений (13') и (15'), также представлены на рис. 8 (графики 2 и 3). Они дают значительно более близкое совпадение с экспериментальной кривой, чем кривая на основании уравнения (3).

Сказанное показывает, что пробивное напряжение стеклянной ткани при повышении температуры от 20° до 200° С должно падать не более чем на 35%, в то время как у лучших стеклолакотканей при таком же подъеме температуры $U_{пр}$ уменьшается в 10÷12 раз. При температуре порядка 200°С пробивная напряженность электрического поля стеклолакоткани незначительно отличается от пробивной напряженности стеклянной ткани. Учитывая старение стеклолакоткани и образование воздушных включений в результате резких изменений температуры, можно полагать, что применение непроводящей неорганической волокнистой изоляции при столь высоких температурах более выгодно, в особенности в сочетании с сжатым газом: азотом, элегазом.

Перейдем к вопросу о диэлектрической проницаемости ϵ и $\text{tg } \delta$ стеклянной ткани.

Если исходить из последовательной схемы стекло—газ, получим:

$$\epsilon_{mk} = \frac{\epsilon_c}{\beta(\epsilon_c - 1) + 1}; \quad (16)$$

$$\text{tg } \delta_{mk} = \frac{1 - \beta}{1 + \beta(\epsilon_c - 1)} \cdot \text{tg } \delta_c \quad (17)$$

(индексы mk и c относятся соответственно к стеклянной ткани и к массивному стеклу).

Величины $\text{tg } \delta_{mk}$, определенные из уравнения (17), ниже экспериментальных значений.

Лучшие результаты получаются при применении логарифмического закона смеси [Л. 6]. В этом случае

$$\lg \epsilon_{mk} = \beta \cdot \lg \epsilon_c; \quad (18)$$

$$\text{tg } \delta_{mk} = \beta \cdot \text{tg } \delta_c. \quad (19)$$

Следующая сводка иллюстрирует измеренные авторами и полученные расчетом значения ϵ массивного стекла и стеклянной ткани:

Материал	Данные получены	ϵ
Стекло	Экспериментально	7,30
Стеклянная ткань ($\beta=0,45$)	Экспериментально	2,30
	Расчетом по уравнению (16) .	1,50
	Расчетом по уравнению (18) .	2,45

Факторы потерь $K = \epsilon \text{tg } \delta$ стеклолакоткани и стеклянной ткани при температуре 150°С:

для стеклолакоткани $K_A = 5 \div 8$;

для стеклянной ткани $K_{mk} \approx 0,025$;

отношение $\frac{K_A}{K_{mk}} \approx 200 \div 300$.

Отношение факторов потерь стекла K_c и стеклянной ткани может быть определено на основании уравнений (18) и (19):

$$\frac{K_c}{K_{mk}} = \frac{\epsilon_c^{(1-\beta)}}{\beta} \approx 5 \div 10. \quad (20)$$

Литература

1. Я. М. Парнас. Композиция волокнистого стекла и сжатого газа. В книге „Стеклянная изоляция“, под редакцией Б. М. Тареева, стр. 83—86, Госэнергоиздат, 1943.
2. В. М. Вул, Г. М. Коваленко, Я. М. Парнас. Dielectric Properties of Glass Cloth in Compressed Gases. Journal of Physics of USSR, т. 5, № 4—5, стр. 521, 1940.
3. Б. М. Гохберг. Элегаз—электрическая газовая изоляция. Электричество, стр. 15, № 3, 1947.
4. К. А. Андрианов, В. А. Баев и С. В. Шишкин. Работы Лаборатории изоляционных материалов ВЭИ в области волокнистой стеклянной изоляции. В книге „Стеклянная изоляция“ под редакцией Б. М. Тареева, стр. 57—82, Госэнергоиздат, 1943.
5. Б. М. Тареев. Стеклянная изоляция и ее применение в электротехнике. Доклад на Всесоюзной научно-технической сессии по электрической изоляции в Ленинграде в сентябре 1946 г. В сборнике трудов сессии, изд. ВНИТОЭ, 1949.
6. Б. М. Вул и Г. И. Сканави. Изв. АН СССР, сер. физ., № 8, 1944. Г. И. Сканави, ВЭИ, стр. 17, № 6, 1944.

[8. 6. 1949]



Поверхностный эффект в ферромагнитных проводах и магнитных цепях

Доктор техн. наук, проф. Л. Р. НЕЙМАН

Ленинградский политехнический институт им. Калинина

Вопросам поверхностного эффекта в проводах и магнитных цепях из ферромагнитного материала посвящено значительное количество работ, что является следствием, с одной стороны, большого практического значения этих вопросов и, с другой стороны, сложности их аналитического рассмотрения, связанного с необходимостью решения нелинейных уравнений.

Большое количество весьма ценных работ выполнено членом-корр. Академии наук СССР В. К. Аркадьевым и его школой. В большинстве этих работ при выводе основных соотношений магнитная проницаемость среды полагается постоянной, равной некоторому среднему ее значению, и лишь в окончательных формулах входящая в них магнитная проницаемость рассматривается как функция от напряженности магнитного поля.

Результаты ряда этих работ отражены в капитальном монографическом труде В. К. Аркадьева [Л. 1]. Особый интерес представляет работа В. К. Аркадьева [Л. 2], в которой при рассмотрении поверхностного эффекта в пластинке и в цилиндре кругового сечения положена в основу исследования нелинейная зависимость магнитной индукции от напряженности поля. При этом петля гистерезиса заменена прямоугольником и магнитная индукция принята не зависящей от напряженности поля, если последняя превышает коэрцитивную силу.

Естественно, представляется весьма существенным в теоретическом и практическом отношении выполнить исследование распространения электромагнитных волн в ферромагнитной среде, в которой уже в исходных уравнениях была бы принята во внимание сложная нелинейная зависимость магнитной индукции B от напряженности

В статье приведены результаты исследования распространения периодических электромагнитных волн в ферромагнитной среде с учетом нелинейной зависимости между магнитной индукцией и напряженностью магнитного поля в форме, учитывающей многообразные свойства ферромагнитных материалов. В уравнениях электромагнитного поля принята во внимание нелинейная зависимость между амплитудами B_m и H_m характеризующая изменение волны в процессе ее распространения в ферромагнитной среде, использовано понятие о комплексной магнитной проницаемости. Полученное решение имеет простую и удобную для практики форму и позволяет сделать общие выводы. Предложены простые формулы для расчета комплексного электрического и комплексного магнитного сопротивлений проводов из ферромагнитного материала и массивных участков магнитных цепей.

поля H в такой форме, чтобы была возможность учесть все многообразие свойств ферромагнитных материалов. Ясно, что только такое полное исследование может дать исчерпывающий ответ на все практические вопросы, например, на вопрос о влиянии различных свойств ферромагнитных материалов на величину комплексного электрического сопротивления проводов и комплексного

магнитного сопротивления магнитных цепей.

Автором статьи составлена монография [Л. 3], в которой выполнено такое исследование и приведены вытекающие из него практические выводы. Настоящая статья содержит в кратком виде те положения, которые имеют наибольший практический интерес для широкого круга инженеров и исследователей, встречающихся с данной проблемой в своих работах.

При рассмотрении уравнений электромагнитного поля в ферромагнитной среде при периодических процессах следует различать нелинейность связи между B и H двух родов.

Прежде всего имеет место нелинейная зависимость мгновенных значений B от мгновенных значений H при изменении этих величин во времени в каждой данной точке ферромагнитной среды. Эта зависимость при периодических процессах выражает собой симметричную петлю гистерезиса. Она приводит к искажению формы кривых $B(t)$ и $H(t)$ и определяет собой потери на гистерезис.

Кроме того, имеет место нелинейная зависимость амплитуды B_m от амплитуды H_m , которую совершенно необходимо учесть при исследовании распространения волны в ферромагнитной среде. При периодических процессах эта зависимость выражает собой основную кривую намагничивания.

В интересующем нас вопросе наиболее существенной является нелинейность второго рода, характеризующая изменение волны в процессе ее распространения в ферромагнитной среде. Поэтому необходимо выразить аналитически основную кривую намагничивания.

Самое основное в явлении гистерезиса, что должно быть, несомненно, правильно учтено, это — потери на гистерезис. Искажение же форм кривых $B(t)$ и $H(t)$ во многих случаях является второстепенным фактором. К таким случаям относятся электрические провода из ферромагнитного материала, массивные участки магнитных цепей, ферромагнитные тела во внешнем переменном поле. В этих случаях нелинейность связи между мгновенными значениями B и H может быть без большой погрешности устранена в уравнениях введением комплексной магнитной проницаемости $\dot{\mu} = \frac{\dot{B}_m}{\dot{H}_m} = \mu e^{-j\psi}$,

где $\dot{B}_m$ и $\dot{H}_m$ — комплексные амплитуды индукции и напряженности поля. Понятие о комплексной магнитной проницаемости было впервые введено В. К. Аркадьевым [Л. 4].

Такой путь дает возможность, сохранив главное в исследуемом явлении и учтя все существенные факторы, получить ясное решение, позволяющее сделать общие выводы и имеющее простую и удобную для практики форму.

Автор статьи показал на примере рассмотренных кривых намагничивания различных ферромагнитных материалов, что для данного случая вполне хорошее совпадение с реальной зависимостью B_m от H_m даст уравнение параболы

$$H_m = \left(\frac{B_m}{K}\right)^n \quad \text{или} \quad B_m = KH_m^{\frac{1}{n}}. \quad (1)$$

При слабых полях, соответствующих начальной части кривой намагничивания, обращенной выпуклостью вниз, следует принять $n < 1$ и при сильных полях следует взять $n > 1$. Значения показателя n для различных ферромагнитных материалов, с указанием тех граничных значений индукции, до которых парабола совпадает с реальной кривой намагничивания, приведены в таблице.

Значения показателя n в формуле

$$H_m = \left(\frac{B_m}{K}\right)^n$$

Материал	Слабые поля		Сильные поля	
	n	Пределы B , вб/м ²	n	Пределы B , вб/м ²
Пермаллой	0,32	$B < 0,35$	20	$B > 0,70$
Электролитическое железо	0,45	$B < 0,55$	14	$B > 1,30$
Трансформаторная сталь .	0,55	$B < 0,90$	10	$B > 1,20$
Мягкая сталь	0,55	$B < 0,60$	9,5	$B > 1,30$
Твердая сталь	0,68	$B < 0,90$	7,5	$B > 1,15$
Чугун отожженный	0,65	$B < 0,32$	4,5	$B > 0,60$
Чугун литой	0,60	$B < 0,35$	4,0	$B > 0,60$

3*

Хорошее совпадение получается в области сильных полей вплоть до столь больших значений индукций, которые еще имеют место в практических устройствах. Несколько худшее совпадение получается в области слабых полей. В области средних полей вообще невозможно выразить кривую намагничивания, имеющую в этой области пегриб, вышеприведенным простым уравнением. Соответственно, приводимые в дальнейшем формулы для электрического и магнитного сопротивлений весьма достоверны при сильных магнитных полях на поверхности ферромагнитных тел. Однако, эти формулы могут быть использованы для приближенных расчетов и при средних и слабых магнитных полях на поверхности тел.

Как следует из общих рассуждений, при несинусоидальных кривых $B(t)$ и $H(t)$ наиболее правильно выбрать амплитуды B_m и H_m эквивалентных синусоид равными амплитудам первых гармоник индукции и напряженности поля. Этим определяется модуль μ комплексной магнитной проницаемости. Аргумент же ψ в общем случае при этом не равен углу сдвига между первыми гармониками B и H , а должен определяться из условия сохранения величины потерь на гистерезис.

Это условие приводит к формуле

$$\sin \psi = \frac{\mu W'_h}{\pi B_m^2}, \quad (2)$$

где W'_h — потери на гистерезис за один цикл перемагничивания, отнесенные к единице объема вещества.

Так как глубина проникновения электромагнитных волн в ферромагнитную среду невелика даже при технической частоте, то во многих практических случаях она оказывается много меньше радиуса кривизны поверхности тел из ферромагнитного материала. Во всех этих случаях процесс протекает с большим приближением так же, как в случае проникновения плоской электромагнитной волны в бесконечную ферромагнитную среду, ограниченную с одной стороны плоскостью.

При этом практически достаточно рассмотреть случай распространения волны в направлении OZ (рис. 1), нормальном к поверхности ферромагнитной среды (совмещенной на рис. 1 с плоскостью XOY), что следует из условия преломления волны на этой поверхности.

Вводя в уравнения плоской электромагнитной волны при периодическом процессе комплексные амплитуды $\dot{B}_m$ и $\dot{H}_m$ и комплексную магнитную проницаемость $\dot{\mu}$, получаем систему уравнений

$$-\frac{d\dot{H}_m}{dz} = \gamma \dot{E}_m; \quad \frac{d\dot{E}_m}{dz} = -j\omega \dot{\mu} \dot{H}_m; \quad (3)$$

здесь: γ — удельная проводимость среды;
 ω — угловая частота;

$\dot{E}_m$ и $\dot{H}_m$ — комплексные амплитуды напряженностей электрического и магнитного полей.

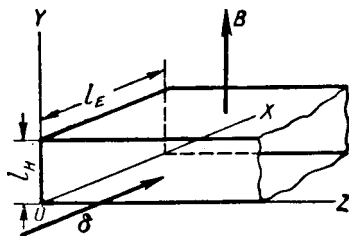


Рис. 1. Параллелепипед, вырезанный из бесконечной ферромагнитной среды.

Эта система нелинейна, так как μ зависит от H_m . Используя уравнения (1) и (2), можно выразить эту зависимость. Однако, решение системы уравнений (3) оказывается весьма сложным, и особенно потому, что эти уравнения содержат в качестве неизвестных величин комплексные амплитуды $\dot{E}_m$ и $\dot{H}_m$, а μ зависит от модуля H_m .

Автором статьи получено решение этой системы несколько обходным путем. При установившемся периодическом процессе для каждого частного режима решение системы уравнений (3) будет иметь вид:

$$\dot{H}_m = F_1(z) \quad \text{и} \quad \dot{E}_m = F_2(z).$$

Следовательно, для каждого частного режима мы будем иметь зависимость

$$\mu = f(H_m) = \varphi(z). \quad (4)$$

Эта зависимость, вообще говоря, будет изменяться при изменении режима, например, при изменении амплитуды H_m на поверхности среды или при изменении частоты. Однако, исходя из самых общих соображений, можно предугадать характер зависимости (4) и подобрать соответствующую функцию $\varphi(z)$. После подстановки этой функции в уравнения (3), мы получаем систему линейных уравнений с переменными коэффициентами, которая может быть решена. Если удастся подобрать функцию $\varphi(z)$ так, что в результате решения системы уравнений (3) получится такая зависимость $\dot{H}_m = F_1(z)$, которая совместно с выбранной зависимостью $\mu = \varphi(z)$ даст требуемую нелинейную связь между B_m и

проводов и магнитных цепей любой формы сечения при резком проявлении поверхностного эффекта, а также для проводов кругового сечения при любой степени проявления поверхностного эффекта. Это исследование было расширено автором в последующие годы и опубликовано в виде монографии [Л. 3].

Интересно отметить, что такой же по идее путь, но с использованием метода последовательного приближения для удовлетворения реальной кривой намагничивания применен С. Д. Марголиным [Л. 5] для решения другого важного случая, а именно для исследования распределения магнитной индукции в стальном листе, вдоль которого проходит переменный магнитный поток. В статье К. М. Поливанова [Л. 6], посвященной свойствам ферромагнетиков в переменных полях, выражение магнитной проницаемости в виде явной функции координаты использовано с целью показать, что предположение о неизменности проницаемости по всей толще металла может привести к ложной картине спада магнитной проницаемости вещества при росте частоты. Все это показывает плодотворность такого пути. Для случая бесконечной ферромагнитной среды, ограниченной с одной стороны плоскостью XOY (рис. 1), автором статьи указанным выше путем получено решение в виде:

$$\left. \begin{aligned} \dot{H}_m &= \dot{H}_{me} \left(1 - \frac{kz}{kz_\kappa}\right)^\alpha; \\ \dot{E}_m &= \frac{\alpha}{\gamma z_\kappa} H_{me} \left(1 - \frac{kz}{kz_\kappa}\right)^{\alpha-1}; \\ \dot{\delta}_m &= \gamma \dot{E}_m; \\ \dot{B}_m &= \mu \dot{H}_m = \mu_e \dot{H}_{me} e^{-j\psi'} \left(1 - \frac{kz}{kz_\kappa}\right)^{\alpha-2}, \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

$$\text{где } k = \sqrt{\frac{\omega \mu_e \gamma}{2}},$$

μ_e — значение μ на поверхности среды;

δ_m — комплексная амплитуда плотности тока;

$\dot{H}_{me}$ — комплексная амплитуда напряженности магнитного поля на поверхности среды;

ψ' — среднее значение аргумента комплексной магнитной проницаемости, соответствующее потерям на гистерезис во всей толще среды.

Величины α и kz_κ находятся из выражений

$$\left. \begin{aligned} \alpha &= \alpha' + j\alpha'' = \frac{2n}{n-1} + j \frac{2n}{n-1} \sqrt{\frac{n+1}{2n} - \frac{(3n+1)^2}{8n^2} \frac{\sin \psi'}{\cos^2 \psi'}} \left(\sqrt{1 - \left(\frac{n-1}{3n+1}\right)^2 \cos^2 \psi'} - \sin \psi' \right); \\ kz_\kappa &= \left(\frac{3n+1}{n-1}\right) \frac{1}{2 \cos \psi'} \sqrt{1 - \left(\frac{n-1}{3n+1}\right)^2 \cos^2 \psi'} - \sin \psi'. \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

H_m , выраженную уравнением (1), то такое решение будет правильным.

Этим путем автором статьи в его диссертационной работе [«Распространение электромагнитной энергии в проводящей среде с переменными параметрами (скин-эффект в ферромагнитных телах)», 1940 г.] было получено приводимое ниже решение в конечной форме для электрических

На рис. 2 представлены кривые, показывающие влияние непостоянства магнитной проницаемости и потерь на гистерезис на характер распределения плотности тока $\dot{\delta}_m = \delta_m e^{j\theta} = f(kz)$. Пунктирные кривые соответствуют случаю среды с постоянной магнитной проницаемостью μ , равной значению μ_e магнитной проницаемости на поверхности ферромагнитной среды, т. е. случаю

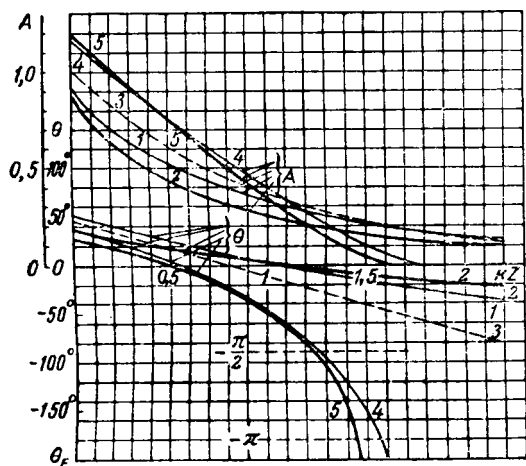


Рис. 2. Зависимость относительного значения модуля A в аргумента θ плотности тока от расстояния z от поверхности среды при постоянной (3), возрастающей (4 и 5) и убывающей (2 и 1) магнитной проницаемости.

$n=1$, $\psi'=0$. Сплошные кривые соответствуют реальной ферромагнитной среде, для которой μ зависит от H_m и в которой имеют место потери на гистерезис ($\psi' \neq 0$). Кривые 5 относятся к случаю сильных полей на поверхности среды и построены для случая $n=8$ и $\psi'=10^\circ$. Кривые 2 относятся к случаю слабых полей на поверхности среды и построены для $n=0,5$ и $\psi'=30^\circ$.

Кривые 4 относятся к случаю $n=8$ и $\psi=0$ и кривые 1 — к случаю $n=0,5$ и $\psi'=0$. Величина A — есть отношение δ_m к его значению на поверхности при $\mu=\cos nt$ и $\psi'=0$.

Мы видим, что при сильных полях на поверхности среды, когда $H_{e \text{эф}}$ больше того значения, при котором μ имеет максимум, электромагнитная волна в ферромагнитной среде затухает быстрее, чем в среде с постоянной магнитной проницаемостью. Расчет показывает, что эквивалентная глубина проникновения электромагнитной волны в ферромагнитную среду при этом получается примерно в 1,4 раза меньше, чем в случае $\mu=\mu_e=\text{const}$ и $\psi'=0$.

Располагая выражениями (5), уже нетрудно получить формулы для электрического сопротивления параллелепипеда, вырезанного из ограниченной плоскостью XOY бесконечной ферромагнитной среды, имеющего длину l_E в направлении линий тока и ширину l_H в направлении магнитных линий (рис. 1). Третья сторона параллелепипеда, направленная вглубь среды (параллельная оси OZ), имеет бесконечную длину. Обозначим через r активное сопротивление параллелепипеда и через x внутреннее реактивное сопротивление, определяемое магнитным потоком, проходящим в самой ферромагнитной среде. Имеем:

$$Z = r + jx = \frac{\dot{U}_{me}}{i_m} = \frac{l_E \dot{E}_{me}}{l_H \dot{H}_{me}}, \quad (7)$$

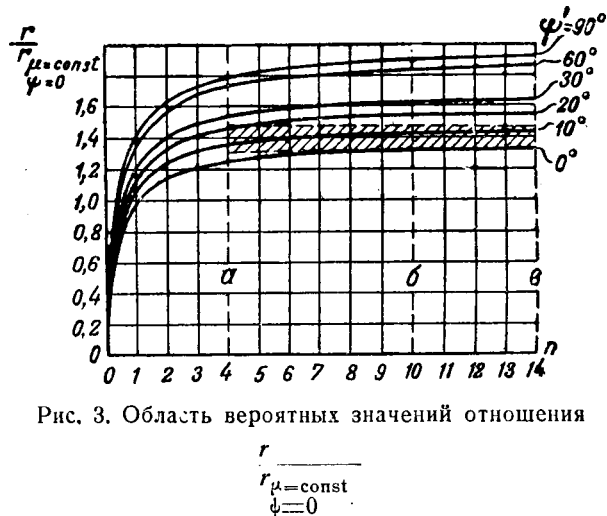


Рис. 3. Область вероятных значений отношения

$$\frac{r}{r_{\mu=\text{const}} \psi=0}$$

для различных ферромагнитных материалов.

a — чугун; b — трансформаторная сталь; v — электролитическое железо.

где $\dot{U}_{me}$ — комплексная амплитуда напряжения вдоль нити тока, лежащей на поверхности ($z=0$) и имеющей длину l_E ; i_m — комплексная амплитуда тока, проходящего сквозь параллелепипед; $\dot{E}_{me}$ и $\dot{H}_{me}$ — значения $\dot{E}_m$ и $\dot{H}_m$ на поверхности, т. е. при $z=0$.

Комплексное магнитное сопротивление Z_m того же параллелепипеда, но считаемое в направлении магнитных линий, получается из соотношения

$$Z_m = R_m + jX_m = \frac{i_m}{\dot{\Phi}_m} = \frac{j\omega}{\dot{U}_{me}} i_m = j \frac{\omega}{Z}, \quad (8)$$

где $\dot{\Phi}_m$ — комплексная амплитуда магнитного потока, проходящего сквозь параллелепипед.

Подставляя в формулы (7) и (8) выражения (5) при $z=0$, получаем искомые выражения для r , x , R_m и X_m .

Значения тех же величин при постоянной магнитной проницаемости, равной μ_e , и при отсутствии потерь на гистерезис получим, полагая $n=1$ и $\psi'=0$. При этом приходим к известным формулам

$$r_{\mu=\text{const}} \psi=0 = \frac{l_E}{l_H} \sqrt{\frac{\omega \mu_e}{2}}, \quad \text{tg } \varphi = \frac{x}{r} = 1. \quad (9)$$

Отношения r , x , R_m и X_m к их значениям при $\mu=\mu_e=\text{const}$ и $\psi'=0$ зависят только от n и ψ' , т. е. от свойств ферромагнитной среды. На рис. 3 и 4 построены кривые

$$\frac{r}{r_{\mu=\text{const}} \psi=0} = f_1(n, \psi') \quad \text{и} \quad \text{tg } \varphi = f_2(n, \psi').$$

Определив, пользуясь формулой (2) и зависимостью B_m от z согласно выражению (5),

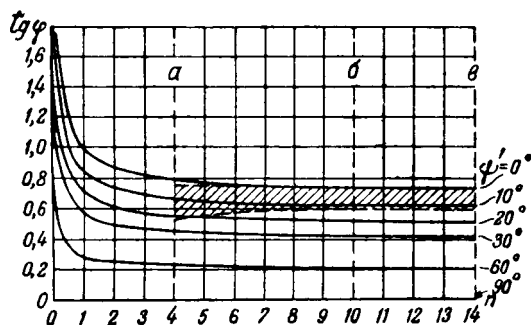


Рис. 4. Область вероятных значений величины $\operatorname{tg} \varphi$ для различных ферромагнитных материалов. Обозначения a , b и σ — то же, что на рис. 3.

среднее значение ψ' для различных ферромагнитных материалов, нетрудно выделить на рис. 3 и 4 области, в которых могут располагаться значения $f_1(n, \psi')$ и $f_2(n, \psi')$ для всех ферромагнитных материалов при $n > 1$, т. е. при достаточно сильных полях на поверхности. Эти области, заштрихованные на рисунках, представляют собой сравнительно узкие полосы, параллельные оси абсцисс. На основании этого мы получаем право сделать весьма важное заключение:

при достаточно сильных полях, когда действующее значение $H_{\text{эфф}}$ на поверхности ферромагнитной среды превышает значение H , при котором μ_e имеет максимум, можно практически для всех ферромагнитных материалов, и для любых значений $H_{\text{эфф}}$ принять:

$$\frac{r}{r_{\mu=\text{const}}^{\psi=0}} \approx 1,4 \approx \sqrt{2} = \text{const}, \quad \operatorname{tg} \varphi \approx 0,6 = \text{const}. \quad (10)$$

Среднее значение $\operatorname{tg} \varphi$ согласно рис. 4 имеет порядок 0,65. Мы принимаем значение $\operatorname{tg} \varphi = 0,6$, что соответствует опытным данным и является нижним пределом этой величины согласно рис. 4. Повидимому, некоторое уменьшение опытных значений $\operatorname{tg} \varphi$ против среднего теоретического значения связано с уменьшением магнитной проницаемости в поверхностном слое проводов в результате механической обработки.

Соотношения (10) вместе с формулами (9) и (8) дают возможность предложить простые формулы для расчета электрического и магнитного сопротивления, справедливые при резком проявлении поверхностного эффекта для всех обычных ферромагнитных материалов.

Заменяя в случае электрических проводов величину l_E в формулах длиной l провода и величину l_H периметром u поперечного сечения провода, получаем:

$$r = \sqrt{2} r_{\mu=\text{const}}^{\psi=0} = \frac{l}{u} \sqrt{\frac{\omega \mu_e}{\gamma}}, \quad x = 0,6 \frac{l}{u} \sqrt{\frac{\omega \mu_e}{\gamma}}. \quad (11)$$

Заменяя в случае магнитной цепи величину l_e в формулах длиной l рассматриваемого участка

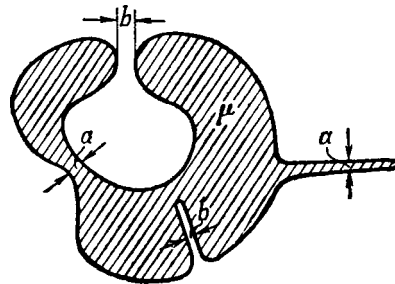


Рис. 5. Фигурное сечение провода.

магнитной цепи и величину l_E периметром u его поперечного сечения, получаем:

$$R_m = 0,45 \frac{l}{u} \sqrt{\frac{\omega \mu_e}{\mu_e}}, \quad X_m = 0,74 \frac{l}{u} \sqrt{\frac{\omega \mu_e}{\mu_e}}. \quad (12)$$

Следует иметь в виду, что формулы (11) и (12) справедливы только в том случае, когда *поверхностный эффект проявляется резко* и когда можно считать, что поглощаемая в участке электрического провода или магнитной цепи мощность распределяется равномерно по поверхности этого участка. Неучет этого обстоятельства привел А. И. Руцкого в его ценной работе [Л. 7] к некоторым неправильным заключениям.

В случае магнитной цепи для этого достаточно, чтобы соблюдались условия: 1) периметр u поперечного сечения значительно больше глубины $z_{0,05}$, на которой волна практически затухает; 2) наименьшие поперечные линейные размеры сечения равны или больше величины $2z_{0,05}$. Этих условий достаточно, так как при этом вихревой ток обтекает поперечное сечение магнитной цепи по тонкому слою вдоль контура сечения, не отвлекаясь во внешнее пространство, имеющее равную нулю удельную проводимость. Так как ток вдоль всего контура сечения один и тот же, то и отнесенная к единице поверхности мощность всюду одинакова.

В случае электрического провода этих двух условий не достаточно, так как магнитный поток, обтекающий поперечное сечение провода по тонкому слою вдоль контура сечения, может отвлекаясь во внешнее пространство, обладающее конечной магнитной проницаемостью μ_0 . Вследствие этого магнитный поток в разных местах контура сечения может оказаться разным, а следовательно, и отнесенная к единице поверхности мощность будет различной. Необходимо вышеуказанные два условия дополнить третьим: 3) конфигурация сечения должна быть такой, при которой провод не содержит полостей и глубоких прорезов, сообщающихся с внешним пространством весьма узкими щелями.

На рис. 5 изображено фигурное сечение провода. Второе условие требует, чтобы имело место неравенство $a > 2z_{0,05}$. Третье условие требует, чтобы ширина b щелей была столь большой, при которой магнитное сопротивление пути потока через щели было больше магнитного сопротивления пути потока по поверхностному

слою провода вдоль внутренних поверхностей полостей и щелей.

В помещаемой в одном из ближайших номеров журнала „Электричество“ статье автора и И. А. Зайцева приведено экспериментальное определение достаточной ширины b щели. Результаты этого экспериментального исследования показывают, что формулы (11) справедливы для всего нормального сортамента фасонной стали.

Формулы (11) и (12) дают весьма хорошую точность для всех обычных ферромагнитных материалов при достаточно сильных полях на поверхности, когда $H_{e\text{эфф}}$ больше того значения H напряженности магнитного поля, при котором μ_e имеет максимум. Однако, и при более слабых полях они могут быть использованы, хотя и с меньшей точностью результатов.

Входящая в эти формулы магнитная проницаемость μ_e определяется по основной кривой намагничивания (т. е. по кривой, проходящей через вершины симметричных петель гистерезиса) при значении напряженности магнитного поля, равном действующему значению $H_{e\text{эфф}}$ напряженности магнитного поля на поверхности провода или участка магнитной цепи. В случае электрического провода имеем:

$$H_{e\text{эфф}} = \frac{I}{u}$$

и в случае магнитной цепи

$$H_{e\text{эфф}} = \frac{Iw}{l},$$

где Iw — действующее значение м. д. с., проходящей на участок длиной l .

Для выполнения расчетов по формулам (11) и (12) необходимо знать характеристики материала: удельную проводимость, ее температурный коэффициент и кривую намагничивания. Однако, следующие соображения позволяют предложить кривые, пользуясь которыми можно с удовлетворительной точностью получать ответ, не располагая данными о свойствах материала. Такая возможность имеет большое значение для проектирования.

В формулы (11) и (12) входит отношение μ_e/γ . В большинстве случаев присадка примесей к железу ведет к снижению одновременно и магнитной проницаемости и удельной проводимости. В силу этого отношение μ_e/γ при равных значениях $H_{e\text{эфф}}$ для различных материалов оказывается лежащим в некоторых не слишком широких пределах. Кроме того, это отношение входит под знаком квадратного корня. Поэтому оказывается, что зависимости

$$\sqrt{\frac{\mu_e}{\gamma}} = f(H_{e\text{эфф}})$$

для обычных ферромагнитных материалов не слишком резко отличаются друг от друга. Это дает возможность рекомендовать некоторую среднюю для многих материалов кривую, определяющую связь между мощностью, отнесенной

к единице поверхности, и напряженностью магнитного поля на поверхности. Действительно, имеем:

$$\begin{aligned} \frac{P}{s} &= \frac{I^2 r}{ul} = \left(\frac{I}{u}\right)^2 \cdot \frac{ur}{l} = H_{e\text{эфф}}^2 \sqrt{\frac{\mu_e}{\gamma}} = \\ &= \sqrt{f} \cdot F(H_{e\text{эфф}}). \end{aligned}$$

Это соотношение справедливо в равной мере как для электрических проводов, так и для магнитопроводов.

На рис. 6 изображена кривая $\frac{P}{s\sqrt{f}} = F(H_{e\text{эфф}})$, построенная как средняя из многих кривых, снятых различными авторами для проводов с различными формами сечений и из различных материалов. Все кривые отклоняются от приведенной на рис. 6 средней кривой не более, чем на $\pm 8\%$.

Пользуясь этой кривой и вышеприведенными формулами, нетрудно построить кривые зависимостей $\frac{|Z|u}{l\sqrt{f}}$, $\frac{ru}{l\sqrt{f}}$ и $\frac{xu}{l\sqrt{f}}$ от $\frac{I}{u}$ для электрических проводов и кривые зависимостей $\frac{|Z_m|u}{l\sqrt{f}}$ и $\frac{\Phi\sqrt{f}}{u}$ от $\frac{I}{l}$ для магнитопроводов, что и выполнено на рис. 6. Значения R_m и X_m легко получаются в соответствии с формулами (12) из соотношений

$$R_m = \frac{0,45|Z_m|}{\sqrt{0,45^2 + 0,74^2}}, \quad X_m = \frac{0,74|Z_m|}{\sqrt{0,45^2 + 0,74^2}}. \quad (13)$$

Кривые на рис. 6 даны для температуры провода или магнитопровода $t = 20^\circ\text{C}$.

Для пересчета величин r , x , $|Z|$, Φ и P к температуре t необходимо значения, полученные из кривых, умножить на величину

$$\sqrt{1 + a_{20}(t - 20)} \approx 1 + \frac{1}{2} a_{20}(t - 20),$$

где a_{20} — температурный коэффициент удельного сопротивления при $t = 20^\circ\text{C}$.

Для пересчета величин R_m , X_m и $|Z_m|$ к температуре t необходимо значения, взятые из кривых, разделить на

$$\sqrt{1 + a_{20}(t - 20)}.$$

Все изложенное выше относится к случаю резкого проявления поверхностного эффекта.

В случае прямолинейных электрических проводов из ферромагнитного материала в общем случае при любой степени проявления поверхностного эффекта отношения активного сопротивления r при переменном токе и внутреннего реактивного сопротивления x к сопротивлению r_0 при постоянном токе могут быть представлены формулами:

$$\left. \begin{aligned} \text{при } 0 \leq x \leq 2 \quad r/r_0 &= 1 + 0,55x^2 - 0,025x^4; \\ \text{при } x \geq 2 \quad r/r_0 &= 1,4x; \\ \text{при } 0 \leq x \leq 1 \quad x/r_0 &= 1,26x^2 - 0,42x^4; \\ \text{при } x \geq 1 \quad x/r_0 &= 0,84x; \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

здесь $x = \frac{s}{u} \sqrt{\frac{\omega \mu_e \gamma}{2}}$, причем s — площадь поперечного сечения провода и u — периметр его сечения.

Кривые, соответствующие формулам (14), приведены на рис. 7.

Эти зависимости весьма достоверны при сильных магнитных полях на поверхности провода, но могут быть использованы и при слабых полях, хотя и с несколько меньшей точностью получаемых результатов. При этом вероятные отклонения от сплошных кривых на рис. 7 при слабых полях следует ожидать в сторону соответствующих пунктирных кривых, построенных для случая $\mu = \text{const}$ и $\psi = 0$.

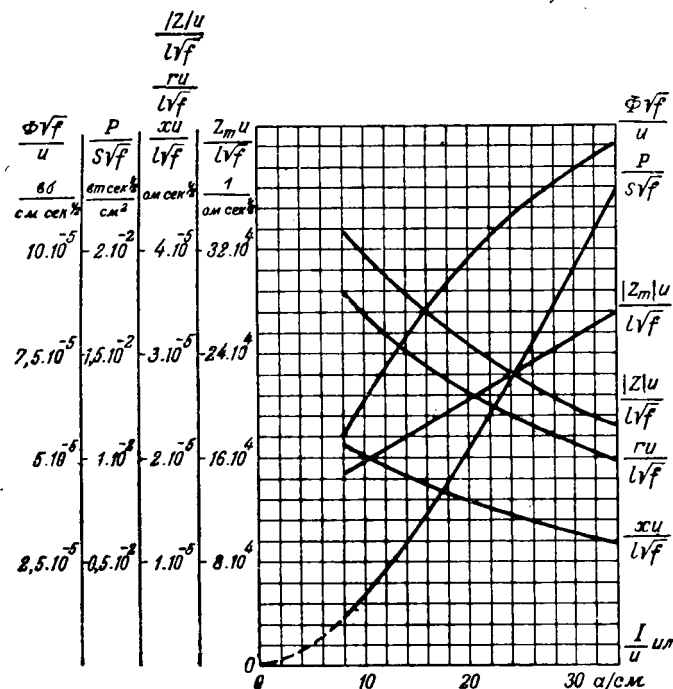


Рис. 6. Кривые для определения электрического сопротивления $Z=r+jx$ проводов из ферромагнитного материала, магнитного сопротивления Z_m магнитных цепей, магнитного потока Φ в этих цепях и потерь P в ферромагнитных телах при резком проявлении поверхностного эффекта.

Кривые на рис. 7 построены на основе аналитического рассмотрения явления поверхностного эффекта в цилиндрических проводах кругового сечения из ферромагнитного материала и обобщения результатов этого исследования на случай проводов со сложной формой сечения.

В инженерных расчетах, например [Л. 8], получили широкое распространение формулы Циклера и Розенберга. Однако, формулы Циклера совершенно необоснованны и к тому же они излишне громоздки. Автором настоящей статьи показано в отмеченной выше монографии, что Циклер при выводе своих формул допустил ряд грубых ошибок. Схождение результатов расчета по формулам Циклера с результатами опыта является следствием только искусственного подбора коэффициентов в этих формулах и имеет место

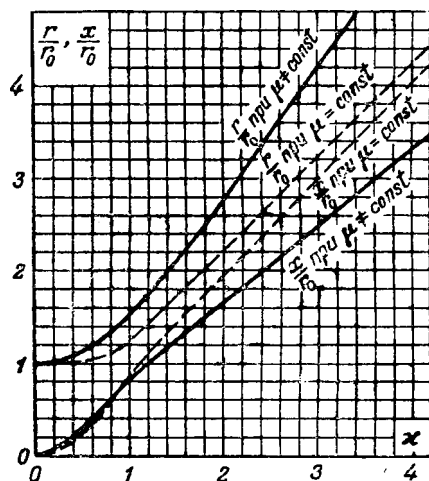


Рис. 7. Зависимость отношений активного r и внутреннего реактивного x сопротивлений к сопротивлению r_0 при

постоянном токе от параметра $x = \frac{s}{u} \sqrt{\frac{\omega \mu_e \gamma}{2}}$.

в ограниченном диапазоне изменения параметра x .

Получившие также широкое распространение формулы Розенберга для вычисления потерь основаны, как показано в отмеченной монографии, на неправильных предпосылках, исключивших возможность найти такие важные величины, как внутреннее реактивное сопротивление электрических проводов и комплексное магнитное сопротивление магнитных цепей.

Приведенные в настоящей статье формулы получены на основании детального аналитического исследования явления распространения электромагнитных волн в ферромагнитной среде с учетом непостоянства магнитной проницаемости и потерь на гистерезис, а также на основании обширных экспериментальных работ автора статьи и многих других исследователей.

Все формулы даны в рациональной форме. Поэтому в них следует положить: $\mu_e = \mu_{er} \cdot \mu_0$, где $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ ед. MKS μ_0 или, соответственно, $\mu_0 = 4\pi$ ед. CGS μ_0 , причем μ_{er} — относительная магнитная проницаемость.

Отметим, что формулы (11) и (12) могут быть применены и для расчета непрямолинейных участков электрических проводов и магнитной цепи при резком проявлении поверхностного эффекта. В этих случаях при точных расчетах необходимо определять для каждой точки поверхности соответствующие значениям H_{eq} и μ_e в этих точках значения электрического или магнитного сопротивления, отнесенного к единице длины (l) в направлении линий тока или соответственно в направлении магнитных линий и отнесенного к единице длины (u) в перпендикулярном направлении. Эти отнесенные к единицам длины сопротивления получаются, если положить в формулах (11) и (12)

$$l/u = 1.$$

Полное электрическое или магнитное сопротивление участка при этом может быть найдено

интегрированием по поверхности рассматриваемого участка провода или магнитной цепи.

Этим же путем можно определить потери в ферромагнитных телах, расположенных во внешнем переменном магнитном поле.

Литература

1. В. К. Аркадьев. Электромагнитные процессы в металлах, ч. I, 1933 и ч. II, 1936, ОНТИ.
2. В. К. Аркадьев. Два способа вычисления скин-эффекта в ферромагнетиках. В книге „Практические проблемы электромагнетизма“. Издательство Академии наук СССР, 1939.
3. Л. Р. Нейман. Поверхностный эффект в ферромагнитных телах. Госэнергоиздат, 1949.

4. В. К. Аркадьев. Теория электромагнитного поля в ферромагнитном металле. ЖРФО, 43, 1913.
5. С. Д. Марголин. Расчет магнитного скин-эффекта в листовой стали с учетом зависимости магнитной проницаемости от напряженности магнитного поля ЖТФ, т. 18, вып. 10, 1948.
6. К. М. Поливанов. О свойствах ферромагнетиков в переменных полях. Известия АН СССР, серия физическая, т. 12, № 2, 1948.
6. А. И. Рупкий. Железные шины распределительных устройств. Минск, 1947.
8. Г. М. Петухин. Расчет стальных проводов, шин и крановых троллеев. Госэнергоиздат, 1948.

[24. 5. 1949]



Общие уравнения четырехполюсника

Доктор техн. наук, проф. Р. А. ВОРОНОВ и кандидат техн. наук, доц. Г. Е. ПУХОВ

Томский электромеханический институт инженеров железнодорожного транспорта

Пассивный четырехполюсник, являющийся соединительной частью цепи, передающей энергию от входных зажимов (источник) к выходным (нагрузка), обычно характеризуется уравнениями

$$\begin{aligned} \dot{U}_1 &= A_{11} \cdot \dot{U}_2 + A_{12} \cdot \dot{I}_2, \\ \dot{I}_1 &= A_{21} \cdot \dot{U}_2 + A_{22} \cdot \dot{I}_2, \end{aligned} \quad (1a)$$

могущими быть представленными в матричной форме:

$$\begin{bmatrix} \dot{U}_1 \\ \dot{I}_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & A_{22} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \dot{U}_2 \\ \dot{I}_2 \end{bmatrix} = A \cdot \begin{bmatrix} \dot{U}_2 \\ \dot{I}_2 \end{bmatrix}, \quad (1б)$$

причем коэффициенты четырехполюсника A_{11} , A_{12} , A_{21} и A_{22} связаны соотношением

$$A_{11}A_{22} - A_{12}A_{21} = 1.$$

Опираясь над этими уравнениями или над заменяющими их матрицами, можно получить коэффициенты общего сложного четырехполюсника, составленного из целого ряда отдельных, более простых, четырехполюсников.

При цепочечном соединении нескольких четырехполюсников (рис. 3, б) производится перемножение матриц A в порядке соединения, а для параллельного (рис. 3, а), последовательного (рис. 3, в) и смешанного соединений производится сложение коэффициентов уравнений (или соответствующих им матриц), решенных по отношению к токам (матрица Y), к напряжениям (матрица Z) или смешанно к $\dot{U}_2$ и $\dot{I}_1$ или $\dot{U}_1$ и $\dot{I}_2$ (матрица D).

Применение этих уравнений, и особенно их матриц, очень удобно, но возможно лишь в неко-

Рассматриваются уравнения четырехполюсника, более общие, чем обычно применяемые. Показывается также, как при помощи предлагаемых уравнений решать такие задачи, как шунтирование и короткое замыкание зажимов четырехполюсников, отключение их от общей сети, как производить замену нескольких четырехполюсников одним эквивалентным и т. п.

торых частных случаях. Одним из условий этого является равенство токов обоих входных зажимов и соответственно равенство токов обоих выходных зажимов. Если по тем или иным причинам эти

равенства нарушаются, то уравнения (1) оказываются уже недостаточными, и полученные по ним результаты могут сильно отличаться от действительных.

Исходя из уравнений (1), точные решения получаются: а) при простой цепочечной схеме; б) при любых соединениях четырехполюсников типа трансформатора (отсутствует возможность перехода тока от входных зажимов к выходным), в) при наличии одной сверхпроводящей стороны у всех соединяемых параллельно четырехполюсников; г) при наличии определенной пропорциональности в сопротивлениях отдельных четырехполюсников.

Возможность получения ошибок легко показать на простейшем примере параллельного соединения двух четырехполюсников, приведенных на рис. 1.

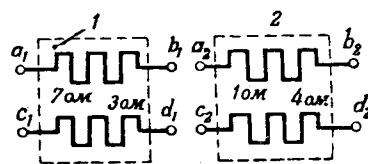


Рис. 1.

Для этих четырехполюсников матрицы A будут равны:

$$A_1 = \begin{bmatrix} 1 & 10 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad A_2 = \begin{bmatrix} 1 & 5 \\ 0 & 1 \end{bmatrix},$$

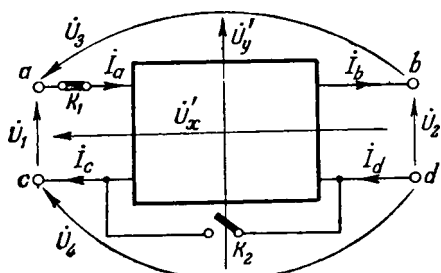


Рис. 2.

где коэффициенты A_{12} (10 ом и 5 ом) для этих схем равны суммам сопротивлений обоих плеч цепи.

Если теперь их соединить параллельно, объединяя соответственно зажимы a_1 и a_2 , b_1 и b_2 и т. д., то, исходя из уравнений (1), получим матрицу общего четырехполюсника

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 3,33 \\ 0 & 1 \end{bmatrix},$$

причем коэффициент A_{12} равен 3,33 ом.

Точное решение для этого случая при коэффициенте A_{12} дает иное значение, равное 2,59 ом.

Если при этом включении соединить зажимы a_1 и c_2 , b_1 и d_2 и т. д., то обычным путем получим опять то же значение 3,33 ом, а точное решение даст теперь 3,29 ом, уже более близкое к нему.

Эта неточность решения объясняется тем, что после соединения четырехполюсников в сопротивлениях 7 ом и 3 ом первого из четырехполюсников будут протекать уже неодинаковые токи, а отличающиеся друг от друга в одном случае в 3,45 раза, а во втором только в 1,45 раза.

Уравнения (1) могут применяться лишь в ограниченном числе случаев, указанных выше. Можно показать [Л. 3], что их использование возможно лишь тогда, когда к существующим всегда зависимостям

$$\left. \begin{aligned} U_1 - U_2 - U_3 + U_4 &= 0, \\ I_a - I_b - I_c + I_d &= 0, \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

непосредственно вытекающим из рис. 2, добавляются еще какие-либо условия, сокращающие степень свободы. Такими условиями могут явиться равенство токов $I_a = I_c$, сверхпроводящая сторона $U_4 = 0$ и т. д.

Это довольно очевидное положение часто не учитывается, т. е. в скрытом виде допускается, что уравнения (1) вполне характеризуют работу четырехполюсника. В общем случае такое положение неверно, так как уравнения (2) оставляют три степени свободы, а следовательно, для полного определения четырехполюсника нужны не два, а три уравнения.

В предлагаемом ниже способе неодинаковость токов ветвей учтена путем введения особого уравнительного продольного (или поперечного) тока. Получающиеся при этом три уравнения, полностью определяющие работу четырехполюсника в любом случае, приводят к матрицам про-

водимостей третьего порядка. Матрица A для удобства взята нами четвертого порядка путем введения еще одного четвертого очень простого уравнения

$$I_x = I_x$$

и учета получающихся при этом продольных падений напряжений.

Эти более общие уравнения дают возможность получить точное решение при весьма разнообразных соединениях четырехполюсников. Этим путем возможно решение и таких вопросов, как шунтирование и к. з. отдельных зажимов, отключение их от сети и т. п. Само решение, даже в простых случаях, при которых возможно применение уравнений (1), часто оказывается более удобным. Постановкой определенных условий все выражения данного метода легко превращаются в обычные выражения, являющиеся следствием уравнений (1).

Так как приводимые ниже соотношения в алгебраическом виде весьма громоздки и неудобны для обращения, используется матричная символика. Применение ее позволяет ввести особые матрицы для преобразований, весьма удобные при некоторых соединениях.

Расчетные токи и напряжения четырехполюсника. Работа любого четырехполюсника может характеризоваться тремя независимыми токами и тремя напряжениями. Выбор этих независимых величин может быть произвольным, но, конечно, желательно этот выбор произвести так, чтобы сохранить симметрию уравнений и максимально облегчить переход к обычным известным соотношениям. С нашей точки зрения целесообразно отдельные токи и напряжения связать с электрическими осями, проходящими через точки средних потенциалов противоположных сторон четырехполюсника.

В соответствии с этим напряжения

$$U_1, U_2 \text{ и } U'_x = \frac{U_3 + U_4}{2} \quad (3a)$$

назовем расчетными продольными напряжениями, а

$$U_3, U_4 \text{ и } U'_y = \frac{U_1 + U_2}{2} \quad (3b)$$

поперечными напряжениями четырехполюсника.

Продольные и поперечные напряжения связываются между собой при помощи формул:

$$\begin{vmatrix} U_1 \\ U_2 \\ U'_x \end{vmatrix} = K \begin{vmatrix} U_3 \\ U_4 \\ U'_y \end{vmatrix} \quad \text{и} \quad \begin{vmatrix} U_3 \\ U_4 \\ U'_y \end{vmatrix} = K \begin{vmatrix} U_1 \\ U_2 \\ U'_x \end{vmatrix}, \quad (4)$$

где матрица преобразования K

$$K = K^{-1} = \begin{vmatrix} 0,5 & -0,5 & 1 \\ -0,5 & 0,5 & 1 \\ 0,5 & 0,5 & 0 \end{vmatrix}. \quad (5)$$

Вместо действительных токов четырехполюсника будем применять одну из следующих их линейных комбинаций:

$$I_1 = \frac{I_a + I_c}{2}, \quad I_2 = \frac{I_b + I_d}{2},$$

$$I_x = I_a - I_c = I_b - I_d, \quad (6a)$$

$$I_3 = \frac{I_a + I_b}{2}, \quad I_4 = \frac{I_c + I_d}{2},$$

$$I_y = I_a - I_b = I_c - I_d. \quad (6b)$$

Расчетные токи I_1 , I_2 и I_x назовем продольными токами, а I_3 , I_4 и I_y поперечными токами четырехполюсника. Действительные токи выражаются через расчетные при помощи формул

$$I_a = I_1 + \frac{I_x}{2} = I_3 + \frac{I_y}{2}, \quad I_b = I_2 + \frac{I_x}{2} = I_4 - \frac{I_y}{2},$$

$$I_c = I_1 - \frac{I_x}{2} = I_4 + \frac{I_y}{2}, \quad I_d = I_2 - \frac{I_x}{2} = I_3 - \frac{I_y}{2}. \quad (7)$$

Из (7) следует, что уравнительный ток I_x , проходя через четырехполюсник и накладываясь на симметричные токи I_1 и I_2 , в результате дает действительные токи I_a , I_b , I_c и I_d . Это же можно сказать и о поперечном уравнительном токе I_y .

Связь между продольными и поперечными токами выражается формулами:

$$\begin{vmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_x \end{vmatrix} = M \begin{vmatrix} I_3 \\ I_4 \\ I_y \end{vmatrix} \quad \text{и} \quad \begin{vmatrix} I_3 \\ I_4 \\ I_y \end{vmatrix} = M \begin{vmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_x \end{vmatrix}, \quad (8)$$

где

$$M = M^{-1} = \begin{vmatrix} 0,5 & 0,5 & 0,5 \\ 0,5 & 0,5 & -0,5 \\ 1 & -1 & 0 \end{vmatrix}. \quad (9)$$

Заметим, что матрицы перехода от продольной оси четырехполюсника к его поперечной оси и наоборот обладают интересным свойством, заключающемся в том, что матрицы эти равны своим обратным.

Основные уравнения четырехполюсника. В соответствии с выбранными выше расчетными токами и напряжениями уравнения, определяющие электрическое состояние четырехполюсника, если сделать обычные предположения о линейности и пассивности последнего, можно записать в виде:

$$\begin{vmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_x \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} Y_{11} & Y_{12} & Y_{1x} \\ Y_{21} & Y_{22} & Y_{2x} \\ Y_{x1} & Y_{x2} & Y_{xx} \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} \dot{U}_1 \\ \dot{U}_2 \\ \dot{U}_x \end{vmatrix} = Y_d \begin{vmatrix} \dot{U}_1 \\ \dot{U}_2 \\ \dot{U}_x \end{vmatrix}, \quad (10)$$

где Y_{ik} — постоянные коэффициенты, являющиеся компонентами матрицы продольной проводимости

Y_d . Вместо уравнений (10), в которых использованы продольные токи и напряжения, во многих случаях целесообразно применять уравнения

$$\begin{vmatrix} I_3 \\ I_4 \\ I_y \end{vmatrix} = Y_q \begin{vmatrix} \dot{U}_3 \\ \dot{U}_4 \\ \dot{U}_y \end{vmatrix}, \quad (11)$$

связывающие поперечные токи и напряжения четырехполюсника. На основании соотношений (4) и (8) матрицы Y_d и Y_q выражаются друг через друга при помощи формул

$$Y_q = M Y_d K; \quad Y_d = M Y_q K. \quad (12)$$

В матрице продольной проводимости Y_d и, следовательно, в матрице Y_q имеется шесть независимых компонент, так как существуют зависимости

$$Y_{12} = -Y_{21}, \quad Y_{1x} = Y_{x1} \quad \text{и} \quad Y_{2x} = -Y_{x2},$$

справедливость которых устанавливается непосредственным применением теоремы взаимности.

Не для всех встречающихся четырехполюсников существуют уравнения (10) или (11). В ряде случаев, например, при наличии сверхпроводящих сторон матрицы проводимости вследствие обращения в бесконечность части их компонент написаны быть не могут. Кроме того, если при помощи (10) или (11) легко находятся уравнения параллельно соединенных четырехполюсников (см. ниже), то это нельзя сказать о соединении четырехполюсников в цепочку, при котором как уравнения (10), так и (11) оказываются мало удобными. Вследствие этих причин кроме уравнений (10) необходимо ввести в рассмотрение следующие уравнения

$$\begin{vmatrix} \dot{U}_1 \\ I_1 \\ \dot{U}_x \\ I_x \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} A_{11} & A_{12} & 0 & A_{1x} \\ A_{21} & A_{22} & 0 & A_{2x} \\ A_{x1} & A_{x2} & 1 & A_{xx} \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} \dot{U}_2 \\ I_2 \\ \dot{U}_{x0} \\ I_x \end{vmatrix} = A \begin{vmatrix} \dot{U}_2 \\ I_2 \\ \dot{U}_{x0} \\ I_x \end{vmatrix}, \quad (13)$$

являющиеся обобщением зависимостей (1). Соотношение, подобное (13), можно, конечно, написать и для поперечных токов и напряжений четырехполюсника.

Наличие как в правой, так и в левой части уравнений (13) продольного уравнительного тока I_x объясняется как тем, что этот ток, проходя через четырехполюсник, не меняет своей величины, так и тем, что $\dot{U}_1$, I_1 и $\dot{U}_x$ могут зависеть от тока I_x . Напряжение $\dot{U}_x$ представляет собой продольное напряжение всей цепочки, а $\dot{U}_{x0}$ — напряжение дальнейшей части последней, без рассматриваемого четырехполюсника. Разность $\dot{U}_x - \dot{U}_{x0}$ равна напряжению $\dot{U}'_x$ [см. уравнения (10)].

Элементы A_{11} , A_{12} , A_{21} и A_{22} цепочечной матрицы A являются обычными известными коэффициентами уравнений (1). Способы их нахождения также не отличаются от обычных. Определитель матрицы A всегда равен единице:

$$|A| = A_{11}A_{22} - A_{12}A_{21} = 1. \quad (14)$$

Уравнения (10) и (13) вполне характеризуют работу любого четырехполюсника и поэтому могут быть названы основными или общими уравнениями последнего.

Между компонентами матриц Y_d и A в случае существования их обеих имеются легко доказываемые зависимости

$$\left. \begin{aligned} A_{11} &= -\frac{Y_{22}Y_{xx} + Y_{x2}^2}{\zeta}; & A_{12} &= -\frac{Y_{xx}}{\zeta}; \\ A_{1x} &= -\frac{Y_{2x}}{\zeta}; & A_{21} &= \frac{A_{11}A_{22} - 1}{A_{12}}, \\ A_{22} &= \frac{Y_{11}Y_{xx} - Y_{1x}^2}{\zeta}; \\ A_{2x} &= \frac{Y_{1x}Y_{21} - Y_{2x}Y_{11}}{\zeta}; \\ A_{x1} &= \frac{Y_{x1}Y_{22} - Y_{x2}Y_{21}}{\zeta}; & A_{x2} &= -\frac{Y_{x1}}{\zeta}; \\ A_{xx} &= \frac{Y_{x1}}{\zeta}, \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

где

$$\zeta = Y_{21}Y_{xx} - Y_{2x}Y_{x1} = \frac{1}{A_{12}A_{xx} - A_{1x}A_{x2}}. \quad (16)$$

Решая (15) относительно Y_{ik} , можно получить и обратные соотношения

$$\left. \begin{aligned} Y_{11} &= \zeta(A_{22}A_{xx} - A_{2x}A_{x2}); & Y_{12} &= -Y_{21} = -\zeta A_{xx}; \\ Y_{1x} &= Y_{x1} = -\zeta A_{x2}; & Y_{22} &= \zeta(A_{1x}A_{x1} - A_{11}A_{xx}); \\ Y_{2x} &= -Y_{x2} = -\zeta A_{1x}; & Y_{xx} &= \zeta A_{12}. \end{aligned} \right\} \quad (17)$$

Если рассмотреть некоторые конкретные схемы четырехполюсников, часть которых приведена в таблице, то можно установить, что существование цепочечной матрицы A тесно связано с возможностью преобразования энергии в рассматриваемом направлении. У четырехполюсников, в которых такое преобразование невозможно, матрица A отсутствует.

Формулы преобразования схем, состоящих из четырехполюсников. В практике наиболее часто встречаются параллельное и цепочечное соединения четырехполюсников (рис. 3, а и б). Легко можно доказать, что в этих случаях формулы нахождения матриц эквивалентного четырехполюсника остаются обычными. При параллельном соединении двух четырехполюсников их матрицы проводимости складываются, т. е.

$$Y_d = Y'_d + Y''_d; \quad Y_q = Y'_q + Y''_q, \quad (18)$$

а при соединении в цепочку перемножаются их цепочечные матрицы, т. е.

$$A = A'A''. \quad (19)$$

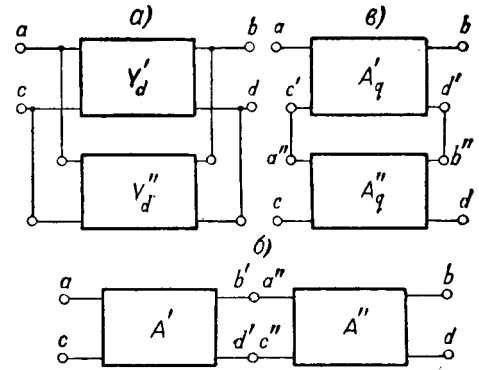


Рис. 3.

Следует заметить, что последовательное („этажное“) соединение (рис. 3, б) является, по существу, соединением в цепочку, но производимым в направлении поперечной оси. Поэтому для получения матрицы, характеризующей последовательное соединение, следует перемножить матрицы A'_q и A''_q , т. е.

$$A_q = A'_q A''_q; \quad (20)$$

значки q указывают на то, что цепочечные матрицы должны определяться относительно поперечной оси. Возврат к продольным токам и напряжениям может быть произведен путем перехода от A_q к Y_q и затем к Y_d , для чего следует использовать зависимости (17) и (18).

Четырехполюсник со сверхпроводящей стороной. При наличии сверхпроводящей стороны схема четырехполюсника всегда может быть представлена в виде трехэлементной цепи, показанной на рис. 4. Цепочечная матрица такой цепи вполне определяется тремя элементами A_{11} , A_{12} и A_{22} , так как остальные элементы ее находятся из очевидных выражений

$$\left. \begin{aligned} A_{1x} &= \frac{A_{12}}{2}; & A_{21} &= \frac{A_{11}A_{22} - 1}{A_{12}}; & A_{2x} &= \frac{A_{22} - 1}{2}; \\ A_{x1} &= \frac{A_{11} - 1}{2}; & A_{x2} &= \frac{A_{12}}{2}; & A_{xx} &= \frac{A_{12}}{4}. \end{aligned} \right\} \quad (21)$$

Цепочечное соединение четырехполюсников со сверхпроводящей стороной может производиться обычным способом. При параллельном же соединении основные элементы цепочечной матрицы эквивалентного четырехполюсника определяются формулами

$$\left. \begin{aligned} A_{11} &= \frac{A'_{11}A''_{12} + A'_{12}A''_{11}}{A'_{12} + A''_{12}}, \\ A_{12} &= \frac{A'_{12}A''_{12}}{A'_{12} + A''_{12}}; \\ A_{22} &= \frac{A'_{12}A''_{12} + A'_{11}A''_{11}}{A'_{12} + A''_{12}}. \end{aligned} \right\} \quad (22)$$

Для нахождения остальных элементов следует воспользоваться формулами (21).

№ п/п.	Схема	Y_d	A	№ п/п.	Схема	Y_d	A
1		$\begin{vmatrix} Y & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{vmatrix}$	Не существует	8		$\begin{vmatrix} 1 & Z & 0 & \frac{Z}{2} \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{Z}{2} & 1 & \frac{Z}{4} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}$	
2		$\begin{vmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & -Y & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{vmatrix}$		9		$\begin{vmatrix} 1 & Z & 0 & -\frac{Z}{2} \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{Z}{2} & 1 & \frac{Z}{4} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}$	
3		$\begin{vmatrix} Y & -\frac{Y}{4} & \frac{Y}{2} \\ \frac{Y}{4} & -\frac{Y}{4} & \frac{Y}{2} \\ \frac{Y}{2} & -\frac{Y}{4} & Y \end{vmatrix}$		10		$\begin{vmatrix} -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}$	
4		$\begin{vmatrix} \frac{Y}{4} & -\frac{Y}{4} & -\frac{Y}{2} \\ \frac{Y}{4} & -\frac{Y}{4} & -\frac{Y}{2} \\ -\frac{Y}{2} & -\frac{Y}{2} & Y \end{vmatrix}$		$Y_d = \frac{1}{Z_1 Z_2 - Z_m^2} \begin{vmatrix} Z_2 & Z_m & 0 \\ -Z_m & -Z_1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{vmatrix}$			
5		$\begin{vmatrix} \frac{Y}{4} & \frac{Y}{4} & \frac{Y}{2} \\ \frac{Y}{4} & \frac{Y}{4} & \frac{Y}{2} \\ -\frac{Y}{2} & -\frac{Y}{2} & Y \end{vmatrix}$					
6		$\begin{vmatrix} \frac{Y}{4} & \frac{Y}{4} & -\frac{Y}{2} \\ \frac{Y}{4} & \frac{Y}{4} & -\frac{Y}{2} \\ -\frac{Y}{2} & -\frac{Y}{2} & Y \end{vmatrix}$		11		$A = \begin{vmatrix} -\frac{Z_1}{Z_m} & -\frac{Z_1 Z_2 - Z_m^2}{Z_m} & 0 & 0 \\ -\frac{1}{Z_m} & -\frac{Z_2}{Z_m} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \infty \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix}$	
7		Не существует	$\begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ Y & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}$	12		$Y_d = \frac{1}{Z_1 Z_2 - Z_m^2} \begin{vmatrix} Z_1 + Z_2 - 2Z_m & -\frac{Z_1 + Z_2 - 2Z_m}{4} & -\frac{Z_1 - Z_2}{2} \\ \frac{Z_1 + Z_2 - 2Z_m}{4} & -\frac{Z_1 + Z_2 - 2Z_m}{4} & -\frac{Z_1 - Z_2}{2} \\ -\frac{Z_1 - Z_2}{2} & -\frac{Z_1 - Z_2}{2} & Z_1 + Z_2 + 2Z_m \end{vmatrix}$	
						$A = \begin{vmatrix} 1 & Z_1 + Z_2 + 2Z_m & 0 & \frac{Z_1 - Z_2}{2} \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{Z_1 - Z_2}{2} & 1 & \frac{Z_1 + Z_2 - 2Z_m}{4} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}$	

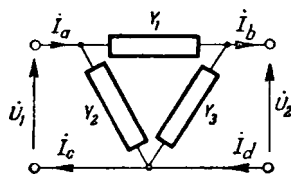


Рис. 4.

Если четырехполюсник со сверхпроводящей стороной соединен с обычным, то у последнего два соответствующих зажима должны быть предварительно замкнуты накоротко (см. ниже).

Короткое замыкание двух зажимов четырехполюсника. Для определенности допустим, что накоротко замыкаются зажимы c и d четырехполюсника (рис. 2). Для получения цепочечной матрицы при таком замыкании следует сложить матрицу продольной проводимости данного четырехполюсника при отсутствии короткого замыкания с матрицей четырехполюсника, помеченного номером 4 в таблице; затем при помощи выражений (15) найти цепочечную матрицу и, наконец, перейти к пределу, когда проводимость закорачивающего элемента цепи стремится к бесконечности. Прodelывая указанные преобразования, получим:

$$A_{11}^{(k)} = -\frac{Y_{22} + Y_{x2} - \frac{1}{4} Y_{xx}}{H};$$

$$A_{12}^{(k)} = \frac{1}{H};$$

$$A_{22}^{(k)} = \frac{Y_{11} + Y_{1x} + \frac{1}{4} Y_{xx}}{H},$$

где

$$H = Y_{21} + \frac{Y_{1x} + Y_{2x}}{2} + \frac{Y_{xx}}{4}. \quad (24)$$

Остальные элементы ($A_{21}^{(k)}$, $A_{2x}^{(k)}$ и т. д.) находятся из (21).

Если в (23) и (24) поставить вместо проводимостей их значения, выраженные через элементы матрицы A , имевшей место до короткого замыкания, то коэффициенты новой матрицы $A^{(k)}$ будут равны

$$A_{11}^{(k)} = \frac{A_{11}A_{xx} - (1 + A_{x1})A_{1x} + \frac{1}{4}A_{12}}{G};$$

$$A_{12}^{(k)} = \frac{A_{12}A_{xx} - A_{1x}A_{x2}}{G};$$

$$A_{22}^{(k)} = \frac{A_{22}A_{xx} - (1 + A_{2x})A_{x2} + \frac{1}{4}A_{12}}{G};$$

где

$$G = A_{xx} - \frac{A_{1x} + A_{x2}}{2} + \frac{A_{12}}{4}. \quad (26)$$

Все остальные коэффициенты матрицы $A^{(k)}$ находятся, как и выше.

Аналогичным образом решается задача при к. з. двух других зажимов четырехполюсника.

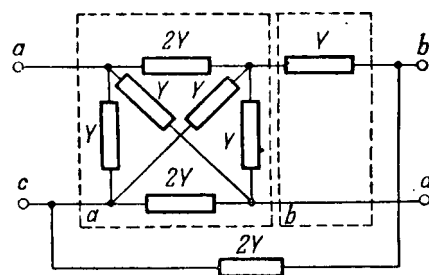


Рис. 5.

Отключение зажимов четырехполюсника. При отключении одного из зажимов четырехполюсника от общей схемы у последнего вследствие обрыва цепи будут существовать только матрицы проводимости. Для примера найдем элементы матрицы продольной проводимости при отключении зажима a четырехполюсника. Обрыв цепи в рассматриваемом случае соответствует включению вместо рубильника K_1 (рис. 2) бесконечно большого сопротивления. Поэтому для получения матрицы $Y_d^{(n)}$ новой схемы перемножим матрицы A_8 (см. таблицу) и данного четырехполюсника A при отсутствии обрыва. Затем по выражениям (16) и (17) после перехода к пределу при $z \rightarrow \infty$ найдем:

$$Y_{11}^{(n)} = \frac{A_{22}}{4F}; \quad Y_{12}^{(n)} = -Y_{21}^{(n)} = \frac{1 + 2A_{2x}}{4F};$$

$$Y_{1x}^{(n)} = Y_{x1}^{(n)} = -\frac{Y_{xx}^{(n)}}{2};$$

$$Y_{22}^{(n)} = \frac{(1 + A_{2x})A_{x1} - A_{21}A_{xx} - \frac{1}{4}A_{11}}{F};$$

$$Y_{2x}^{(n)} = -Y_{x2}^{(n)} = -2Y_{12}^{(n)}; \quad Y_{xx}^{(n)} = 4Y_{11}, \quad (27)$$

где

$$F = A_{22}A_{xx} - (1 + A_{2x})A_{x2} + \frac{1}{4}A_{12}. \quad (28)$$

Аналогичным образом решается задача при отключении других зажимов четырехполюсника.

Заключение. Приведенные выше уравнения позволяют анализировать весьма сложные схемы, состоящие из четырехполюсников, а также рассматривать работу отдельного четырехполюсника, включенного в сложную схему (пример получения матриц сложной схемы дан в приложении).

На конкретных примерах легко убедиться в том, что даже для тех случаев, когда могут быть использованы обычные соотношения (1), решение многих вопросов при помощи предлагаемых уравнений часто оказывается более простым.

ПРИЛОЖЕНИЕ. Пример определения матриц сложной цепи. Определим матрицы A и Y_d для цепи, показанной на рис. 5.

Рассматриваемую схему разбиваем на три части, состоящие из двух четырехполюсников и шунтирующей проводимости.

Находим матрицы первой части цепи, имеем:

$$Y_{da} = Y_{d1} + Y_{d2} + 2Y_{d3} + 2Y_{d4} + Y_{d5} + Y_{d6} =$$

$$= \begin{vmatrix} -\frac{5Y}{2} - \frac{Y}{2} & 0 \\ \frac{Y}{2} - \frac{5Y}{2} & 0 \\ 0 & 0 & 6Y \end{vmatrix},$$

где Y_{di} — матрицы элементарных четырехполюсников, приведенных в таблице.

Используя выражения (15) по элементам Y_{da} , находим цепочечную матрицу первого участка

$$A_a = \begin{vmatrix} 5 & \frac{2}{Y} & 0 & 0 \\ 12Y & 5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \frac{1}{6Y} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}.$$

Четырехполюсники a и b соединены в цепочку. Согласно (19) получим:

$$A_{ab} = \begin{vmatrix} 5 & \frac{7}{Y} & 0 & \frac{5}{2Y} \\ 12Y & 17 & 0 & 6 \\ 0 & \frac{1}{2Y} & 1 & \frac{5}{12Y} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix},$$

где значение матрицы A_b взято из таблицы (матрица № 8).

Имея матрицу A_{ab} , по формулам (17) находим матрицу продольной проводимости четырехполюсников a и b :

$$Y_{dab} = \begin{vmatrix} -\frac{49Y}{20} - \frac{Y}{4} - \frac{3Y}{10} \\ \frac{Y}{4} - \frac{5Y}{4} - \frac{3Y}{2} \\ -\frac{3Y}{10} - \frac{3Y}{2} - \frac{21Y}{5} \end{vmatrix}.$$

Для нахождения матрицы продольной проводимости всей цепи следует к полученной матрице Y_{dab} прибавить удвоенную матрицу четырехполюсника № 6 таблицы. Производя сложение, получим

$$Y_d = Y_{dab} + 2Y_{d6} = \begin{vmatrix} \frac{59Y}{20} & \frac{Y}{4} - \frac{13Y}{10} \\ -\frac{Y}{4} - \frac{7Y}{4} - \frac{Y}{2} \\ -\frac{13Y}{10} & \frac{Y}{2} - \frac{31Y}{5} \end{vmatrix}.$$

Цепочечную матрицу цепи находим, как и выше:

$$A = \begin{vmatrix} \frac{106}{9} & \frac{62}{9Y} & 0 & \frac{5}{9Y} \\ \frac{17 \ 515Y}{558} & \frac{166}{9} & 0 & \frac{23}{18} \\ \frac{43}{18} & \frac{13}{9Y} & 1 & \frac{5}{18Y} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}.$$

Эта матрица вполне определяет электрическое состояние рассматриваемого четырехполюсника при включении его в какую угодно цепь. В простейшем случае при отсутствии продольного уравнительного тока i_x , уравнения четырехполюсника примут вид:

$$\dot{U}_1 = \frac{106}{9} \dot{U}_2 + \frac{62}{9Y} \dot{i}_2,$$

$$\dot{i}_1 = \frac{17 \ 515}{558} Y \dot{U}_2 + \frac{166}{9} \dot{i}_2.$$

Литература

1. Б. П. Асеев. Основы радиотехники. Связьтехиздат, 1947.
2. R. Feldkeller. Vierpoltheorie, 1943.
3. Р. А. Воронов и Г. Е. Пухов. Теория четырехполюсника, включенного в сложную электрическую цепь. Томск, Труды ТЭМИИТ, 1949.

[27. 9. 1949]



Критический пролет цепной подвески

Инж. Э. М. МАЗУРСКИЙ

Транстехпроект МПС

В существующей литературе и методике по расчету цепной подвески контактной сети электрических железных дорог отсутствуют формулы для определения критического пролета цепной подвески, что усложняет расчет ее, лишая его необходимой в таких случаях определенности. Объясняется это тем, что на величину критического пролета цепной подвески кроме обычных и заранее известных факторов влияет также величина натяжения несущего троса при беспровесном положении контактных проводов, для определения которой нужно знать критический пролет.

Так, если воспользоваться обычным уравнением¹, связывающим между собой натяжения проводов цепной подвески при различных режимах, то для критического пролета полукомпенсированной цепной подвески получим формулу, сходную по форме с аналогичной формулой для свободно подвешенного провода:

$$l_{кр} = (T_{\max} + K) \sqrt{\frac{24\alpha(t_{20.1} - t_{\min})}{\omega_{20.1}^2 - \omega_t^2}}. \quad (1)$$

Здесь и ниже приняты следующие обозначения: $T_{\max}$ — максимальное натяжение несущего троса; K — натяжение (одного или двух) контактных проводов; α — коэффициент линейного удлинения материала несущего троса; t — расчетная температура; q — нагрузка единицы длины несущего троса (сумма веса всех проводов подвески, гололеда, клемм, струн и т. д.); ω — фиктивная (расчетная) нагрузка цепной подвески, равная:

$$\omega = q + q_0 \frac{K}{T_{0кр}}. \quad (2)$$

Величины с индексом t относятся к режиму минимальной температуры, с индексом 20.1 — к режиму с наибольшей вертикальной нагрузкой и с индексом 0 — к режиму беспровесного положения контактных проводов.

¹ Г. Г. Марквардт и К. Г. Марквардт. Контактная сеть городских электрических железных дорог. Изд. Министерства коммунального хозяйства РСФСР, М.-Л., стр. 90, формула (43), 1948.

Рассматривается методика определения длины критического пролета цепной подвески и обосновывается возможность применения приближенного решения по предлагаемым автором формулам, дающим достаточную для практических целей точность.

Для определения входящей в формулу (2) величины $(T_0)_{кр}$ (натяжение несущего троса при беспровесном положении контактных проводов для

пролета, равного по длине критическому) нужно решить полное кубическое уравнение с довольно сложными коэффициентами.

Можно также составить уравнение и для непосредственного определения $l_{кр}$, не определяя заранее величины $(T_0)_{кр}$. Но это приводит к необходимости решения уравнения шестой степени, содержащего, правда, только члены с четными степенями $l_{кр}$, но с очень сложными коэффициентами. Из-за этого подобные уравнения не могут быть рекомендованы для практического применения. Учитывая же, что величина критического пролета не используется непосредственно в каких-либо расчетах, а служит лишь для установления наиболее тяжелого расчетного режима, можно рекомендовать очень простое приближенное решение.

Действительно, в большинстве случаев достаточно лишь знать, что больше — расчетный или критический пролет? Вследствие этого почти для всех случаев пригодна приводимая ниже приближенная формула, по которой критический пролет может быть определен с отклонением от точной величины не более чем на 2—3 м.

Вывод этой формулы основан на том, что главным фактором, определяющим различие в величинах критического пролета цепной подвески и свободно нагруженного провода, кроме разницы в нагрузках, которая легко может быть учтена обычными формулами, является натяжение контактных проводов.

Очевидно, что истинная величина критического пролета цепной подвески:

а) больше величины, подсчитанной по формуле для критического пролета свободно подвешенного провода, нагруженного дополнительно весом контактных проводов (но без учета натяжения последних):

$$l'_{кр} = T_{\max} \sqrt{\frac{24\alpha(t_{20.1} - t_{\min})}{q_{20.1}^2 - q_t^2}}; \quad (3)$$

б) но меньше величины, подсчитанной также по формуле для критического пролета свободно подвешенного провода, нагруженного дополнительным весом контактных проводов, влияние натяжения которых учитывается тем, что в формуле вместо натяжения несущего троса подставлено суммарное натяжение всех проводов цепной подвески:

$$l'_{кр} = (T_{\max} + K) \sqrt{\frac{24\alpha(t_{гол} - t_{мин})}{q_{гол}^2 - q_t^2}}. \quad (4)$$

Таким образом, истинная величина критического пролета лежит в пределах, ограниченных значениями, подсчитанными по формулам (3) и (4), причем

$$l'_{кр} < l_{кр} < l''_{кр}.$$

Основываясь на этом, для определения критического пролета рекомендуется приближенная формула, в которой коэффициент β характеризует влияние натяжения контактного провода на длину критического пролета:

$$l_{кр} \approx (T_{\max} + \beta K) \sqrt{\frac{24\alpha(t_{гол} - t_{мин})}{q_{гол}^2 - q_t^2}}. \quad (5)$$

Как показали многочисленные расчеты цепных подвесок с различными параметрами, величина этого коэффициента β очень стабильна и изменяется в зависимости от различных факторов в довольно узких пределах. Вследствие этого можно рекомендовать принимать при расчетах следующие значения этого коэффициента: для подвески с одиночным контактным проводом $\beta = 0,5$; для подвески с двойным контактным проводом $\beta = 0,45$.

Для характеристики точности формулы (5) при этих значениях коэффициента β в таблице приведены результаты расчетов по точным формулам для различных случаев, причем все па-

раметры подвески оставались без изменения кроме нагрузки подвески при гололеде $q_{гол}$, изменявшейся в широких пределах. Расчеты, результаты которых приведены в таблице, были произведены для двух типов подвески, состоящей из:

а) медного несущего троса М-120 и двух медных контактных проводов сечением 100 мм^2 каждый (цифры в числителе);

б) стального несущего троса сечением 70 мм^2 и одного медного контактного провода сечением 100 мм^2 (цифры в знаменателе).

$q_{гол}, \text{ кг/м}$	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0
Величина критического пролета, подсчитанная по точной формуле, м	—	—	124,2	84,1	65,7	54,8	47,6
То же по приближенной формуле (5)	184,0	96,3	68,8	54,3	45,2	38,9	—
Разница между точной и приближенной величинами, м	—	—	-2,8	+0,1	+1,0	+1,5	+2,2
	-1,6	+1,7	+2,5	+2,8	+3,0	+2,7	—

При изменении других параметров расхождение между точными и приближенными величинами $l_{кр}$ также невелико и не превышает 2—3 м, т. е. для практических целей точность формулы (5) вполне достаточна.

В заключение следует отметить, что приведенная выше формула может быть применена и для двойной (так называемой компаундной) цепной подвески при величине коэффициента $\beta = 0,4$. В этом случае величина K является суммой натяжений контактных проводов и вспомогательного троса.

[19. 3. 1949]



Устойчивость регулирования возбуждения генераторов при повышающихся характеристиках

Кандидат техн. наук К. А. СМЕРНОВ

В целях уменьшения колебания напряжения в системе при изменении нагрузки потребителей может потребоваться такая настройка регуляторов возбуждения генераторов, при которой повышению реактивной нагрузки генератора соответствует повышение напряжения на его зажимах. Регулятор будет иметь, таким образом, отрицательный статизм.

На диаграмме $U_z = f(Q_z)$ характеристика выразится повышающейся кривой. Такие повышающиеся характеристики могут быть, в частности, необходимы, если предполагается компенсировать падение напряжения в линии или трансформаторе, через которые генератор работает на сборные шины системы, питающие нагрузку.

Вопросы устойчивости для этого случая до сего времени не были достаточно выяснены. Применяемые обычно практические критерии устойчивости $\frac{dQ}{dU} < 0$ и $\frac{dP}{d\delta} > 0$ могут привести в данном случае к неправильным результатам.

Ниже приведен анализ устойчивости работы генераторов при такой настройке регуляторов для существующих типов регуляторов возбуждения. Если угол регулирования будет столь велик, что $\frac{\partial P}{\partial \delta}$ при $E'_d = \text{const}$ станет равным нулю или меньше нуля, то устойчивое регулирование не обеспечивается при всех существующих типах регуляторов. Поэтому мы будем рассматривать режимы с относительно малыми углами, для которых этот предельный угол еще заведомо не достигнут.

Определение устойчивости могло быть произведено обычным анализом системы всех уравнений, описывающих систему. Однако, в целях большей простоты и наглядности здесь применен метод, который для данного случая дает более ясное физическое представление о состоянии устойчивости системы.

Исследуется устойчивость работы генератора, имеющего автоматическое регулирование возбуждения, при котором повышению напряжения на зажимах соответствует увеличение реактивной мощности, отдаваемой генератором в сеть. Для анализа применен критерий устойчивости, названный критерием электромагнитных процессов. Определены условия справедливости этого критерия, а также условия

справедливости критерия $\frac{dQ}{dU} < 0$. Одновременно показано, что если в этой области регулирования применить в одном случае автоматический регулятор напряжения, а в другом компаундирование, имеющие одинаковые статические характеристики $Q_{\text{ген}} = f(U)$, то состояние устойчивости в обоих случаях может быть различным.

В основу метода принято положение, что в известных, строго определенных условиях, в частности в режиме работы генератора с малыми углами, устойчивость работы определяется электромагнитными процессами, протекающими в системе возбуждения генератора, а законы механического движения не влияют на устойчивость режима. Задача может

быть поэтому упрощена рассмотрением лишь электромагнитных процессов в генераторе и процесса регулирования его возбуждения.

Рассмотрим для примера генератор, работающий на шины бесконечной мощности через реактивность в виде трансформатора или линии электропередачи.

Пусть генератор имеет регулятор возбуждения непрерывного действия без зоны нечувствительности, осуществляющий пропорциональное регулирование по некоторым параметрам, являющимся линейной функцией от ΔE_d и $\Delta \delta$.

В общем случае

$$\Delta E_{de} = \varphi(\Delta E_d, \Delta \delta).$$

При компаундировании

$$\varphi = k_i \Delta I, \text{ где } \Delta I = \frac{\partial I}{\partial E_d} \Delta E_d + \frac{\partial I}{\partial \delta} \Delta \delta.$$

При регулировании напряжения

$$\varphi = k_u \Delta U, \text{ где } \Delta U = \frac{\partial U}{\partial E_d} \Delta E_d + \frac{\partial U}{\partial \delta} \Delta \delta.$$

В случае регулирования напряжения с токовой компенсацией

$$\varphi = k_u \Delta U + k_z z \Delta I_p,$$

где z — сопротивление токового компенсатора, а ΔI_p — приращение реактивного тока. При компаундировании с коррекцией напряжения

$\varphi = k_i \Delta I + k_u \Delta U$. Здесь k_i и k_u — соответствующие коэффициенты регулирования.

Если отвлечься от рассмотрения запаздывания возбудителя и демпфирования, то, как известно [Л. 1—3], при учете как электромагнитных, так и механических процессов система опишется уравнениями

$$\begin{aligned} \Delta P &= \frac{\partial P}{\partial \delta} \Delta \delta + \frac{\partial P}{\partial E_d} \Delta E_d, & (1) \\ \Delta P &= \frac{\partial P}{\partial \delta} \Big|_{\text{при } E_d = \text{const}} \cdot \Delta \delta + \frac{\partial P}{\partial E_d'} \Delta E_d', & (2) \\ M p^2 \Delta \delta &= -\Delta P, & (3) \\ T_0 p \Delta E_d' &= \Delta E_{de} - \Delta E_d, & (4) \\ \Delta E_{de} &= \frac{\partial \varphi}{\partial \delta} \Delta \delta + \frac{\partial \varphi}{\partial E_d} \Delta E_d. & (5) \end{aligned} \quad (I)$$

Обозначения — общепринятые.

Предположим, что в рассматриваемой задаче закон механического движения, выражаемый (3), не влияет на устойчивость, и что его можно не учитывать. Примем к рассмотрению, таким образом, некоторую упрощенную систему, которая обладает тем свойством, что появлению малейшего избытка мощности, отдаваемой генератором в систему, сопутствует немедленное изменение угла генератора, при котором избыток мощности будет ликвидирован. Это соответствует тому, что постоянная инерции M принимается равной нулю. Избыток мощности ΔP также всегда остается равным нулю, и все свободные процессы протекают при неизменной активной мощности генератора.

Уравнения упрощенной системы получаются из системы (I), если положить $M=0$.

Новая система уравнений будет:

$$\begin{aligned} \frac{\partial P}{\partial \delta} \Delta \delta + \frac{\partial P}{\partial E_d} \Delta E_d &= 0, & (6) \\ \frac{\partial P}{\partial \delta} \Big|_{\text{при } E_d = \text{const}} \cdot \Delta \delta + \frac{\partial P}{\partial E_d'} \Delta E_d' &= 0, & (7) \\ T_0 p \Delta E_d' &= \Delta E_{de} - \Delta E_d, & (8) \\ \Delta E_{de} &= \frac{\partial \varphi}{\partial \delta} \Delta \delta + \frac{\partial \varphi}{\partial E_d} \Delta E_d. & (9) \end{aligned} \quad (II)$$

В пределе, когда угол δ стремится к нулю, упрощенная система совпадает с действительной.

Установим, как отличаются условия устойчивости упрощенной и действительной системы.

Условия устойчивости для действительной системы:

$$a_1 > 0, \quad a_3 > 0, \quad a_1 a_2 - a_3 > 0,$$

где

$$a_1 = \frac{1}{T_d'} \left(1 - \frac{\partial \varphi}{\partial E_d} \right),$$

$$a_2 = \frac{1}{M} \cdot S_{E_d},$$

$$a_3 = \frac{1}{M T_d'} \left[S_{E_d} - S_{E_d} \frac{\partial \varphi}{\partial E_d} + \frac{\partial P}{\partial E_d} \frac{\partial \varphi}{\partial \delta} \right].$$

$$\text{Здесь } S_{E_d} = \frac{\partial P}{\partial \delta} \text{ при } E_d = \text{const},$$

$$S_{E_d'} = \frac{\partial P}{\partial \delta} \text{ при } E_d' = \text{const и } T_d' = T_0 \frac{\frac{\partial P}{\partial E_d}}{\frac{\partial E_d}{\partial P}}.$$

Из сопоставления этих условий непосредственно следует, что если $a_2 < 0$, то режим будет неустойчив. Для принятой схемы системы и рассматриваемых типов регулирующих устройств это соотношение будет соответствовать такому большому углу, что S_{E_d} станет отрицательно.

Режимы за предельным углом заведомо неустойчивы. Ограничимся рассмотрением области $a_2 > 0$.

Для всех рассматриваемых схем регулирования, если соблюдены неравенства $a_3 > 0$ и $a_1 a_2 - a_3 > 0$, то будет соблюдено и неравенство $a_1 > 0$. Поэтому условия устойчивости сводятся к двум условиям:

$$1) \quad a_3 > 0 \text{ или } S_{E_d} - S_{E_d} \frac{\partial \varphi}{\partial E_d} + \frac{\partial P}{\partial E_d} \frac{\partial \varphi}{\partial \delta} > 0; \quad (10)$$

$$2) \quad a_1 a_2 - a_3 > 0. \quad (11)$$

Нарушение условия (10) приводит к нарушению устойчивости в форме аperiodически развивающегося процесса. Нарушение условия (11) влечет за собой самораскачивание.

Как показывают теоретический анализ, опыты и практика эксплуатации при режимах с относительно малыми углами, самораскачивание не возникает благодаря демпфирующему действию самого генератора и действию специальных успокоительных устройств регуляторов, которые для этой цели могут быть применены. Когда угол приближается к значению, для которого $S_{E_d} = 0$, демпфирование уже не предотвращает самораскачивания. Это можно объяснить [Л. 3], в частности, тем, что за некоторым пределом угла, близким к $S_{E_d} = 0$, зона, в которой нарушение условия (11) приводит к самораскачиванию, оказывается очень небольшой. Если при увеличении угла условие (11) нарушится и начнется самораскачивание, то при небольшом дальнейшем увеличении угла последующее протекание процесса будет уже аperiodическим. В этом случае демпфирование может лишь несколько замедлить развитие процесса нарушения устойчивости, но не может предотвратить его. Поэтому угол, при котором $S_{E_d} = 0$, может приближенно считаться тем пределом, за которым устойчивый режим при рассматриваемых видах регулирования не обеспечивается даже при влиянии демпферного действия и наличии успокоительных устройств.

Определяя известным образом устойчивость принятой нами упрощенной системы (II), получим одно условие устойчивости:

$$\left(S_{E_d} - S_{E_d} \frac{\partial \varphi}{\partial E_d} + \frac{\partial P}{\partial E_d} \frac{\partial \varphi}{\partial \delta} \right) \frac{\frac{\partial P}{\partial E_d}}{S_{E_d'}} > 0. \quad (12)$$

представленной самой себе без воздействия на нее каких-либо посторонних сил. В первый момент, очевидно, э. д. с. E'_d генератора, связанная с магнитным потоком, не изменится. Режим определится пересечением первоначальной характеристики Q_n и характеристики генератора при $E'_d = \text{const}$, проходящей через точку 2, т. е. точкой 3.

Определим, в каком направлении пойдет процесс после точки 3.

Пусть характеристика компаундирования Q_z совпадает с характеристикой Q_n , чему соответствует некоторое значение коэффициента компаундирования k'_i . В этом случае Q_z является кривой стационарных режимов и для точки 3 $\Delta E_{de} = \Delta E_d$.

Однако, положение кривой Q_z отлично от положения Q_n и оно находится в области коэффициентов компаундирования, меньших чем k''_i . Точке 3 соответствуют некоторые определенные значения ΔE_d и ΔI , зависящие от схемы сети и параметров генератора, но независимые от k'_i . Поэтому для меньшего значения k'_i и при одном и том же ΔI значение ΔE_{de} для точки 3 в действительности меньше, чем если бы коэффициент компаундирования был равен k''_i . Следовательно, для точки 3 $\Delta E_{de} < \Delta E_d$.

Из (4) следует, что E'_d начнет уменьшаться. При режиме с относительно малыми углами будет уменьшаться и U . Следовательно, после точки 3 процесс пойдет по кривой Q_n в направлении к исходной точке 1. По мере приближения к ней абсолютная величина разности $\Delta E_{de} - \Delta E_d$ уменьшается и вместе с ней скорость изменения режима будет уменьшаться. Процесс без колебаний будет стремиться к исходной точке.

Таким образом, отклонение от режима, обусловленное приложением внешних сил, после прекращения этих внешних воздействий исчезает. Следовательно, режим в точке 1 устойчив. Режим оказывается устойчивым, несмотря на то, что $\frac{\Delta Q}{\Delta U} > 0$. Следовательно, критерий устойчивости $\frac{dQ}{dU} < 0$ не дает в этой задаче правильного решения.

Рассмотрим случай, когда генератор обеспечен автоматическим регулированием напряжения, а компаундирование отсутствует. Если коэффициент регулирования $k_u = 0$, — характеристикой реактивной мощности генератора (так же, как и при компаундировании) будет кривая, соответствующая $t_d = \text{const}$.

При обычной настройке регуляторов напряжения понижению напряжения соответствует увеличение отдачи реактивной мощности и уве-

личение E_{de} . Следовательно, коэффициент регулирования обычно отрицателен. При некотором отрицательном значении этого коэффициента характеристика генератора изобразится, например, кривой Q'_z . По мере увеличения k_u в область отрицательных величин характеристика генератора, пройдя через положение Q''_z , приблизится к прямой $U = \text{const}$.

Если коэффициент регулирования k_u положителен, то когда k_u будет стремиться к $+\infty$, характеристика Q_z будет снова приближаться к прямой $U = \text{const}$, но с другой стороны.

Пусть характеристика Q_z для автоматического регулирования напряжения совпадает с рассмотренной характеристикой Q_z для компаундирования. Приложим, как ранее, к зажимам генератора дополнительную реактивную проводимость. После установления нового режима в точке 2 внезапно отнимаем эту реактивную проводимость. Режим перейдет снова в точку 3. Установим, в какую сторону пойдет процесс после точки 3. Если бы коэффициент регулирования был таков, что характеристика Q_z совпала с характеристикой Q_n , то для точки 3 мы имели бы $\Delta E_{de} = \Delta E_d$. Но рассматриваемая характеристика Q_z не совпадает с Q_n и расположена в области больших положительных значений k_u . Следовательно, в точке 3 для тех же значений ΔU и ΔE_d будем иметь $\Delta E_{de} > \Delta E_d$, так как $\Delta E_{de} = k_u \Delta U$. Отсюда следует, что E'_d будет увеличиваться. Увеличение E'_d влечет за собой увеличение U и процесс не будет возвращаться к исходной точке 1, а будет удаляться от нее, все более ускоряясь, — он будет неустойчив.

Мы пришли, таким образом, к тому важному выводу, что при одинаковых статических характеристиках, выражающих действие схемы компаундирования и устройства автоматического регулирования напряжения, состояние устойчивости обеих схем может оказаться различным. Таким образом, обнаружилась ошибочность положений И. И. Кодкина [Л. 4]. Он определяет эквивалентные компаундирование и регулирование напряжения, для которых $k_d \Delta I = k_u \Delta U$ и, следовательно, совпадают статические характеристики, и утверждает, что эти два устройства регулирования в отношении устойчивости генератора равноценны. Ошибка связана с тем, что он анализирует только стационарные режимы и принимает $\Delta E_{de} = \Delta E_d$.

Следует отметить, что предельные режимы для обоих рассматриваемых способов регулирования, отвечающие условию (10), совпадают. Это соответствует совпадению характеристик Q_z и Q_n . В то же время зоны устойчивой работы по обе стороны этого предельного режима

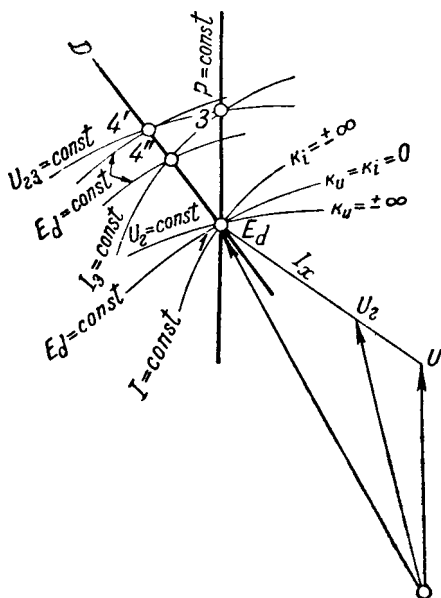


Рис. 2.

для компаундирования и регулирования напряжения в данном режиме генератора оказываются различными.

Чтобы еще раз подтвердить различное состояние устойчивости для компаундирования и для автоматического регулирования напряжения, рассмотрим задачу на векторной диаграмме (рис. 2).

Исходный режим, выражаемый концом вектора E_d , определяется точкой 1.

Характеристику регулирования — кривую изменения положения конца вектора E_d при изменении активной мощности генератора для стационарных режимов с учетом регулирования — изобразим кривой D. Эта кривая будет выражать как компаундирование, так и соответствующее ему автоматическое регулирование напряжения. Положение характеристики выберем так, чтобы она соответствовала большому значению коэффициента компаундирования, отвечающему повышающейся характеристике на диаграмме Q, U . При автоматическом регулировании напряжения такая характеристика будет получена при положительном значении коэффициента регулирования.

Проходящая через точку 1 окружность $E_d = \text{const}$ представит собой характеристику регулирования при $k_i = k_u = 0$; окружность $I = \text{const}$ — характеристику компаундирования при $k_i = \pm \infty$ и окружность $U = \text{const}$ — характеристику регулирования при $k_u = \pm \infty$.

Пусть система будет выведена по какой-либо причине из первоначального состояния и режим окажется в некоторой точке 3, для которой имеет место та же активная мощность, что и в исходном режиме. Проведем из точки 3 две кривые, определяющие изменение положения конца вектора E_d при $I = \text{const}$ и $U_2 = \text{const}$, до пересечения с характеристикой регулирования. Получим соответственно точки 4'' и 4'.

При компаундировании будем иметь $\Delta E_{de3} = \Delta E_{de4''}$, так как точки 3 и 4'' лежат на одной и той же кривой $I = \text{const}$. Для точки 4' $\Delta E_{de4'} = \Delta E_{de4''}$, так как эта точка лежит на характеристике регулирования. Как видно из рисунка $\Delta E_{de3} > \Delta E_{de4'}$.

Сопоставляя эти соотношения, получим, что при компаундировании для точки 3 $\Delta E_{de3} < \Delta E_{de4'}$. Следовательно, E_d в точке 3 будет уменьшаться и, как очевидно из диаграммы, режим точки 3 будет изменяться по вертикальной прямой $P = \text{const}$ по направлению к точке 1, иначе говоря, он будет устойчив.

При автоматическом регулировании напряжения будем иметь: $\Delta E_{de3} = \Delta E_{de4'}$, так как точки 3 и 4 лежат

на одной кривой $U = \text{const}$, $\Delta E_{de3} = \Delta E_{de4'}$, так как точка 4' лежит на характеристике регулирования. $\Delta E_{de3} > \Delta E_{de4'}$ — как видно из рисунка. Следовательно, при автоматическом регулировании напряжения $\Delta E_{de3} > \Delta E_{de4'}$ и E_d будет увеличиваться. Изменяясь по прямой $P = \text{const}$, режим будет удаляться от точки 1 — он будет неустойчив.

Итак, еще раз получаем, что совпадение статических характеристик компаундирования и автоматического регулирования напряжения не определяет одинаковое состояние устойчивости генератора.

Касаясь еще раз метода анализа по критерию $\frac{dQ}{dU} < 0$

и сопоставляя его с произведенным нами анализом устойчивости на диаграмме Q, U , следует отметить следующее их различие. Получая в некотором режиме избыток реактивной мощности ΔQ , мы не принимали, что это, безусловно, определяет повышение напряжения, а недостаток мощности — понижение напряжения, а проверяли это, исследуя знак $\Delta E_{de} - \Delta E_d$. Кроме того, обращалось внимание на то обстоятельство, что увеличение ΔE_d может повлечь за собой как увеличение, так и уменьшение ΔU .

Анализ по критерию $\frac{dQ}{dU} < 0$ является далеко не пол-

ным и не может быть рекомендован в тех случаях, когда устройства регулирования возбуждения имеют повышающиеся характеристики. Справедливость критерия $\frac{dQ}{dU} < 0$ определяется, следовательно, двумя условиями:

- 1) при $\frac{\Delta Q}{\Delta U} < 0$ в точках кривой Q_n при $\Delta U < 0$ ΔE_{de} будет больше ΔE_d и 2) $\frac{dE_d}{dU} > 0$.

Упрощенная схема не учитывает механические процессы в системе. Поэтому анализ устойчивости приведенным методом с определением знака разности $\Delta E_{de} - \Delta E_d$ и знака $\frac{\Delta E_d}{\Delta U}$, как показателей направления движения процесса, можно назвать определением устойчивости по критерию электромагнитных процессов. Очевидно, электромагнитные процессы учитываются в этом методе полностью.

В практических условиях повышающиеся характеристики регуляторов напряжения создаются введением в схему отрицательной токовой компенсации. Между трансформатором напряжения на зажимах генератора и измерительным органом регулятора включается сопротивление, обтекаемое током от трансформаторов тока генератора. Направление протекания тока осуществляется противоположное тому, которое имеет место при обычном включении компенсатора.

При надлежащем выборе фазы тока, подводимого к токовому компенсатору, отклонение напряжения на измерительном органе регулятора

$$\Delta U = \Delta U_2 - \Delta I_p Z,$$

где ΔI_p — приращение реактивного тока генератора, а Z — сопротивление токового компенсатора.

Закон регулирования будет:

$$\Delta E_{de} = k_u (\Delta U_2 - \Delta I_p Z). \quad (14)$$

Примем, что регулятор обеспечивает поддержание почти постоянного напряжения, подводимого к его измерительному органу, иначе говоря, что k_u отрицательно и очень велико — стремится к бесконечности. Пусть характеристика реактивного тока генератора, создаваемая этим регулятором, будет выражаться кривой Q_2 на рис. 1. Рассматривая на ней какую-либо точку, например 2, можем считать, что для нее ΔE_d будет конечной величиной. Заменяя в (14) ΔE_{de} на ΔE_d и учитывая, что k_u стремится к бесконечности, получим, что в точке 2

$$\Delta U_2 \approx Z \Delta I_p.$$

Когда возможно сочетание воздушной линии с кабельной сетью

Профессор С. А. БУРГУЧЕВ

МИМЭСХ

На практике весьма часто от работающей на довольно разветвленную кабельную сеть коммунальной или заводской электрической станции требуется осуществить снабжение электрической энергией отдельного пригородного или сельскохозяйственного района, расположенного в 15 ÷ 20 км от нее.

В целях удешевления стоимости электрификации в подобных случаях питание района желательно осуществить при помощи воздушной линии в 6 ÷ 10 кв. Однако, техническое руководство станции обычно воздерживается от подобного рода сочетаний воздушной линии с кабельной сетью и требует либо выполнения линии кабелем, либо в крайнем случае установки изолирующего трансформатора с коэффициентом трансформации 1:1. Это мотивируется тем, что при непосредственном сочетании кабельной сети с воздушной линией и при возникновении на линии замыканий какого-либо провода на землю могут иметь место повышенные токи замыкания на землю по сравнению с чистой кабельной сетью (в данном случае речь идет о сетях с изолированной нейтралью) и, что самое важное, могут значительно повыситься и потенциалы фаз по отношению к земле.

Однако, опасения, вполне справедливые, хотя и не всегда имеющие место в подобных случаях, к сожалению, не сопровождаются расчетами, обосновывающими необходимость предлагаемых мероприятий. Объясняется это тем, что предложенные в технической литературе трактовки этого вопроса и расчеты, связанные с ними, недостаточно конкретны и пользование ими на практике вызывает затруднения. Ниже делается попытка дать этому вопросу несколько иную трактовку и изложить ее в форме, удобной для практических целей.

Пусть к шинам станции, от которой питается достаточно большая кабельная сеть, присоединяется воздушная линия (рис. 1). Пусть в какой-либо точке P воздушной линии происходит замы-

Рассматривается вопрос о возможности сочетания воздушных линий с кабельной сетью. Доказывается, что при практически встречающихся рабочих длинах воздушных линий на 6 ÷ 10 кв сочетания подобного рода не должны вызывать препятствий с точки зрения коммутационных перенапряжений при замыканиях на землю в воздушной линии даже в том случае, когда токи замыкания на землю при повреждениях в самой кабельной сети достигают величины порядка 40 а. Предполагается, что как в чистой кабельной сети, так и в смешанной замыкания на землю не сопровождаются перемежающейся дугой.

кание одного провода на землю. Спрашивается, насколько в этом случае ток замыкания на землю, а также потенциалы фаз могут оказаться выше, чем в случае чистой кабельной сети, и в каком случае они могут достигнуть своей максимальной величины, учитывая, что длина поврежденного

участка может меняться в пределах от $l=0$ (случай повреждения на шинах) до l — полной длине воздушной линии (случай замыкания в конце линии).

Нетрудно заметить, что случай этот может быть уподоблен замыканию одной фазы системы на землю через некоторое сопротивление $Z = zl$, представляющее полное сопротивление петли провод—земля поврежденного участка воздушной линии. В частном случае, когда $l=0$, мы имеем картину замыкания на землю в чистой кабельной сети. Как известно, ток замыкания на землю в подобных случаях легко может быть определен, исходя из следующих простых рассуждений.

Напряжения в месте замыкания на землю U_{AK} , U_{BK} , U_{CK} могут быть выражены следующим образом:

$$\begin{aligned} \dot{U}_{AK} &= -I_3 z l = \dot{U}_A - \dot{U}_A - I_3 z l; \\ \dot{U}_{BK} &= \dot{U}_B - \dot{U}_A - I_3 z l; \\ \dot{U}_{CK} &= \dot{U}_C - \dot{U}_A - I_3 z l, \end{aligned} \quad (1)$$

где $\dot{U}_A$, $\dot{U}_B$, $\dot{U}_C$ — фазные напряжения источника энергии;

z — полное сопротивление 1 км петли провод-земля;

l — длина поврежденного участка воздушной линии;

I_3 — ток замыкания на землю.

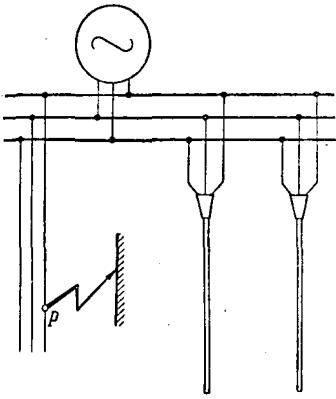


Рис. 1.

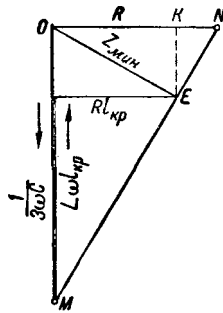


Рис. 2.

Симметричные составляющие напряжения в месте короткого замыкания для большой фазы

$$\begin{aligned} \dot{U}_{AK-0} &= -[\dot{U}_A + I_3 z l]; \quad \dot{U}_{AK-1} = \dot{U}_A; \\ \dot{U}_{AK-2} &= 0. \end{aligned} \quad (2)$$

Симметричные составляющие тока в большой фазе

$$\begin{aligned} I_{A-0} &= -[\dot{U}_A + I_3 z l] j \omega C = \frac{1}{3} I_3; \\ I_{A-1} &= \dot{U}_A \cdot j \omega C; \quad I_{A-2} = 0. \end{aligned} \quad (3)$$

Наконец, решая первое уравнение системы (3) относительно тока замыкания на землю I_3 , имеем:

$$I_3 = \frac{-3 \dot{U}_A \cdot j \omega C}{1 + 3 j \omega C z l}$$

или

$$I_3 = \frac{-3 \dot{U}_A j \omega C}{1 + 3 j \omega C (R + j L \omega) l}, \quad (4)$$

где R — активное сопротивление 1 км петли провод — земля;

$L \omega$ — реактивное сопротивление 1 км петли провод — земля.

В свою очередь:

$$R = r + \pi^2 f; \quad (5)$$

$$L \omega = 0,1451 \lambda \frac{D_g}{r_g}, \quad (6)$$

где r — активное сопротивление 1 км провода поврежденного участка линии;

D_g — эквивалентная глубина возврата тока через землю;

r_g — эквивалентный радиус провода.

Величину D_g можно вычислить по формуле

$$D_g = -\frac{2,085}{\sqrt{f \lambda \cdot 10^{-9}}} \cdot 10^{-3},$$

где f — частота в гц;

λ — удельная проводимость земли в $(\text{ом} \cdot \text{см})^{-1}$.

Среднее значение D_g при $f = 50$ гц обычно принимается равным $D = 1000$ м.

r_g — для сплошных круглых проводников из немагнитного материала — $0,78 r_n$, для витых

медных проводов — $0,72 - 0,77 r_n$, для алюминиевых проводов со стальной жилой — $0,95 r_n$, где r_n — истинный радиус провода.

Возвращаясь к уравнению (4), перепишем его в следующем виде:

$$I_3 = -\dot{U}_A \cdot \frac{1}{\frac{1}{3 j \omega C} + R l + j L \omega l}. \quad (7)$$

Полагая, что емкостное сопротивление цепи в уравнении (7) остается постоянным, легко заметить, что величина тока замыкания на землю I_3 будет изменяться в зависимости от длины l поврежденного участка воздушной линии и достигнет максимальной величины тогда, когда знаменатель уравнения (7) или, иначе говоря, полное сопротивление цепи $Z = \frac{1}{3 j \omega C} + R l + j L \omega l$, будет минимально.

Графически минимальное значение Z при меняющейся длине поврежденного участка воздушной линии легко может быть найдено при помощи следующего элементарного построения, имея вычисленными R и $L \omega$ на 1 км заданной воздушной линии.

Задаваясь различными длинами поврежденного участка и строя графически результирующее полное сопротивление Z , заметим, что конец вектора Z (рис. 2) будет перемещаться по прямой MN . Точка M на линии MN будет соответствовать случаю повреждения на шинах ($l = 0$), а N — случаю, когда $\frac{1}{3 \omega C} = L \omega l$. Нетрудно заметить, что минимальному значению Z будет соответствовать перпендикуляр, опущенный из точки O на прямую MN , т. е. OE . Опуская перпендикуляр из точки E на линию активных сопротивлений ON , мы найдем в масштабе величину активного сопротивления OK , соответствующего минимальному полному сопротивлению $Z_{\min}$, обусловленного исключительно активным сопротивлением петли поврежденного участка. Наконец, зная активное сопротивление 1 км петли, мы найдем и ту длину $l_{кр}$ поврежденного участка, при котором будет иметь место наибольшее значение тока замыкания на землю.

Назовем эту длину критической длиной поврежденного участка по току в отличие от критической длины по напряжению, о чем будет сказано ниже.

Зная длину $l_{кр}$ и подставляя ее в уравнение (7), мы можем вычислить и максимальное значение тока замыкания на землю. Как будет показано ниже, значение $I_{3, \max}$ мы можем определить и графически.

Теперь определим, как изменятся потенциалы фаз системы по отношению к земле в случае возникновения повреждения в различных точках воздушной линии.

Принимая отрезок LA , соответствующий известной нам уже критической длине по току $I_{кр}$ за 100%, мы можем длину участков во всех остальных случаях выражать в долях от $I_{кр}$.

Допустим, что в конце воздушной линии, имеющей длину AL' , произошло замыкание на землю. Спрашивается, чему будут равны ток замыкания на землю и потенциалы фаз по отношению к земле.

Проводя из точки O через точку L' луч OE' и соединяя точку E' с точками A , B и C , мы сразу же в определенном масштабе найдем потенциалы всех трех фаз системы. Масштабом для них, как уже было сказано, будет служить отрезок OA , равный фазному напряжению.

Далее отрезок OE , пропорциональный току I_3 , будет выражать величину последнего, масштабом для которого может служить диаметр окружности, соответствующий $I_{3 макс}$.

Однако, масштабом может служить и отрезок $OA = U_\phi = I_3 / 3\omega C$ и пропорциональный току замыкания на землю в случае повреждения на шинах станции или в чистой кабельной сети.

Таким образом, можно было не производить приведенных выше вычислений $I_{3 макс}$, а определить последний при помощи заданного тока замыкания на землю в чистой кабельной сети.

Проиллюстрируем все изложенное выше примером.

Допустим, что в конце идущей в район воздушной линии 10 кВ, имеющей длину 20 км, произошло замыкание одного провода на землю. Линия выполнена из медных проводов сечением 50 мм². Спрашивается, какова будет величина тока замыкания на землю и каковы будут потенциалы фаз по отношению к земле, если ток замыкания на землю в случае повреждения в кабельной сети будет равен: а) 40 а; б) 10 а.

Прежде всего найдем по заданному току замыкания на землю емкостное сопротивление кабельной сети (емкостью воздушной линии пренебрегаем). Оно будет в первом случае равно:

$$\frac{1}{3\omega C} = \frac{U_\phi}{I_3} = \frac{10\,000}{\sqrt{3} \cdot 40} = 144,5 \text{ ом},$$

во втором случае

$$\frac{1}{3\omega C} = \frac{10\,000}{\sqrt{3} \cdot 10} = 578 \text{ ом}.$$

Теперь предварительно найдем величины R и $L\omega$ для петли провод—земля. Принимая радиус проводов в среднем равным 5 мм, имеем:

$$r_s = \frac{0,72 \cdot 5}{1\,000} = 3,62 \cdot 10^{-3} \text{ м}.$$

В качестве среднего значения D_g примем $D_g = 1\,000 \text{ м}$. Тогда

$$X_g = 0,145 \lg \frac{1\,000}{3,62 \cdot 10^{-3}} \approx 1,1 \text{ ом/км};$$

$$R = r + \pi^2 f \cdot 10^{-4} = 0,33 + 0,05 = 0,44 \text{ ом/км}.$$

Производя построения, аналогичные рис. 3, найдем, что $I_{кр}$ по току в первом случае (при $I_3 = 40 \text{ а}$) будет равно 115 км, а во втором случае (при $I_3 = 10 \text{ а}$) — 460 км.

6*

Подставляя найденные значения $I_{кр}$ в уравнение (7), где все остальные члены нам уже известны, найдем. $I_3 = 104 \text{ а}$, в первом случае и 26 а во втором случае.

Мы видим, что если бы воздушная линия имела длину, равную $I_{кр}$, и замыкание произошло бы в конце линии, то повышение тока по сравнению с чистой кабельной сетью равнялось бы

$$k = \frac{104}{40} = 2,6$$

и

$$k = \frac{26}{10} = 2,6.$$

Однако, при напряжении сети 10 кВ не могут иметь места столь большие длины воздушных линий: рабочие длины действительных линий значительно короче критических. В нашем случае $l = 20 \text{ км}$.

Ток замыкания в этом случае также легко можно было бы найти по выражению (7). Он будет равен в первом случае 47 а, а во втором — 11,75 а. Однако, для определения потенциалов фаз необходимо построить диаграмму рис. 3. Заодно мы графически можем найти и ток замыкания на землю.

Предварительно нужно определить угол $\varphi = \arctg \frac{L\omega}{R}$. В нашем случае, при сечении провода 50 мм², будем иметь:

$$\tg \varphi = \frac{1,10}{0,45} = 2,4.$$

Построив круговую диаграмму и принимая отрезок AL в первом случае за $l_k = 115 \text{ км}$, а во втором — за $I_{кр} = 460 \text{ км}$, откладываем на нем от точки A в соответствующем масштабе $l = 20 \text{ км}$ и, проводя луч OE_2 , находим точку E_2 , соответствующую потенциалу земли. Что касается потенциалов фаз, то они определяются отрезками AE_2 , BE_2 и CE_2 , масштабом для которых будет служить отрезок фазного напряжения $OA = U_\phi$.

В первом случае (при токе $I_3 = 40 \text{ а}$) имеем:

$$\begin{aligned} E_2 A &= 0,2 U_\phi; \\ E_2 B &= 1,81 U_\phi; \\ E_2 C &= 1,92 U_\phi. \end{aligned}$$

Во втором случае

$$\begin{aligned} E_2 A &= 0,05 U_\phi; \\ E_2 B &= 1,74 U_\phi; \\ E_2 C &= 1,78 U_\phi. \end{aligned}$$

Что касается тока, то он будет определяться длиной отрезка $OE_2 = \frac{I_3}{3\omega C}$, который пропорционален току замыканий на землю в этом случае.

Масштабом же для токов может служить либо диаметр окружности

$$OE = \frac{I_{3 макс}}{3\omega C}, \text{ либо } OA = U_\phi = \frac{I_3}{3\omega C},$$

пропорциональный I_3 , — току замыкания на землю в случае повреждения на шинах станции или в кабельной сети, а в нашем случае равному или 40 а (первый случай) или 10 а (второй случай).

Отсюда мы видим, что, собственно говоря, можно было бы и не производить вычислений по определению $I_{3 макс}$, а за масштаб принять отрезок $OA = I_3$ для чистой кабельной сети.

Из полученных выше результатов мы видим, что в первом примере напряжение на фазе C повышается на 0,19 U_ϕ по сравнению с напряжением при замыкании на землю в чистой кабельной сети, а во втором случае — всего лишь на 0,05 U_ϕ . Но если учесть, что при за-

мыканиях на землю через омическое сопротивление даже в чистой кабельной сети в известных случаях потенциал одной из фаз может достигнуть величины $1,82 U_\phi$, то во втором случае (при $I_\Sigma = 10 \text{ а}$) можно сказать, что никакое повышение потенциала по сравнению с чистой кабельной сетью не будет иметь места, а в первом случае при $I_\Sigma = 40 \text{ а}$ превышение потенциала в фазе С составит всего лишь $1,92 U_\phi - 1,82 U_\phi = 0,1 U_\phi$.

Из вышеизложенного мы приходим к выводу,

что при встречающихся рабочих длинах воздушных линий на $6 \div 10 \text{ кВ}$ сочетание их с кабельной сетью не должно встречать никаких препятствий с точки зрения коммутационных перенапряжений при замыканиях на землю в воздушной сети даже в том случае, когда ток замыкания на землю в самой кабельной сети достигает величины, порядка 40 а .

[19. 9. 1949]



Безреостатный пуск маломощных шунтовых электродвигателей постоянного тока в автономных установках

Доктор техн. наук, проф. Н. П. ЕРМОЛИН

Ленинградский электротехнический институт им. Ульянова (Ленина)

В связи с автоматизацией управления рабочими процессами и механизмами в ряде отраслей промышленности и в установках дистанционного управления, широкое применение получили различные маломощные электродвигатели в диапазоне мощностей от нескольких единиц до сотен ватт. В приводе механизмов дистанционного управления и в других установках большое значение имеют маломощные электродвигатели постоянного тока. Эти двигатели в большинстве своем обычно работают в кратковременном или повторно-кратковременном режиме с рабочим периодом в пределах 1—5 мин. и частом реверсировании. В некоторых случаях частота пуска и реверса их в секунду получается настолько высокой, что они практически работают почти в непрерывном неустановившемся режиме.

В автономных электрических установках постоянного тока с весьма ограниченной мощностью источника энергии при питании двигателей, работающих в основном в неустановившихся режимах, важное значение приобретает проблема ограничения толчков тока при частых пусках и реверсах двигателя и повышения к. п. д. его. Решение этой проблемы связано с правильным выбором типа двигателя в отношении продолжительности режима работы в соответствии с заданным графиком. Как показано ниже, двигатель постоянного тока для продолжительного режима работы с высоким к. п. д., будучи использованным в условиях частых пусков и реверсов, имеет высокую кратность пускового тока и значительно увеличенные потери в меди обмотки якоря по сравнению с номинальным его режимом. Наоборот, двигатель той же мощности, но для кратковременного режима работы, — с высоким использованием активных материалов, имеет меньший вес и габариты и значительно меньшие кратности пускового

Рассматривается безреостатный пуск и реверс маломощных шунтовых электродвигателей постоянного тока в установках ограниченной мощности. Исследуются кратности пусковых токов и средние потери в меди обмоток якорей в зависимости от типа двигателя по его продолжительности режима работы. Результаты исследования иллюстрируются числовыми примерами и опытными данными.

тока и средние потери в меди по сравнению с предыдущим двигателем.

Уравнения процессов пуска и реверса. При аналитическом исследовании переходных процессов в маломощных шунто-

вых двигателях постоянного тока с предварительной включенной в сеть обмоткой возбуждения влиянием реакции якоря и вихревых токов магнитной системы на процессы пуска и реверса практически можно пренебречь. В самом деле, процесс коммутации маломощных двигателей благодаря отсутствию в них добавочных полюсов и положению щеток на геометрической нейтрали всегда является замедленным. Возникающая в этом случае реакция коммутационных токов короткозамкнутых секций якоря, как известно, усиливает поле полюсов и, следовательно в основном компенсирует размагничивающее действие поперечной реакции якоря. Ввиду этого результирующее влияние суммарной реакции якоря на поле полюсов оказывается незначительным, что подтверждается осциллограммами шунтового тока возбуждения при безреостатном пуске маломощных двигателей, показывающими небольшое изменение этого тока (рис. 1 и 2).

Если при этих допущениях и предположении линейной зависимости момента сопротивления на валу от скорости вращения составить уравнения равновесия э. д. с. для цепи якоря и моментов на валу двигателя, то после соответствующих преобразований получаются следующие уравнения процессов пуска и реверса указанных двигателей в относительных единицах [Л. 4]:

$$\left. \begin{aligned} \frac{di_a}{dt} &= -\frac{\varepsilon_a}{T_a} i_a - \frac{1}{T_a} \omega + \frac{\varepsilon_u - \varepsilon_{\omega}}{T_a}, \\ \frac{d\omega}{dt} &= \frac{1}{T_m} i_a - \frac{\varepsilon_m}{T_m} \omega - \frac{\varepsilon_{\omega 0}}{T_m}, \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

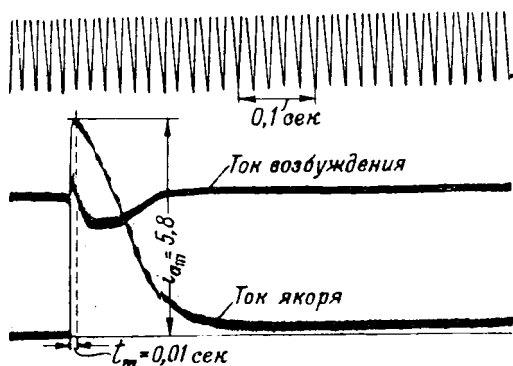


Рис. 1. Осциллограмма безреостатного пуска электродвигателя 25 вт, 25 в, 6000 об/мин.

где i_a и ω — относительные значения тока и угловой скорости вращения якоря в долях номинальных значений, $u = 1$ — при безреостатном пуске двигателя, $u = -1$ — при реверсе его. Остальные обозначения даны [Л. 4].

Решение уравнений (1) имеет вид [Л. 4]: при аperiodическом процессе

$$\begin{cases} i_a = \eta + \alpha_1 e^{s_1 t} + \alpha_2 e^{s_2 t} \\ \omega = \zeta + \gamma_1 e^{s_1 t} + \gamma_2 e^{s_2 t} \end{cases} \quad (2a)$$

при периодическом процессе

$$\begin{cases} i_a = \eta + \alpha_0 e^{\lambda t} \sin(\nu t - \delta), \\ \omega = \zeta + \gamma_0 e^{\lambda t} \sin(\nu t + \psi). \end{cases} \quad (26)$$

Максимум тока якоря при пуске и реверсе двигателя наступает по истечении времени, определяемого из условия $\frac{di_a}{dt} = 0$; тогда получается: при аperiodическом процессе

$$t_m = \frac{2,3}{s_1 - s_2} \lg \left(- \frac{s_2 \alpha_2}{s_1 \alpha_1} \right) \quad (3a)$$

и амплитуда тока

$$i_{am} = \eta + \alpha_1 e^{s_1 t_m} + \alpha_2 e^{s_2 t_m}; \quad (4a)$$

при аperiodическом процессе

$$t_m = \frac{\arctg \left(- \frac{\nu}{\lambda} \right) - \delta}{\nu} \quad (36)$$

и амплитуда тока

$$i_{am} = \eta + \alpha_0 e^{\lambda t_m} \sin(\nu t_m + \delta). \quad (46)$$

Сравнение расчета с опытом. Двигатель 25 вт, 25 в, 2,7 а, 6000 об/мин. Пуск двигателя производился без нагрузки на валу и установившаяся скорость вращения его составляла 8200 об/мин (рис. 1). Данные двигателя следующие: $U = 25$ в; $E_0 = c \Omega_0 \Phi_a = 24$ в; $\Phi_a = 0,0405 \cdot 10^6$ мкс; $c = 0,688 \cdot 10^{-6}$; $\Omega_0 = 860$ 1/сек; $r_a = 1,11$ ом; $L_a = 0,0062$ гн; $M_{c0} = 0,00137$ кгм; $M = 0$; $GD^2 = 0,6 \cdot 10^{-4}$ кгм²; $a_{uc} = 1,0$ в; $b_{uc} = 0,2$ в. Параметры и постоянные времени [Л. 4]: $\epsilon_a = 0,133$; $\epsilon = 1,04$; $\epsilon_{uc} = 0,04$; $\epsilon_{m0} = 0,18$; $\epsilon_m = 0$; $T_a = 0,0007$ сек.; $T_m = 0,172$ сек. Тогда соответствующие коэффициенты [Л. 4] будут:

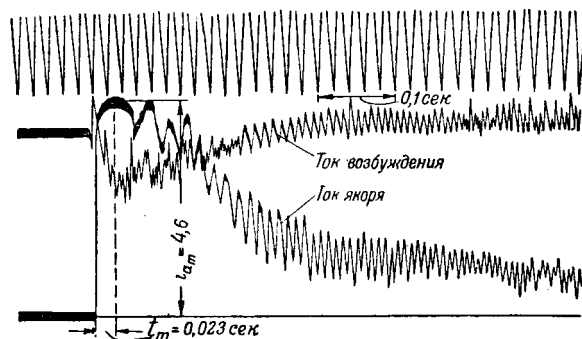


Рис. 2. Осциллограмма безреостатного пуска электродвигателя 60 вт, 25 в, 7500 об/мин.

$$s_1 = -68,5; s_2 = 121,5; \eta = 0,18; \alpha_1 = +26,6; \alpha_2 = -26,78.$$

Уравнение пускового тока якоря по уравнению (2a) в относительных единицах примет вид:

$$i_a = 0,18 + 26,6 \cdot e^{-68,5t} - 26,78 \cdot e^{-121,5t} \quad (2a')$$

Нарастание пускового тока до максимума по (3a) происходит за время $t_m = 0,011$ сек., тогда как по опыту (рис. 1) $t_m = 0,010$ сек.; превышение расчетного значения времени t_m над опытным составляет 10%. Кратность максимума тока по (4a) составляет $i_{am} = 5,7$, а по опыту (рис. 1) $i_{am} = 5,8$; расчетное значение i_{am} менее опытного на 2%.

Двигатель 60 вт, 26 в, 5 а, 7500 об/мин. При пуске двигателя без нагрузки на валу, установившаяся скорость вращения его составляла 11000 об/мин (рис. 2). Данные двигателя следующие: $U = 26$ в; $E_0 = 24$ в; $\Phi_a = 0,0425 \times 10^6$ мкс; $c = 0,49 \cdot 10^{-6}$; $\Omega_0 = 1150$ 1/сек; $r_a = 0,94$ ом; $L_a = 0,0062$ гн; $M_{c0} = 0,00298$ кгм; $M = 0$; $GD^2 = 2,68 \cdot 10^{-4}$ кгм²; $a_{uc} = 1,2$ в; $b_{uc} = 0,2$ в. Параметры и постоянные времени [Л. 4]: $\epsilon_a = 0,204$; $\epsilon = 1,08$; $\epsilon_{uc} = 0,05$; $\epsilon_{m0} = 0,28$; $\epsilon_m = 0$; $T_a = 0,00125$ сек; $T_m = 0,60$ сек. Соответствующие коэффициенты будут [Л. 4]: $s_1 = -8,5$; $s_2 = -154,5$; $\eta = 0,28$; $\alpha_1 = +5,42$; $\alpha_2 = -5,70$.

Уравнение пускового тока якоря по (2a) в относительных единицах примет вид:

$$i_a = 0,28 + 5,42 \cdot e^{-8,5t} - 5,70 \cdot e^{-154,5t} \quad (2a'')$$

Нарастание пускового тока до максимума по (3a) происходит за время $t_m = 0,020$ сек., по опыту (рис. 2) $t_m = 0,023$ сек; расчетное значение t_m менее опытного на 15%. Кратность максимума тока по (4a) составляет $i_{am} = 4,5$, по опыту (рис. 2) $i_{am} = 4,6$; расчетное значение i_{am} менее опытного на 2%.

Сравнение условий пуска двигателей продолжительного и кратковременного режимов работы. Как указывалось выше, условия безреостатного пуска маломощных электродвигателей продолжи-

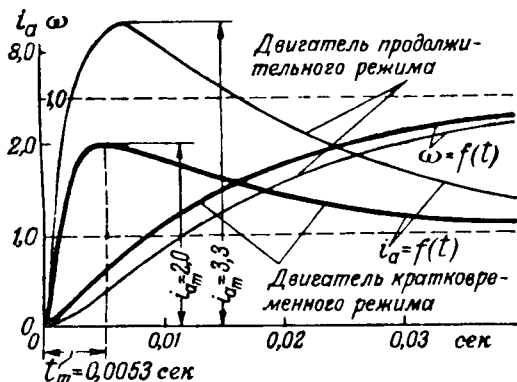


Рис. 3. Безреостатный пуск шунтовых электродвигателей постоянного тока 12 Вт, 26 В, 6 000 об/мин.

тельного режима работы являются менее благоприятными, чем двигателей кратковременного режима. В целях сравнения этих условий ниже приводится расчет безреостатного пуска при номинальной нагрузке на валу двух маломощных двигателей постоянного тока по 12 Вт, 26 В, 6 000 об/мин, отличающихся лишь продолжительностью режимов работы.

Данные двигателя продолжительного режима работы:

$U = 26$ В; $I_a = 1,2$ А; $E = c \Phi_a = 19,0$ В; $\Phi_a = 0,0261 \cdot 10^6$ мкс; $c = 0,975 \cdot 10^{-6}$; $r_a = 5,8$ Ом; $L_a = 0,0135$ Гн; $M_{c0} = 0,00116$ кгм; $M = 0,00195$ кгм; $GD^2 = 0,13 \cdot 10^{-4}$ кгм²; $D_a = 1,95$ см; $l_0 = 4,5$ см (размеры якоря).

Данные двигателя кратковременного режима работы (до 1 мин.): $U = 26$ В; $I_a = 1,4$ В; $E = 14,5$ В; $\Phi_a = 0,0144 \cdot 10^6$ мкс; $c = 1,47 \cdot 10^{-6}$; $r_a = 7,2$ Ом; $L_a = 0,0119$ Гн; $M_{c0} = 0,00152$ кгм; $M = 0,00195$ кгм; $GD^2 = 0,068 \cdot 10^{-4}$ кгм²; $D_a = 1,95$ см; $l_0 = 2,0$ см. По (2а) и [Л. 4] для этих двигателей получаются следующие уравнения пускового тока и угловой скорости якоря в относительных единицах: для двигателя продолжительного режима

$$\begin{aligned} i_a &= 1 + 3,85 \cdot e^{-57t} - 4,85 \cdot e^{-383t}, \\ \omega &= 1 - 1,18 \cdot e^{-57t} + 0,18 \cdot e^{-383t}, \end{aligned} \quad (2a')$$

для двигателя кратковременного режима

$$\begin{aligned} i_a &= 1 + 1,62 \cdot e^{-63t} - 2,62 \cdot e^{-561t}, \\ \omega &= 1 - 1,065 \cdot e^{-63t} + 0,065 \cdot e^{-561t}. \end{aligned} \quad (2a'')$$

На рис. 3 представлены кривые тока и угловой скорости якоря по уравнениям (2а') и (2а''). Как показывают эти кривые, кратность пускового тока двигателя продолжительного режима составляет 3,3, а кратковременного режима той же мощности — 2,0, или на 40 % меньше.

Средние потери в меди обмоток якорей двигателей в период пуска за время, в течение которого скорость вращения якоря достигает примерно 95 % номинальной ($t_1 \approx 3T_1 = \frac{3}{s_1}$) составляют в двигателе продолжительного режима

$$\begin{aligned} P_{м.ср} &= \frac{1}{t_1} \int_0^{t_1} i_a^2 r_a dt = 64 \text{ Вт или в } \frac{P_{м.ср}}{I_a^2 r_a} = \\ &= \frac{64}{1,2^2 \cdot 5,8} = 7,7 \text{ раза} \end{aligned}$$

больше его потерь при номинальном токе; в двигателе кратковременного режима

$$P_{м.ср} = 52 \text{ Вт или в } \frac{52}{1,4^2 \cdot 7,8} = 2,8 \text{ раза больше}$$

его потерь при номинальном токе. В целом же эти потери на 19 % меньше, чем в предыдущем случае. Вместе с этим ввиду меньшего махового момента данного двигателя нарастание скорости вращения его согласно рис. 3 происходит быстрее, чем двигателя продолжительного режима.

Выводы. 1. Результаты расчета пускового тока маломощных шунтовых электродвигателей постоянного тока при безреостатном пуске по уравнению (2) — (4) вполне согласуются с опытом.

2. При использовании маломощных электродвигателей в автономных установках с ограниченной мощностью источника энергии при условии частых пусков и реверсов для уменьшения толчков тока и средних потерь в меди обмоток следует применять двигатели с возможно высоким использованием активных материалов в пределах, допускаемых условиями нагрева.

Литература

1. А. М. Эфрос. Пуск, реверс и торможение двигателей постоянного тока. ВЭП, № 10, 1937.
2. С. Б. Юдицкий. Безреостатный пуск двигателей постоянного тока. Электричество, № 12, 1938.
3. В. Т. Касьянов. Расчет процессов пуска, торможения, реверса и регулирования скорости и нагрузки электродвигателя постоянного тока. ВЭП, № 10, 1944.
4. Н. П. Ермолин. Переходные процессы в машинах постоянного тока. Диссертация. ЛЭТИ, 1947.
5. C. Trettin. Безреостатный пуск больших двигателей постоянного тока. ETZ, т. 30, 31, 32, стр. 759, 794, 822, 1912.
6. W. Linke. Безреостатный пуск больших двигателей постоянного тока. ETZ, т. 47, 46, стр. 453, 465, 1918.

[30. 8. 1949]



Исследование теплопередачи в электрических машинах

Кандидат техн. наук, доц. В. В. ЕНЬКО и кандидат техн. наук, доц. П. Д. ЛЕБЕДЕВ

Московский энергетический институт им. Молотова

Мощность и габариты современных электрических машин ограничиваются, главным образом, нагревостойкостью изоляционных материалов и температурными напряжениями, возникающими при неравномерном нагреве обмоток. Нагревание электрических машин является одним из наиболее существенных вопросов эксплуатации и электромашиностроения.

Вопрос о теплопроводности материалов, применяемых в электромашиностроении, достаточно хорошо изучен и освещен в литературе. Между тем, вопрос о теплоотдаче поверхностей, омываемых охлаждающим воздухом, не может еще считаться изученным.

Опубликованные в литературе формулы и кривые для определения коэффициентов теплоотдачи к движущемуся воздуху от обмоток электрических машин относятся к некоторым искусственным условиям. Эти условия лишь в известной мере соответствуют реальной машине в части процессов охлаждения в вентиляционных радиальных и аксиальных каналах, но плохо отражают действительные условия охлаждения лобовых частей обмоток.

Характер завихрений воздуха в лобовых частях обмотки статора реального генератора может существенно отличаться от завихрений для случая короткой трубы (отверстия). При экспериментировании в аэродинамической трубе степень турбулентности самого набегающего потока также значительно ниже, и условия опыта становятся еще менее подобными условиям в реальной машине в области лобовых частей.

Весьма существенным является также вопрос о том, к какой скорости охлаждающего воздуха относить коэффициенты теплоотдачи с поверхности лобовых частей обмотки. В практике электромашиностроения принято исходить из средней

Приведены результаты экспериментального исследования теплоотдачи лобовых частей статорной обмотки. Исследования производились над элементами обмотки, установленными в синхронном генераторе, а также и в аэродинамической трубе. Опыты проводились при различных скоростях воздуха. Исследования показали, что формулы, полученные авторами, а также и другими исследователями на основании эксперимента в аэродинамической трубе, неприменимы для расчета теплоотдачи лобовых частей статорных обмоток. Это объясняется тем, что в действительных условиях в области лобовых частей обмоток статора наблюдается значительная турбулентность потока. В результате настоящих исследований в реальном генераторе получены более точные формулы.

скорости в узком сечении. Средняя скорость определяется делением расхода воздуха на живое сечение. Охлаждающая способность воздуха при вычисленной таким образом скорости будет, очевидно, зависеть от конфигурации лобовых частей обмотки.

Задачей настоящей работы являлась подготовка методики исследования вопроса о теплопередаче в

лобовых частях обмотки статора генераторов переменного тока.

Эксперименты были проведены не только в аэродинамической трубе, но и на действующем однофазном генераторе мощностью 170 ква, в свободных пазах которого были монтированы специальные «лобовые секции». Работа проводилась в Московском энергетическом институте им. Молотова под общим руководством доктора техн. наук, проф. Г. Н. Петрова.

Исследование в аэродинамической трубе. Исследование теплоотдачи лобовых частей обмоток в аэродинамической трубе проводилось с целью выявить разницу между теплоотдачей лобовых частей в аэродинамической трубе и в экспериментальном генераторе, а также с целью установления особенностей теплоотдачи лобовых частей обмоток и их отличия от теплоотдачи гладких труб, для которых имеются многочисленные опытные и практические данные.

Аэродинамическая труба, показанная на рис. 1, имела живое сечение 250×250 мм и длину 4 м. Она присоединялась с помощью переходных патрубков и резинового шланга к всасывающему патрубку вентилятора системы Косточкина. Скорость воздушного потока изменялась путем регулирования скорости шунтового двигателя постоянного тока, который с помощью ременного привода вращал вентилятор. Измерение скорости воздуха осуществлялось с помощью трубки Прандтля, расположенной на расстоянии

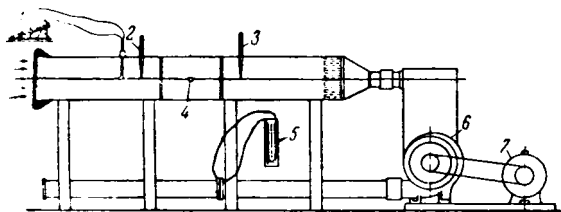


Рис. 1. Схема аэродинамической трубы.

1 — измер скорости воздуха; 2 — измер температуры воздуха на входе; 3 — на выходе; 4 — электрокалориметр; 5 — измер расхода воздуха; 6 — вентилятор; 7 — двигатель постоянного тока.

425 мм от плавно очерченного по лемнискате входа в трубу. Трубка присоединялась к микроманометру с переменным уклоном. Кроме того, скорость воздуха в аэродинамической трубе определялась по расходу воздуха через острую диафрагму, установленную на выбросной трубе диаметром 100 мм. Это позволяло замерять малые скорости в аэродинамической трубе, которые не могли определяться трубкой.

Распределение малых скоростей по сечению аэродинамической трубы и около лобовых частей обмоток в экспериментальном генераторе проверялось электроанемометром.

Устройство и схема электроанемометра показаны на рис. 2. Принцип действия электроанемометра следующий: платиновая нить накаливается электрическим током от аккумуляторной батареи. Температуру нагрева нити воспринимает горячий спай термопары, приваренной к платиновой нити. Холодный спай термопары имеет при этом постоянную температуру воздушного потока. Если

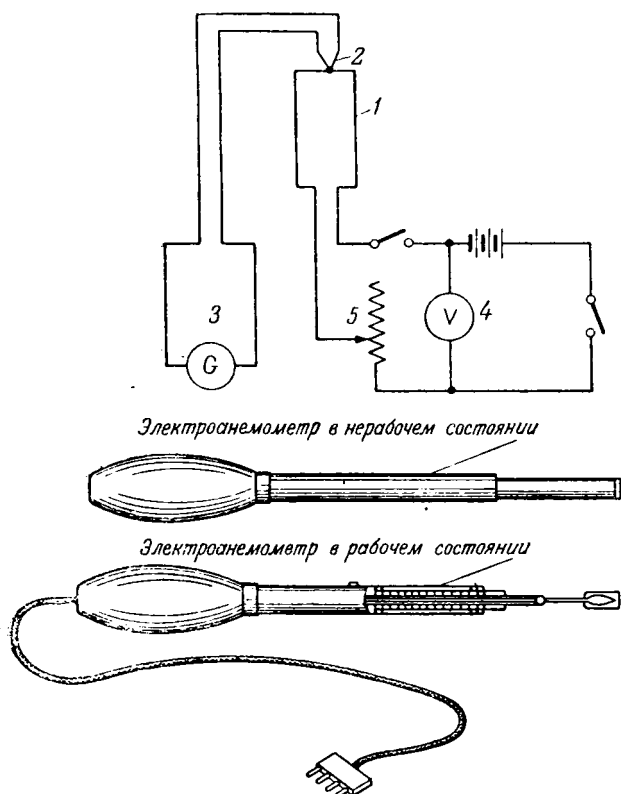


Рис. 2. Схема и устройство электроанемометра для измерения малых скоростей потока воздуха.

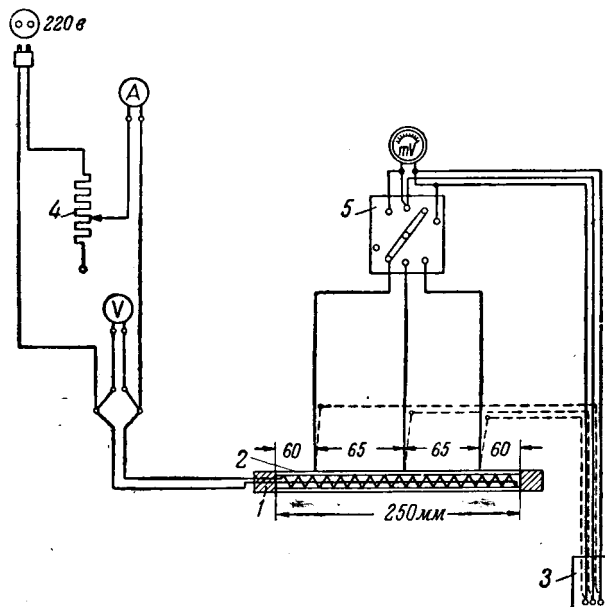


Рис. 3. Схема электрокалориметра.

1 — электрокалориметр; 2 — термопара; 3 — сосуд Дьюара, 4 — реостат; 5 — переключатель.

скорость воздушного потока близка к нулю, то нить нагреется до максимально допускаемой температуры. С повышением скорости температура нити при том же токе будет уменьшаться. По изменению температуры нити можно измерять скорость путем регистрации при помощи гальванометра разности потенциалов термопары. Тарировка электроанемометра производилась в аэродинамической трубе трубкой Прандтля. Нить накала 1 и нагревалась до 300—350°С постоянным током от двухвольтового аккумулятора. Температура нагрева платины определялась термопарой 2 (медь — константан) по гальванометру 3. Холодные спай находились при температуре потока воздуха. Диаметр проводов нити накала и термопары медь — константан равнялся 0,05 мм, длина нити накала 10—12 мм. Помимо этого в схему был включен реостат 5 для поддержания тока в нити накала электроанемометра, а также вольтметр 4 для контроля напряжения аккумулятора.

Степень турбулентности воздушного потока в аэродинамической трубе определялась с помощью специально спроектированного и изготовленного термоанемометра с осциллографом.

В аэродинамической трубе были исследованы теплоотдача гладкой и изолированной (киперной лентой) трубки и теплоотдача макета лобовой части обмотки статора экспериментального генератора. Испытуемая латунная трубка представляла собой электрокалориметр, схема которого показана на рис. 3. Внутрь ее вставлялся электрический нагреватель из нихромовой проволоки диаметром 0,5 мм, равномерно намотанной на фарфоровую трубку. К концам нагревателя присоединялись две пары медных проводов для раздельного присоединения цепей тока и напряжения. Спираль электрокалориметра питалась переменным током. Измерение мощности, поглощаемой спиралью, производилось по амперметру и

вольтметру с контролем по ваттметру. Все эти измерительные приборы были класса 0,5. Температура теплоотдающей поверхности измерялась с помощью термопар медь — константан диаметром 0,5 мм, рабочий спай которых в зависимости от условий эксперимента закреплялся различно, например, путем припайки к поверхности трубки или заделки заподлицо с поверхностью трубки, или припайке к медной пластинке, прикрепляемой к испытываемой поверхности. Концы термопар выводились через торец электрокалориметра к зажимам переключателя. Термопары располагались по длине трубки в точках, указанных на рис. 3. Одна термопара устанавливалась в лобовой, другая в кормовой и третья на тангенциальной поверхности трубки относительно потока воздуха. Холодный спай термопар помещался в сосуд Дьюара, наполненный тающим льдом. Для измерения напряжения термопар служил милливольтметр со шкалой на 4 мВ.

Макет лобовой части бифилярно намотанной обмотки обогревался переменным током при напряжении 12 в. Места установки термопар и методика измерения сохранялись теми же, что и при измерениях на трубке.

Экспериментальные работы в аэродинамической трубе были проведены в следующем порядке. Вначале в аэродинамической трубе была изучена теплоотдача латунной трубки диаметром 22 мм в поперечном потоке воздуха с термопарами, запаянными в отверстия заподлицо с наружной поверхностью трубки и с выводом концов термопар внутри трубки. Этот способ установки термопар применяется в большинстве аналогичных экспериментов и дает наиболее точные результаты. На рис. 4 прямая 1 соответствует экспериментальным данным по теплоотдаче, полученным при этих условиях. Полученные результаты этого опыта согласуются с результатами М. А. Михеева и Л. С. Эйгенсона [Л. 1].

При исследовании теплоотдачи лобовых частей обмоток электрических машин не представляется возможным осуществить описанный способ скрытой установки термопар. Во всех последующих экспериментах как в аэродинамической трубе, так и в опытном генераторе горячий спай термопар припаивался к медной пластинке диаметром 15—18 мм. Эта пластинка приклеивалась к поверхности испытываемого элемента нагревостойким лаком. При такой схеме провода термопары искажают воздушный поток, и термопара показывает более высокое значение коэффициента теплоотдачи, так как она создает дополнительные завихрения воздуха и сама им лучше охлаждается. На рис. 4 кривая 2 показывает один из результатов исследования коэффициентов теплоотдачи гладкой трубки при установке термопар на наружной поверхности трубки. Сравнение коэффициентов теплоотдачи для этого случая (кривая 2) с предыдущим (кривая 1) показывает, что в данном случае они выше на 5—7%.

Теплоотдача изолированной поверхности обмоток отличается от теплоотдачи гладкой металлической поверхности, но по этому вопросу нет единого мнения. Например, считают, что коэффи-

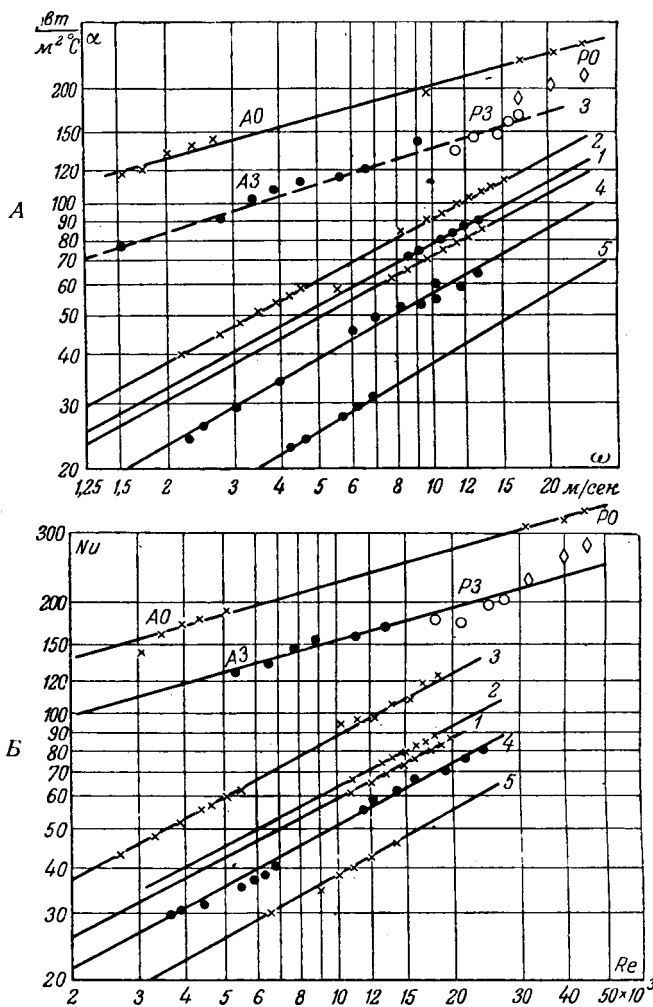


Рис. 4. Результаты экспериментов по теплоотдаче в аэродинамической трубе и в генераторе.

А — испытания в аэродинамической трубе. 1 — теплоотдача латунной трубки с термопарами, заделанными заподлицо с поверхностью трубки; 2 — то же с термопарами, припаянными к поверхности трубки; 3 — теплоотдача латунной трубки, обмотанной киперной лентой; 4 — макет лобовой части в поперечном потоке воздуха; 5 — при продольном потоке воздуха. Б — теплоотдача элемента лобовых частей в генераторе. АЗ — теплоотдача со стороны аксиального вентилятора при закрытых торцевых крышках; АО — при открытых крышках; РЗ и РО — теплоотдача со стороны радиального вентилятора.

циент теплоотдачи шероховатой [Л. 2] поверхности обмоток в два раза больше, чем коэффициент теплоотдачи трубки. В книге Рихтера [Л. 3], наоборот, приводится график, показывающий, что коэффициент теплоотдачи гладкой латуни больше латуни, покрытой изоляцией.

Для выяснения этого вопроса были проведены эксперименты с той же латунной трубкой, покрытой изоляцией в виде киперной ленты. Экспериментальная кривая 3 показывает увеличение коэффициента теплоотдачи латунной трубки, покрытой изоляцией, по сравнению со случаями для кривых 1 и 2.

Теплоотдача гладкой и изолированной киперной лентой латунной трубки отличается от теплоотдачи лобовой части обмотки, которая имеет прямоугольную форму и для которой характерна разница в распределении температур по ее длине.

Для установления разницы в коэффициентах теплоотдачи был изготовлен и испытан в аэро-

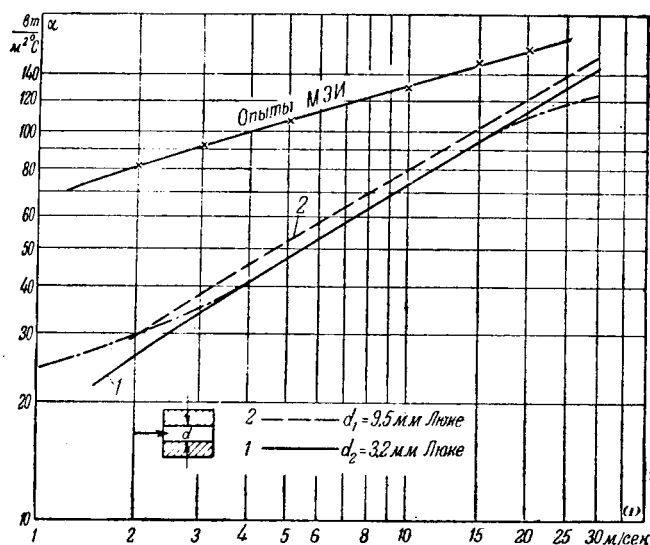


Рис. 6. Рекомендуемые кривые [Л. 4] и опытные кривые МЭИ.

мопар. Этот метод позволил определить действительную среднюю взвешенную температуру поверхности секции по всей секции и найти поправочный коэффициент для средней взвешенной температуры, определяемой по средней из показаний пяти термомпар, установленных на постоянных местах во всех последующих опытах. Все режимы производились в течение времени, необходимом для достижения установившегося теплового состояния экспериментальной секции при максимальной температуре внутри ее порядка 90–100°С. В течение всего периода измерений ток в секции поддерживался постоянным.

Всего было произведено 35 тепловых режимов; 27 основных и 8 вспомогательных. Основные режимы дали весь необходимый материал для определения коэффициентов теплоотдачи при различных скоростях и условиях вентиляции, а дополнительные послужили для установления соотношения между средней, по пяти термомпарам, и «действительной средней взвешенной» температурами поверхности лобовой части секции обмотки. Для того чтобы возможно более полно охватить различные условия завихрения воздушного потока, опыты производились как при одетых, так и при снятых торцевых крышках.

На рис. 4 нанесены кривые, полученные на основе результатов этих опытов. Все значения коэффициентов теплоотдачи отнесены к средним скоростям в узком месте. Необходимо сделать следующее замечание к построению кривой РО для теплоотдачи лобовой части обмотки со стороны радиального вентилятора при снятых (открытых) крышках. Исследование направления потока воздуха около обмоток в этом случае показало, что он поступает к секциям под углом 40°, поэтому была введена поправка на этот угол атаки и экспериментальные точки, обозначенные ромбиками (на рис. 4), соответственно перемещены по вертикали вверх и обозначены крестиками, которые показывают, что при открытых крышках кривые АО и РО, так же как и при закрытых крышках, кривые АЗ и РЗ имеют

одинаковую зависимость коэффициента теплоотдачи от скорости.

Анализ полученных результатов показывает, что теплоотдача лобовых частей обмоток в генераторе (верхние кривые АО, РО и РЗ) значительно превышает теплоотдачу в аэродинамической трубе как для макета лобовой части обмотки — кривая 4, так и теплоотдачу гладкой трубки и трубки, покрытой киперной лентой. Кроме того, теплоотдача лобовых частей обмоток значительно выше, чем по экспериментальным кривым [Л. 4], и имеет совершенно другой характер зависимости коэффициента теплоотдачи от скорости воздушного потока.

Коэффициент теплоотдачи по [Л. 4] согласно рис. 6 при скорости в 3 м/сек составляет 39 Вт/м²·°С, а по экспериментальным данным при закрытых крышках он равен 96; при скоростях в 25 м/сек разница значительно меньше: по данным Люке — 140 Вт/м²·°С, а по нашим экспериментам 180 Вт/м²·°С. Для случая теплоотдачи при открытых крышках разница при малых скоростях воздуха между данными Люке и нашими опытами еще выше.

Обработка результатов опытов. В результате обработки экспериментальных материалов в критериях подобия были получены следующие расчетные формулы, которые сведены в таблицу:

Зависимость коэффициента теплоотдачи α ($\frac{Вт}{^{\circ}С м^2}$), от средней скорости воздушного потока (м/сек)

Наименование исследуемого объекта	Экспериментальные формулы для α	Критерияльная* зависимость $Nu = CRe^n$
I. Аэродинамическая труба		
Гладкая трубка (термомпары заподлицо с наружной поверхностью)	$21w^{0,54}$	$0,345Re^{0,55}$
То же термомпары припаяны к поверхности трубки	$22,5w^{0,54}$	$0,415Re^{0,55}$
То же трубка, обмотанная киперной лентой	$26,5w^{0,54}$	$0,56Re^{0,55}$
Лобовая часть обмотки в поперечном потоке воздуха	$16w^{0,54}$	$0,306Re^{0,55}$
То же в продольном потоке воздуха	$10w^{0,59}$	$0,2Re^{0,57}$
II. Экспериментальный генератор		
Лобовые части обмотки при закрытых крышках	$68w^{0,31}$	$10,9Re^{0,29}$
То же при открытых крышках	$110w^{0,27}$	$19,5Re^{0,28}$

Эксперименты, как показывает рис. 4, проводились при значениях критерия $Re=2\,000 \div 4\,000$.

* Nu —критерий Нуссельта, равный $\frac{\alpha d}{\lambda}$; Re —критерий Рейнольдса, равный $\frac{w d}{\nu}$; d —гидравлический диаметр, м; λ —коэффициент теплопроводности, Вт/м·°С; ν —кинематическая вязкость, м²/сек.

Сравнение приведенных выше критериальных формул теплоотдачи в аэродинамической трубе и в экспериментальном генераторе показывает, что при теплоотдаче в аэродинамической трубе показатель степени n в формулах выше (угол наклона кривых больше), но коэффициент C меньше, чем в формулах для коэффициента теплоотдачи в экспериментальном генераторе. Это означает, что влияние степени турбулентности на теплоотдачу лобовых обмоток в генераторе особенно велико при малых значениях скоростей и затухает с повышением скорости. Однако, при всех скоростях воздуха коэффициент теплоотдачи в генераторе выше, чем в аэродинамической трубе, что можно объяснить различной структурой пограничного слоя около лобовых частей.

Формулы, полученные при испытаниях в аэродинамической трубе, согласуются с результатами многих экспериментальных работ (М. А. Михеева, Л. С. Эйгенсона, Райера и др.) [Л. 1]. Необходимо подчеркнуть, что все формулы относятся к тем условиям, которые были в наших экспериментах, и не претендуют на универсальность. Как выше уже было указано, задачей настоящей работы являлось подготовка к исследованию в работающих генераторах большой мощности. Только эти намечаемые нами исследования должны дать значения коэффициентов теплоотдачи, которые могут быть непосредственно применены в практических расчетах турбо- и гидрогенераторов с двухслойной обмоткой и корзиночным расположением лобовых частей.

Закключение. 1. Проведенные исследования показали, что для расчета теплоотдачи лобовых частей обмотки статора синхронных генераторов неприменимы формулы, полученные в аэродинамической трубе. Это относится к формулам, полученным как в настоящей работе, так и другими авторами при изучении теплообмена в поперечном потоке воздуха пучков или одиночных труб или других каких-либо элементов.

2. В действительных условиях в области лобовых частей обмоток статора наблюдается значительная турбулентность потока охлаждающего воздуха. Это усиленная турбулентность обуславливает высокие коэффициенты теплоотдачи — более высокие, чем до сих пор было принято считать. Влияние усиленной турбулентности сказывается

особенно эффективно при малых значениях средней скорости воздуха. В результате опытов в экспериментальном генераторе получены следующие оригинальные формулы для коэффициентов теплоотдачи:

лобовые части обмотки при закрытых крышках

$$\alpha = 68w^{0,31} \text{ или } Nu = 10,9 Re^{20,9};$$

лобовые части обмотки при открытых крышках

$$\alpha = 110w^{0,27} \text{ или } Nu = 19,5 Re^{0,28}.$$

Формулы относятся к витковой концентрической обмотке (неравносекционная) с расположением лобовых частей в двух непараллельных плоскостях.

3. В дальнейшем предполагается изучить и структуру пограничного слоя при различной степени турбулентности набегающего потока и проверить на действующем турбогенераторе влияние диффузора на коэффициент теплоотдачи лобовых частей статорных обмоток.

4. Общая методика, разработанная и примененная в настоящей работе, может быть использована при исследовании мощных турбо- и гидрогенераторов. Вместо лобовых секций в этих случаях намечено применить специальные нагревательные элементы в форме дисков («гривенника»), которые будут располагаться в различных участках вблизи лобовых частей генераторной обмотки. Эти элементы испытаны в условиях описанного выше экспериментального генератора и дали результаты, тождественные с теми, которые получены при испытании лобовых секций.

Литература

1. М. А. Михеев. Основы теплопередачи. Госэнергоиздат, стр. 110, 1947.
2. А. Я. Буйлов. Основы электроаппаратостроения. Госэнергоиздат, стр. 143, 1947.
3. Р. Рихтер. Электрические машины. ОНТИ, стр. 317, фиг. 284, 1935.
4. Liwischitz und Raymond. Zur Frage der Erwärmung elektrischer Maschinen. Wissenschaftliche Veröffentlichungen aus dem Siemens-Konzern, т. 12, стр. 64, № 2, 1933. Лившиц. Электрические машины, Расчет и определение размеров, т. III. ОНТИ. 1936.

[12. 10. 1949]



К вопросу проектирования схем управления сблокированными механизмами литейных цехов

Инж. С. И. ОГОРОДНОВ

г. Горький

Электрооборудование машиностроительных заводов с массовым или крупносерийным производством должно удовлетворять всем требованиям технологии производства того или иного цеха или участка.

В зависимости от производственных условий и возможностей цеха управление такими системами применяется централизованное со специальных пультов или местное непосредственно с рабочего участка, или даже отдельного механизма.

Правильный выбор схем управления и блокировки, простота и наглядность их, хорошая конструкция пультов и щитов управления являются наиболее важными факторами в обеспечении достаточно надежной и бесперебойной работы цеха, простоты ухода и обслуживания и достижения минимального расхода аппаратуры и монтажных материалов. В условиях послевоенного восстановления и развития промышленности экономия денежных средств, материалов, аппаратуры, оборудования, а также сокращение сроков проектирования, строительства и монтажа имеют первостепенное значение.

В работе попутно с кратким описанием трех схем управления земледельными системами крупных литейных цехов проводится их сравнение в свете степени сложности проектирования и монтажа, обслуживания и надежности в работе.

Схема блокировки Клекнер. Схема содержит следующие элементы электрооборудования (рис. 1).

Пульт управления, на котором размещены кнопочные станции для управления двигателями, сигнальные лампы, добавочные сопротивления к ним, «аварийный стоп» для всей системы в целом и кнопочная станция для управления деблокирующим контактором.

Силовой щит, на котором смонтированы общие силовые шины трехфазного переменного тока на-

В современных литейных цехах с их механизированными землеприготовительными системами, формовочными и заливочными конвейерами, системами удаления отходов и пр. по роду производства отдельные механизмы и даже системы находятся в специфической зависимости от работы соседних с ними звеньев. При разработке электрооборудования (например электропривода) для литейных цехов приходится предусматривать специальные схемы питания и управления, блокировки и контроля за работой таких механизмов и целых систем, обслуживающих большие производственные участки. Здесь сделана попытка осветить некоторые вопросы проектирования, монтажа и эксплуатации на примерах схем электрооборудования и блокировки земледельных систем, разработанных для литейных цехов советских заводов.

пряжением 380 в, групповые предохранители, контакторы (магнитные пускатели) отдельных двигателей и деблокирующий контактор для питания цепей управления во время наладки, проверки и ремонта отдельных механизмов.

Выключатели, установлены непосредственно на рабочих участках.

На рис. 1, 2 изображена силовая сеть и сеть

управления только нескольких электродвигателей; для других двигателей (соответственно с технологическим потоком) схема представляет полную аналогию.

Общая для всех кнопок управления (работающих в технологическом потоке двигателей) фаза *S* (рис. 1, 2) подается от сети переменного тока 380 в через общий «аварийный стоп», а на каждый последующий электродвигатель фаза *S* подается от соответствующего контактора предыдущего механизма.

Например, для сети управления двигателем 2 фаза *S* берется от зажима контактора двигателя 1 и т. д. Для возможности проведения ремонтных работ, наладки и регулирования механической и электрической части отдельных элементов блокировки имеется специальный деблокирующий контактор, через который фаза *S* подается непосредственно в сеть управления электродвигателем каждого механизма данной заблокированной системы, благодаря чему в указанном случае имеется возможность пускать и останавливать отдельные механизмы в любой последовательности.

Управление этим контактором осуществляется с пульта управления при помощи специальной кнопочной станции, а отключение всей системы в аварийном случае производится также с пульта управления отдельной кнопкой.

Напряжение силовой сети электродвигателей, также сети управления в рассматриваемой схеме принято равным 380 в. В течение более чем 15 лет

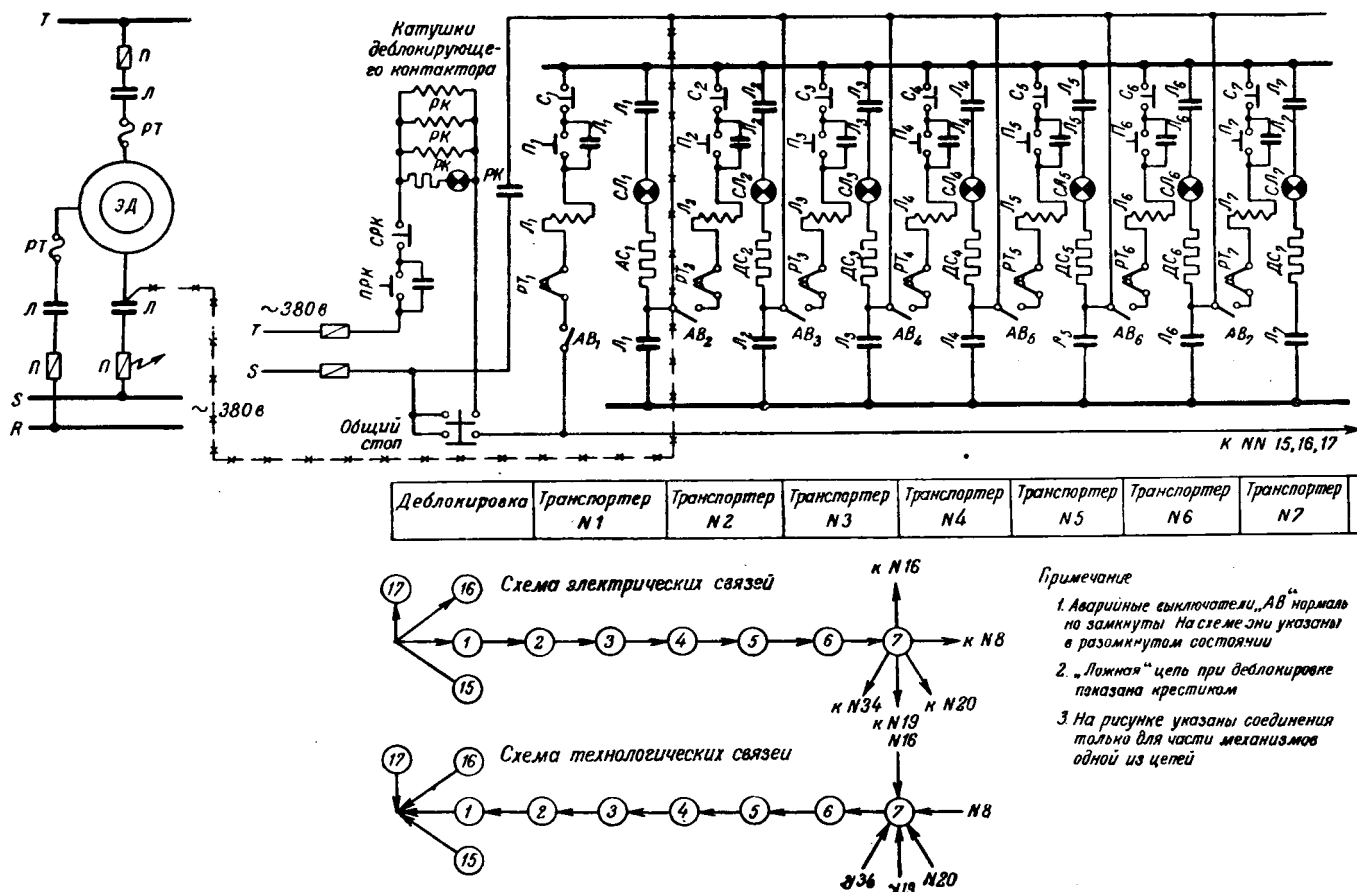


Рис. 1. Развертка схемы блокировки Клекнер.

работы цеха каких-либо особых ненормальностей, связанных с применением для сети управления напряжения 380 в, не наблюдалось. Система работает достаточно исправно, без особых осложнений, связанных с несчастными случаями.

Для сигнальных ламп в рассматриваемой схеме принято напряжение 220 в, что потребовало применения дополнительных сопротивлений. Сопротивления были размещены в пульте управления. В результате стремления придать пульту управления компактную конструкцию внутренний монтаж пульта получился очень тесным, что, конечно, следует отнести к одному из недостатков схемы и конструктивной части пульта. По этой причине имеют место загорания проводов вследствие большой их скученности и тесноты на зажимах, помещенных внутри пульта.

Вторым серьезным недостатком схемы является наличие «ложных цепей», вследствие чего двигатели некоторых механизмов могут работать даже при перегорании предохранителя в одном из фазных проводов, в особенности при включенном деблокирующем контакторе. Например, при выгорании вставки на фазе S силовой сети двигателя 1 термическое реле контактора 1 не отключит электродвигатель из-за перегрузки двух других фаз, так как «обесточенная» предохранителем фаза S силовой сети двигателя получит питание по проводам сети управления (отмеченным крестиком на рис. 1, 2) от пускателя следующего по порядку двигателя 2 и т. д.

В результате неисправность в сети двигателя 1 не будет своевременно обнаружена, что может повести к нежелательным последствиям в работе. Такие случаи наблюдались, и цех не гарантирован от них в будущем. В процессе эксплуатации в описываемую схему было внесено упрощение, которое значительно упростило и облегчило ее эксплуатацию.

В первоначальном виде схема Клекнер имела реле времени и барабанный контроллер для автоматического пуска всех заблокированных механизмов от одной кнопки, что значительно усложняло схему и затрудняло обслуживание, не давая каких-либо преимуществ. Эта часть схемы в процессе эксплуатации была упразднена. В настоящее время пуск каждого из заблокированных механизмов производится с пульта отдельной кнопкой, что не только не ухудшает работу схемы, а наоборот, способствует повышению дисциплины лиц, обслуживающих пульты, их внимательности и требует уверенности в исправности каждого элемента схемы.

Резюмируя все сказанное о схеме блокировки Клекнер, можно сделать следующие выводы:

1. Схема в измененном виде достаточно проста и при работе не вызывает больших перебоев.
2. Принятое для сети управления напряжение 380 в вполне себя оправдало.
3. Для монтажа системы (особенно в измененном ее виде) потребовалось сравнительно небольшое число приборов, аппаратов, электропро-

Конструкция пульта управления получилась довольно простой, не загроможденной внутри, что значительно облегчает обслуживание.

Электрооборудование помещения пульта управления сблокированными механизмами состоит из пульта управления, выполненного из листовой стали, и силового щита, на котором монтированы контакторы, силовые предохранители трехфазного тока, общие шины и зажимные сборки для цепей управления. На пульте управления установлены кнопочные станции отдельных механизмов, сигнальные лампы, аварийный «стоп» и кнопка деблокирующего контактора. Внутри шкафа пульта помещаются зажимные сборки для подключения проводов сети управления.

Таким образом, конструктивная часть состоит из небольшого числа несложного оборудования вследствие простоты схемы и отсутствия всякого рода дополнительных и вспомогательных приборов, аппаратов и пр.

Рассматриваемая схема блокировки очень проста и экономична по затратам аппаратуры и материалов. Работа схемы достаточно ясна из приведенного рисунка и дополнительных пояснений не требует.

Схема работает вполне надежно и в процессе ее эксплуатации никаких ненормальностей не наблюдалось ни с технической стороны, ни со стороны безопасности обслуживания, хотя для сети управления и используется напряжение 380 в.

По числу всякого рода приборов, аппаратов, проводов и других материалов, при прочих равных условиях, данная схема выгодно отличается от рассмотренной выше схемы Клекнер.

Схема Горьковского завода надежнее схемы Клекнер, так как в ней отсутствуют ложные цепи.

Схема блокировки Электропрома. Для литейного цеха одного из автозаводов Электропром разработал проект электрооборудования механизмов земледельных систем. В частности, и схема управления сблокированными элементами была также запроектирована этой организацией.

В отличие от разобранных выше схема Центроэлектромонтажа значительно сложнее в проектировании, монтаже и эксплуатации.

Помимо основных — силовой и сети управления — в рассматриваемой схеме имеется еще несколько других вспомогательных цепей, для каждой из которых принято чуть ли не свое собственное напряжение и род тока. Появилась поэтому необходимость в применении большого числа всевозможных дополнительных приборов и аппаратов, а число проводов получилось настолько большим, что при размещении схемы даже на бумаге (на чертежах) проектантам пришлось преодолеть значительные трудности, не говоря уже о трудностях и сложности монтажа.

По проекту Электропрома в состав электрооборудования системы сблокированных механизмов входит: 1) пульт управления со щитом световой сигнализации; 2) щит силовых шин трехфазного тока с плавкими предохранителями; 3) щит силовых моторных контакторов; 4) релейный щит; 5) панель реле аварийного отключения; 6) зажимная сборка деблокирующих выключате-

лей; 7) центральная зажимная сборка; 8) двигатель-генератор постоянного тока.

Перечисленные элементы оборудования территориально взаимно удалены. Поэтому на каждом щите, пульте, панели и т. д. пришлось предусматривать отдельные зажимные сборки кроме отмеченных выше в перечне основного оборудования.

В результате одна и та же цепь, обходя все зажимные сборки от одного элемента оборудования к другому, делает петли под полом пультного помещения, что влечет за собой увеличение числа проводов и их протяженности.

Помимо этого для питания разного рода цепей: силовых, управления, звуковой и световой сигнализации, защиты и т. д., в схеме принято несколько напряжений и видов тока (табл. 1), что еще более усложнило систему.

Таблица 1

Назначение цепи	Род тока	Напряжение, в
Силовая двигательная	Переменный	380
Магнитные барабаны	Постоянный	220
Управление двигателями	Переменный	220
Промежуточные реле	Переменный	110
Звонки, сирены	Переменный	110—125
Световая сигнализация	Переменный	40

Обслуживание таких блок-систем весьма затруднено. При наличии очень большого числа зажимов и при случайном неправильном подключении концов нарушается правильная работа. Отыскание причин неисправности в таких случаях является очень сложной задачей.

В этой схеме возможно появление «ложных» цепей, нечеткая работа автоматики и сигнализации, а может быть даже «прилипание» контактов вследствие больших емкостных токов в цепях управления большой протяженности проводов.

Приведенное беглое описание, а также сравнения рис. 3, 4, 5 показывают, что схема очень громоздка, ненаглядна, трудно читается, в особенности эксплуатационным персоналом, дорогая и требует много оборудования, аппаратуры, проводов и других материалов.

Например, схема электрических соединений системы сблокированных механизмов размещается на 9 листах и при монтаже каждый узел обычно собирается самостоятельно, но для полного представления проверки и увязки отдельных звеньев системы между собой приходится иметь всегда перед собой полный комплект чертежей.

Если сравнить две последние схемы блокировки по числу используемых напряжений, то, как видно из табл. 2, за схемой проектного отдела Горьковского автозавода остается бесспорное преимущество.

Из табл. 2 видно, что для схемы блокировки, выполненной Горьковским автозаводом, требуется одна система трехфазного тока с линейным напряжением 380 в и фазовым 220 в.

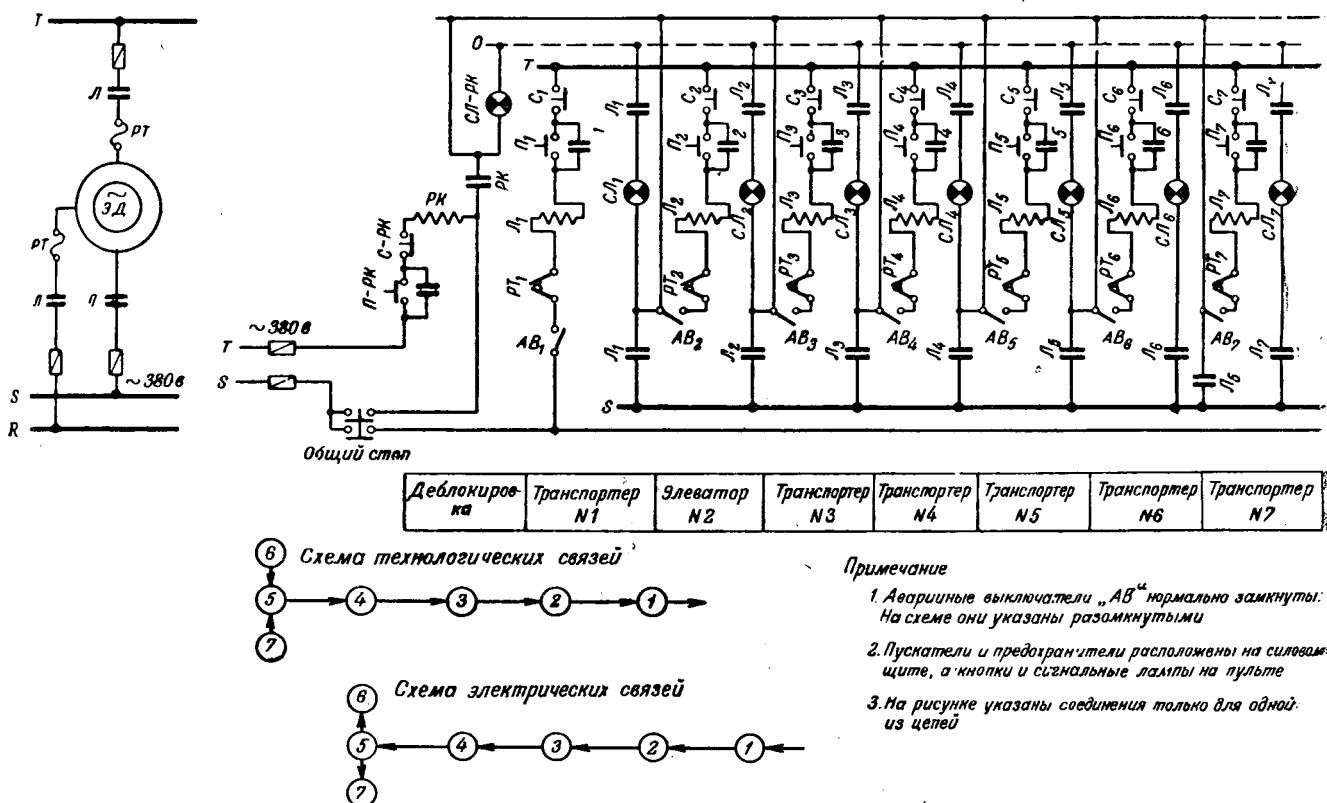


Рис. 3. Развернутая схема управления заблокированными механизмами по системе Горьковского автозавода.

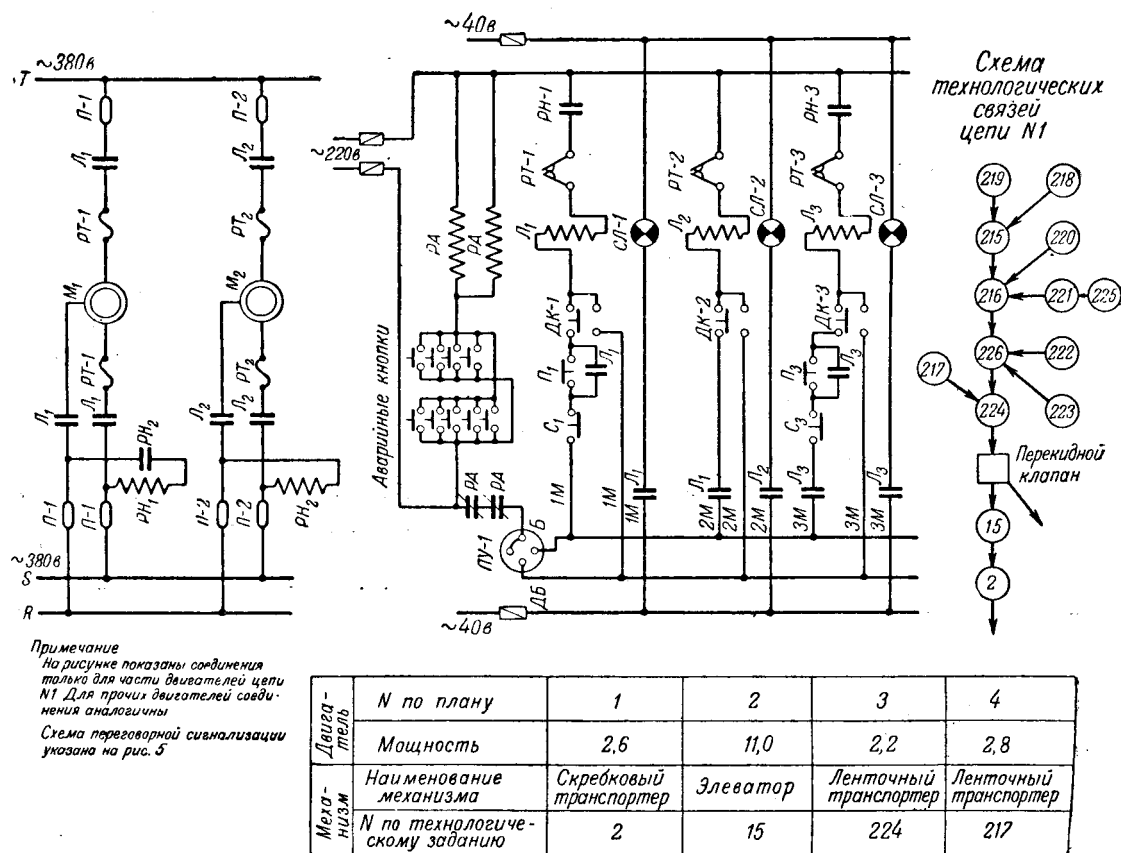


Рис. 4. Схема блокировки двигателей по проекту Электропрома.

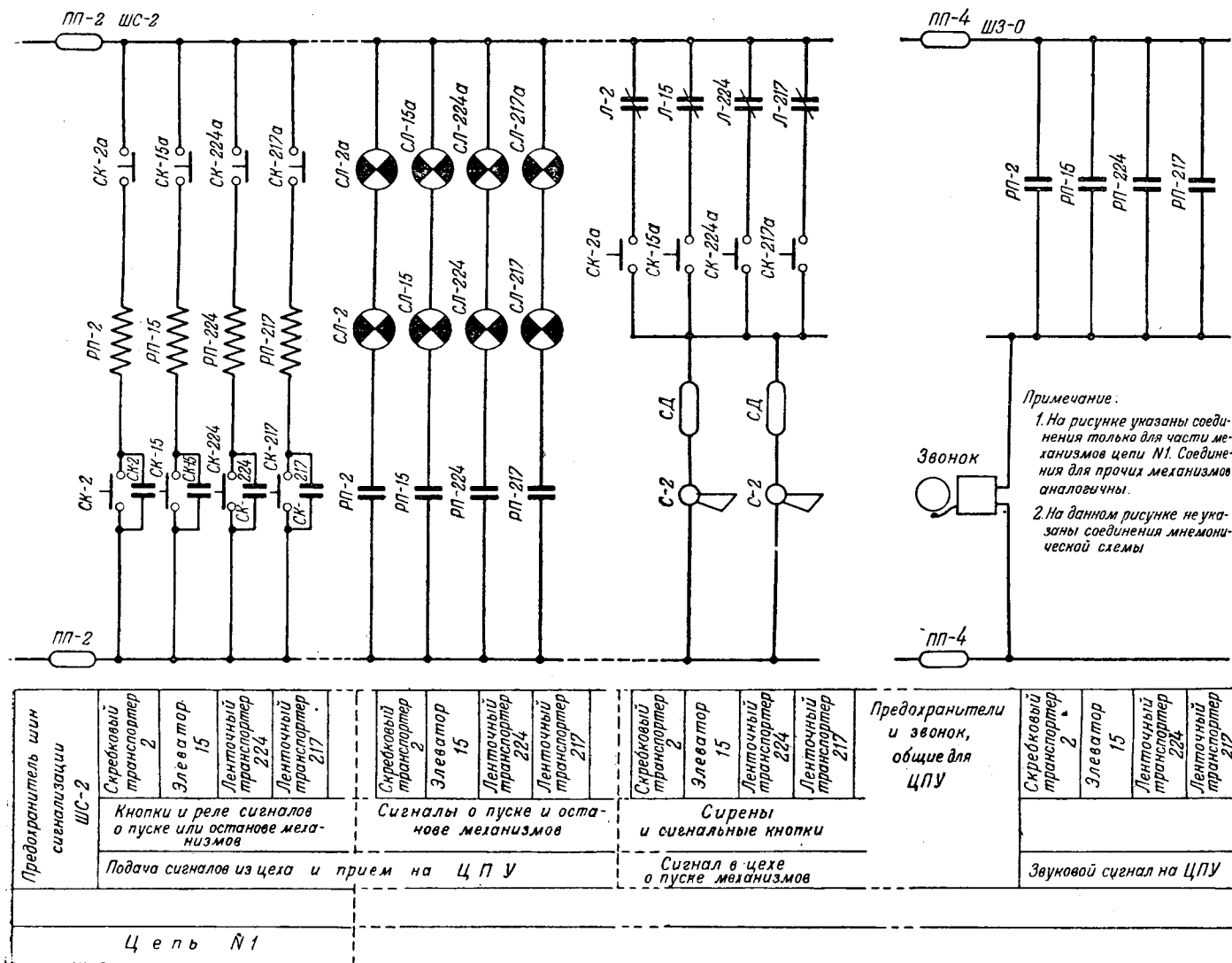


Рис. 5. Схема переговорной сигнализации для механизации цепи, показанной на рис. 4 (проект Электропрома).

Для схемы Электропрома только по переменному току предусмотрено 5 различных напряжений. Кроме того, для потребителей постоянного тока имеется еще 2—3 напряжения.

По другим показателям можно отметить еще большее различие в сравниваемых схемах в пользу более простой и экономичной схемы проектного отдела Горьковского автозавода. Так, например, из составленной по проектным данным табл. 3 видно, какое количество аппаратуры,

Таблица 2

Назначение цепи	Напряжение, в	Схема блокировки	
		Горьковского автозавода	Электропрома
Силовая двигательная трехфазная*	380	×	×
Управление двигателями	220	—	—
Промежуточные реле	110	—	×
Звонки, сирены	120	—	×
Световая сигнализация	40	—	×
Световая сигнализация	220	×	—

* — указывает на наличие соответствующего напряжения.

Таблица 3

Наименование показателей	Количество материалов или аппаратов на 10 двигателей		Разница	
	Схема Электропрома	Схема Горьковского автозавода	в единицах изменений	%
Сигнальные лампы . . .	69,6	20	49,6	71,5
Добавочные сопротивления	74,2	—	74,2	100
Кнопки и выключатели	135	39	96	71
Реле, звонки, сирены и пр.	11,8	3	8,8	75
Зажимы	400	126	274	68,5
Проводка управления, м	1 540	470	1 070	69,5
То же, приведенные к одножильному проводу, м	10 300	1 000	9 300	90
Листы кабельного журнала, шт.	3,75	0,57	3,18	85
Позиции кабельного журнала, шт.	133,8	34	39,8	28,8
Площадь помещения пульт управления, м ²	0,65	0,55	0,1	15,4

приборов, проводов и т. д. требуется на каждые 10 электродвигателей для каждой из рассматриваемых схем блокировки.

А там, где требуется установить, смонтировать и отрегулировать меньшее число приборов и проложить меньше проводов, там можно ожидать более надежную работу во время эксплуатации и она требует меньших капиталовложений во время строительства, оборудования и монтажа.

Резюмируя вышеизложенное, можно отметить следующее:

1. Наличие в схеме Электропрома нескольких систем напряжения сильно «утяжеляет» всю систему электрооборудования, так как при этом появляется необходимость в установке дополнительных приборов, аппаратов и пр.

2. Применение большого числа дополнительных элементов и звеньев усложняет монтаж и

обслуживание и снижает надежность, кроме того, сильно удлинит цепи управления, увеличивает расход кабеля и количество оборудования.

3. Наличие в силовых цепях электродвигателей двухфазных реле напряжения ни от чего не гарантирует и ничего не указывает, так как выгорание предохранителя в третьей фазе на цепи управления не сказывается.

4. Схема требует затраты большого труда при проектировании, монтаже и эксплуатации.

5. Капитальные затраты очень высокие.

Сопоставляя все сказанное о схемах Электропрома и Горьковского автозавода, нетрудно убедиться в том, как влияет выбор технических данных схем сблокированных механизмов на капитальные затраты, сроки проектирования и монтажа, а также на потребное количество материалов, аппаратуры и пр.



Заметки и письма

К статье М. С. Рябова „Осветительные установки промышленных предприятий“

(*Электричество*, № 7, 1949)

1. Следует обратить внимание на необходимость применения при проектировании электрического освещения промышленных предприятий потолочных выключателей.

Производство потолочных выключателей в союзном масштабе пока еще не организовано. Но нужно полагать, что изготовление столь несложного электроустановочного материала в ближайшее время будет налажено. Применение потолочных выключателей, устанавливаемых в непосредственной близости от места крепления осветительной арматуры и приводимых в действие посредством спускающихся шнурков, обеспечивает экономию электроэнергии и электропроводки. Экономия электроэнергии достигается за счет того, что каждая лампа или 2—3 лампы имеют свои выключатели и включаются только тогда, когда в этом имеется необходимость. Этого нельзя сделать при групповом выключателе.

Установка выключателя в непосредственной близости от лампы не требует расхода электропроводки.

Эффективность этого мероприятия подтверждена эксплуатацией потолочных выключателей в течение больше

чем десяти лет на ряде заводов и в первую очередь на Московском автозаводе, где впервые было организовано их массовое изготовление.

2. Разбивка ламп на группы выключения с учетом наилучшего использования естественного света.

Как правило, в конторских и бытовых помещениях лампы группируются так, что одним выключателем включаются две и больше ламп, расположенных перпендикулярно к окнам. С наступлением темноты время включения для точек, удаленных от окон, наступает значительно раньше, чем в точках, расположенных близко от окон.

Таким образом, в тех случаях, когда имеется необходимость и целесообразность установки общего выключателя, группировку ламп нужно осуществлять таким образом, чтобы одним выключателем производилось включение и выключение ряда ламп, равноудаленных от окон. Этим мероприятием также достигается экономия электроэнергии.

Н. Ф. КАЗИН
Москва



ОТВЕТ Н. Ф. КАЗИНУ

1. Применение потолочных выключателей является мероприятием новым и целесообразным, однако область их применения должна быть четко оговорена. Потолочные выключатели оправдывают себя только там, где по ходу работ может потребоваться временное отключение отдельных ламп или их небольших групп (не более 2—3 шт.).

2. Запрещение включения ламп разноудаленных от окон на общий выключатель — это старый закон проектирования.

Если этот недостаток распространен, правильная рекомендация по данному вопросу является полезной.

Одновременно отмечая, что указания, подобные предложенным, даны мною в статье «Новые источники света и экономия электроэнергии в осветительных установках» — Сборник материалов сессии по экономии электроэнергии, ВНИТОЭ, стр. 35—36, 1949.

Кандидат техн. наук М. С. РЯБОВ



Первый всероссийский электротехнический съезд

(К пятидесятилетию Съезда)

Член-корреспондент Академии наук СССР, проф. М. А. ШАТЕЛЕН

Прошло полвека с тех пор, как в январе 1900 г. Русским техническим обществом, по инициативе его Электротехнического (VI) отдела и Петербургского электротехнического общества, был созван Первый всероссийский электротехнический съезд.

Существенное значение всероссийских электротехнических съездов заключалось в том, что они объединяли всех русских электриков — ученых, заводских работников, изготовлявших предметы электротехнического оборудования, производственников, пользующихся этим оборудованием, и, наконец, представителей широких масс потребителей электрической энергии (промышленные предприятия, железные дороги, города и пр.).

На Первом всероссийском электротехническом съезде началась та громадная работа, которая продолжалась затем на всех последующих съездах и которая внесла порядок в производство и методы использования в России электрической энергии и потребного для этого оборудования. Велика была роль съездов в разработке методов борьбы за безопасность электротехнических установок. «Правила и нормы», принятые на электротехнических съездах, несмотря на то, что они никогда не были утверждены для обязательного применения, в течение многих лет применялись фактически всеми. На этих же съездах возникали и обсуждались крупнейшие научно-технические и экономические вопросы, связанные с развитием электрической энергетики России. Решения съездов проводились в жизнь силами электротехнической общественности нашей страны. На Восьмом съезде происходившем уже после Великой Октябрьской социалистической революции, рассматривались по поручению В. И. Ленина главные энергетические вопросы, связанные с электрификацией Советского Союза, в том числе вопросы, относящиеся к ГОЭЛРО.

Мне довелось участвовать во всех съездах, будучи членом Постоянного комитета съездов,

Электротехнические съезды сыграли в свое время важную роль в истории развития русской электротехники. Автор статьи — участник всех всероссийских электротехнических съездов — в своей статье, посвященной пятидесятилетию Съезда, использовал не только большой документальный архив, но и личные воспоминания и записи. Статья захватывает вопросы более широкие, чем это можно предположить по ее заглавию, она касается обзора всех девяти электротехнических съездов и представляет интерес для широкого круга читателей, уделяющих внимание истории отечественной электротехники.

членом ряда комиссий, работавших во время съездов и в промежутки между ними, и выступая докладчиком на съездах. Для молодых электротехников эпоха съездов — уже история, но это — история нашей электротехники, ее делали русские пионеры, они боролись за развитие в Рос-

сии этой отрасли техники, боролись, как могли, с экспансией иностранной капиталистической электропромышленности, стремившейся тормозить и придушить разворот русской электропромышленности, чтобы монопольно владеть русским рынком. В этом свете особо важно подчеркнуть, что вся деятельность всероссийских электротехнических съездов представляла в основном борьбу за расцвет независимой электротехники в России, борьбу за нашу самостоятельность в этой ответственной отрасли техники.

Приступив к составлению, по поручению редакции журнала «Электричество» очерка о деятельности электротехнических съездов, в связи с пятидесятилетием Первого съезда, я собрал все мои воспоминания, все сохранившиеся у меня заметки, воспользовался всеми изданиями съездов, и в особенности статьями в журнале «Электричество», бывшем постоянно органом съездов и неизменно помогавшем съездам в их начинаниях.

Всероссийские электротехнические съезды были формой развития электротехнической общественности, начало которого связано с основанием Электротехнического (VI) отдела Русского технического общества (РТО). Мысль о созыве всероссийского электротехнического съезда появилась вскоре после основания VI отдела РТО и была вызвана теми же соображениями, которые привели к основанию этого Отдела, как специального электротехнического объединения. Электротехнические съезды, как и VI отдел РТО, должны были объединять электриков всех специальностей в области «сильных» и «слабых» (связь) токов.

Как известно, Электротехнический (VI) отдел Русского технического общества был организован в 1880 г. пионерами русской электротехники: П. Н. Яблочковым, А. Н. Лодыгиным, Д. А. Лапачевым, В. Н. Чиколевым, Ф. А. Пироцким, Н. П. Булыгиным, совместно с рядом других лиц, связанных с русской электротехникой. Цель организации Отдела хорошо определена одним из его организаторов — А. Н. Лодыгиным, словами: «Мне кажется, я не ошибусь, если скажу, что одна из целей, ради достижения которых образовалось Техническое Общество в полном его составе и наш Отдел, в частности, определяется нашим желанием, с одной стороны, получать, сообщать, путем общих обсуждений, проверять имеющиеся у каждого из нас технические сведения, и путем взаимной помощи увеличивать наши сведения, разрабатывая и разрешая различные вопросы, встречающиеся в технике, и, с другой стороны, служить центром, к которому могли бы притекать из публики вообще, и из которого должны истекать в публику все практические сведения и вопросы по технике, равно интересные, как для нас, так и для публики».

Для подобных же целей, но уже гораздо более конкретизированных, несколькими годами позже в среде организаторов Электротехнического отдела и возникла мысль о созыве всероссийских электротехнических съездов, в которых могли бы принимать участие не только электрики-петербуржцы, но и работники нарождавшейся во всех концах нашей страны электротехники. Первый съезд, который думали созвать уже в 1886 г., первоначально предполагалось назвать «Съезд электротехников», но затем название было изменено и съезд был назван «Съезд русских электриков». Всего вероятнее, что изменение названия было сделано с целью привлечения к участию в Съезде не только инженеров и техников, но и физиков и химиков, среди которых было много лиц, интересовавшихся практическими применениями электричества.

Детали организации съезда, его состав и программа работ длительно и подробно обсуждалась на собраниях VI отдела РТО и на собраниях непременных членов Отдела. Прежде всего нужно было выбрать и поставить в программу съезда такие вопросы, общественное обсуждение которых было неотложно и которые в то же время не возбуждали бы сомнений в органах царского правительства, от которых зависело разрешение съезда. Сама организация съезда должна была быть намечена так, чтобы, удовлетворяя по сути нуждам съезда, вместе с тем она не вызвала бы подозрений со стороны административных властей, очень настороженно относящихся ко всякого рода массовым общественным начинаниям.

После рассмотрения целого ряда проектов и поправок к ним были, наконец, выработаны «Проект Положения о съезде русских электриков» и «Перечень вопросов, подлежащих обсуждению на съезде русских электриков». Особенно долго и всесторонне обсуждался перечень вопросов, которыми должен был заниматься съезд. В результате были установлены восемь основных вопросов,

чрезвычайно показательных для тогдашнего состояния электротехники в России. Вот эти вопросы:

1. В каком состоянии находится в настоящее время электротехническая деятельность в России.

2. Существуют ли условия, тормозящие развитие электротехники в России, и если существуют, то какие? Так, например, нет ли условий, затрудняющих для электротехников пользование даровыми двигателями природы, а также пользование паровыми и газовыми двигателями? Какое влияние имеют монополии на развитие электротехники в России? Не предстоит ли надобности ходатайствовать об изменении пошлин на какие-нибудь предметы, относящиеся к области электротехники, и об уменьшении пошлины на привилегии? и т. п.

3. Какие меры желательны для поддержки и развития электротехники в России?

4. Не представляется ли желательным ходатайствовать об изменении каких-либо пунктов правил для безопасного общественного и частного пользования электричеством?

5. Не представляется ли возможным организовать правильное и постоянное соби́рание точных статистических данных относительно развития электротехнической деятельности в России?

6. В каком положении находится преподавание электричества и электротехники в русских учебных заведениях и не желательны ли какие-либо изменения в этом деле?

7. Необходимо ли учреждение электротехнической школы?

8. Не представляется ли надобности в устройстве на будущее время периодических съездов русских электриков ежегодно или же через каждые 2—3 года?

Как видно из этого перечня, на съезде предполагалось подвергнуть общественному обсуждению ряд действительно коренных вопросов, от решения которых зависели дальнейшие судьбы русской электротехники.

Весьма важным вопросом, ставшим перед составителями «Положения», был вопрос о составе съезда, руководстве съездом и о его председателе. От решения этого вопроса в значительной степени зависела возможность разрешения съезда. О председателе, избираемом самим съездом, конечно, нечего было и мечтать, поэтому первоначально предполагалось, что председателем съезда должен быть председатель организовавшего съезд Электротехнического (VI) отдела РТО, а секретарем съезда делопроизводитель Отдела. Но в конце концов в Положении о съезде этот вопрос решился следующим, характерным для того времени, образом: «§ 2. Съезд имеет председателя, назначенного заранее Советом Русского Технического Общества равно, как и бюро, на которое и возлагаются все обязанности по предварительной организации и ведению занятий съезда». Это значило, что и председатель съезда и все руководство должны были быть заранее одобрены соответствующими административными органами. Правда, в особом примечании говорилось, что Совет РТО может сам избрать по ч е т-

ного председателя съезда или же может предложить самому съезду избрать почетного председателя. Однако, почетный, председатель, как указано было далее, мог быть выбран только из «лиц высокопоставленных». Таким образом, была ликвидирована возможность руководства съездом лицами, почему-либо нежелательными царской администрации. Состав съезда был тоже ограничен: членами съезда могли быть кроме представителей правительственных учреждений и представителей РТО только: «§ 3, п. б) Лица, заявившие себя какими-либо трудами в области электричества вообще и его практических применений, в частности, а также профессора и преподаватели этой отрасли физики и наук, соприкасающихся с ней» и «п. в) Владельцы электрических заводов, а также владельцы механических фабрик и заводов, работающих при помощи электричества или же приготовляющих машины и приборы, материалы и продукты, необходимые для электротехники, или же представители перечисленных лиц».

Съезду не давалось даже права возбуждать какие-либо ходатайства перед правительством непосредственно. Все свои ходатайства он мог направлять только через Совет РТО.

Несмотря, однако, на все принятые меры и все старания РТО и ряда весьма влиятельных его членов, съезд все же не состоялся и русская электротехническая общественность должна была ждать еще полтора десятка лет, пока ей удалось, наконец, получить возможность обсудить на Первом всероссийском съезде волновавшие ее вопросы.

Хотя съезд в 1886 г. не был собран, но вся подготовительная работа к съезду не прошла даром: она была полностью использована в дальнейшем, когда в 1899 г. VI отдел РТО и возникшее к тому времени Электротехническое общество вновь подняли вопрос о созыве съезда. К тому времени электротехника развилась, как мощная самостоятельная отрасль техники, в развитии которой была очень заинтересована промышленность; появились крупные специалисты в этой области, наши высшие школы ввели у себя преподавание электротехники и первая русская специальная электротехническая школа (Электротехнический институт в Петербурге) дала уже несколько выпусков электриков, хотя и выпускавшихся со скромным званием телеграфных техников, но на самом деле получавших настоящее инженерное образование; образовались специальные электротехнические общества в Москве и в других городах; наконец, изменились условия русской общественной жизни, в частности, несколько облегчилась возможность созыва съездов.

Особенно важным было то, что за 13 лет, между 1886 г. и 1899 г., широко развилась деятельность VI отдела РТО. Им был организован ряд специальных электротехнических выставок в Петербурге, а также русские электротехнические отделы на всемирных выставках в Париже и Вене. Им была начата систематическая работа над правилами и нормами для электрических сооружений, начата разработка вопросов об ис-

пользовании водных сил, электрической передаче энергии, об электрификации железных дорог и т. п. Особенно большую роль в ознакомлении русской общественности с достижениями в области электротехники путем широкого распространения сведений об этих достижениях сыграл основанный VI отделом РТО еще в 1880 г. журнал «Электричество». Все эти обстоятельства и помогли добиться правительственного разрешения на созыв Первого всероссийского электротехнического съезда.

Инициатором на этот раз был уже не один Электротехнический (VI) отдел РТО, но и незадолго перед тем образовавшееся в Петербурге новое Электротехническое общество.

В апреле 1899 г., сначала в Электротехническом обществе, а потом в VI отделе РТО одним из наиболее активных членов обоих обществ П. К. Войводою были сделаны доклады, в которых подчеркивалась настоятельная необходимость созыва в ближайшее время Всероссийского съезда электротехников. Вот мотивировка, выдвинутая П. К. Войводою:

«В настоящее время применение электротехники принимает все большее и большее распространение в России... Иностранные электротехнические предприятия возникают в разных концах России, иностранные электротехники все более и более появляются на службе, вытесняя может быть подчас русские технические силы с электротехнического поприща; электротехническая же промышленность, как это показала Нижегородская выставка (1896 г.), находится только в зачаточном состоянии и по сей день незаметно особого ее развития, вследствие чего динамомашины, электродвигатели, телефоны, принадлежности электрического освещения и трамваев и вообще разные принадлежности электротехники ввозятся в Россию в громадном количестве, а такие предметы первой необходимости в обиходе электрического освещения, как лампы накаливания — исключительно иностранного производства... Отсутствие опытного среднего и низшего персонала делает иногда почти совершенно невозможным выполнение электротехнических устройств согласно требованиям техники, и на недостаток в таковых мы наталкиваемся чуть не каждый день, и потому вопрос об электротехническом образовании в обширном размере ныне стал на очередь и требует неотложного разрешения.

Отсутствие строго приведенных общих правил для всеобщего применения при электротехнических сооружениях и в то же время обилие разных утвержденных устаревших уже правил, циркуляров, правил, рекомендованных, предложенных к утверждению и вырабатываемых вновь — все это подчас ставит в совершенный тупик и предпринимателя, и производителя работ, и потребителя электрической энергии. Разобраться в этом хаосе правил необходимо, и необходимо возможно скорее.

Все вышеизложенное мною заставляло меня, как практика, работающего на поприще применения электротехники к жизни, не раз задумываться над затронутыми вопросами и искать иного пути,

которым можно было бы добраться до выяснения и разрешения этих вопросов.

Путь этот есть, конечно, путь опроса и совещания тех тружеников электротехники, которые работают на разных поприщах ее по всей Руси и без сомнения знают более или менее хорошо большие места и средства, которыми необходимо запастись, чтобы дать здоровый рост русской электротехнике.

Таким путем само собою возникает вопрос Всеобщего Российского Съезда Электротехников, который необходимо созвать возможно скорее ближайшей осенью или зимой».

Характерны 4 вопроса, которые поднял П. К. Войвод, как основные для обсуждения на съезде. Это были следующие вопросы: 1) объединение и одобрение правил для электротехнических сооружений; 2) выяснение причин, в силу которых русская электротехническая промышленность развивается столь слабо, и о средствах к их устранению; 3) выяснение вопроса о типах электротехнических школ, средних и низших, об изыскании средств для создания означенных школ и о насаждении их на Руси; 4) выяснение вопроса, насколько следует допускать службу иностранных электротехников в России.

Все эти вопросы в той или другой форме получили освещение на Первом съезде, за исключением вопроса четвертого, очень по тому времени актуального, который почти не был затронут, хотя связанные с ним вопросы и фигурировали в «Перечне» вопросов для докладов на Первом всероссийском электротехническом съезде. Именно в этом перечне в числе вопросов, «доклады по которым были бы желательны», были помещены вопросы: «40. Разработка вопроса о цензе и правах, какие должны быть установлены для лиц, производящих электротехнические устройства (для русских и иностранных подданных)» и «60. Об иностранных электротехнических предприятиях, действующих в России».

Причина отсутствия докладов на эти темы становится понятной, если вспомнить, что, с одной стороны, в то время, вплоть до Великой Октябрьской Социалистической революции, электротехническая промышленность и строительство в России находились почти исключительно в руках иностранных предпринимателей и крупных иностранных электротехнических фирм, а с другой, — что русские специалисты электротехники были в то время наперечет. Электротехнический институт в Петербурге только что начал свои выпуски и то в большей части специалистов по проволочной связи, выходивших из Института со званием телеграфных техников и лишь имевших право получать звание «телеграфного инженера» после двухлетней практической деятельности и после защиты специального проекта. В других высших технических школах преподавание электротехники, как самостоятельной дисциплины, только что начиналось и электрики-технологи, как Н. А. Артемьев, А. А. Воронов, Г. М. Кржижановский, Л. Б. Красин, Р. Э. Классон, Т. Ф. Макарьев или электрики — горные инженеры, как Н. Г. Славянов, приобрели свои знания по электротехнике

самостоятельно, находясь уже вне высшей школы. Точно так же самостоятельно получали свое электротехническое образование и несколько электриков, вышедших из университетов, как Н. Н. Георгиевский, А. С. Попов, В. Ф. Миткевич, Н. В. Попов и др. Были, конечно, и русские инженеры-электрики из числа получивших свое высшее электротехническое образование в иностранных школах, главным образом в германских политехникумах, в Карлсруэ и в Дармштадте, и в Бельгийском электротехническом институте Монтефиоре в Льеже, но число их вообще было невелико и большинство их к тому же было связано служебными или коммерческими отношениями с иностранными фирмами. Даже пятнадцатью годами позже, в 1914 г., к началу первой мировой войны русская электротехническая промышленность все еще почти целиком зависела от иностранных фирм.

Работа на Россию чрезвычайно содействовала процветанию некоторых германских фирм. Так, начало благосостояния фирмы Сименс и Гальске положила ее работа над сооружением телеграфных линий в России. Деятельность этой фирмы в России настолько быстро ширилась, что уже в 1855 г. фирма открыла в России свой филиал, во главе которого был поставлен один из братьев Сименс. В дальнейшем этот филиал развился в «Русское общество электротехнических заводов Сименс и Гальске». Затем, после слияния в Германии фирм Сименс и фирмы Шуккерт, Общество было переименовано в «Русское акционерное общество Сименс-Шуккерт». За фирмой Сименс стали организовывать в России свои филиалы и другие фирмы, частью под названием отделений, частью под названием «русских» обществ, а частью под иными названиями и именами. Так образовались: «Русское общество» и генеральные представительства или генеральные агентства германской фирмы «Всеобщая компания электричества», Общества «Гелиос», швейцарских фирм «Браун-Бовери» и «Эрликон», американской фирмы «Вестингауз» и многих других крупных и мелких иностранных фирм.

Понятно, что при таких условиях на Первом всероссийском электротехническом съезде, на котором 40% участников были служащие частных электротехнических компаний, большей частью иностранных, трудно было ждать появления объективных докладов о роли иностранных электротехнических предприятий в России и о каких-нибудь ограничениях для иностранцев-электротехников.

Все остальные вопросы, намеченные первоначально планом съезда, были учтены Организационным комитетом съезда и нашли в той или другой форме место в перечне докладов, которые Организационный комитет считал желательным заслушать на съезде.

Организационный комитет съезда, образованный из членов VI отдела РТО и членов Электротехнического общества, немедленно принялся за работу и прежде всего составил проект Положения о съезде и представил его на утверждение правительства. Проект Положения в общем не

отличался значительно от проекта Положения о Всероссийском съезде электриков, разработанном в 1886 г. Так, основной целью съезда было поставлено: а) сближение русских электротехников между собой и ознакомление с новейшими научно-техническими успехами в области электричества и его применений; б) выяснение современного состояния электротехники и электротехнического образования и изыскание условий для успешного развития их в России; в) изучение современного положения электротехнической промышленности в России и изыскание наилучших условий для правильного и успешного ее развития.

Согласно Положению председателем Комитета и съезда являлся по должности председатель Русского технического общества. Самому съезду разрешалось только избирать почетного председателя съезда, причем уже не упоминалось, как в проекте 1886 г., что почетный председатель должен быть из лиц «высокопоставленных». Что касается состава съезда, то кроме членов РТО и Электротехнического общества, представителей правительственных и общественных установлений и вообще членов ученых и технических обществ, в состав съезда могли входить «лица, принимающие участие в электротехнической деятельности». Однако, лица этой категории могли участвовать в съезде или по приглашению Комитета или с его согласия.

В соответствии с Положением председателем Первого съезда стал бывший в то время председателем РТО профессор Военно-инженерной академии и Технологического института Николай Павлович Петров. Н. П. Петров был одним из выдающихся ученых-инженеров второй половины XIX в. Военный инженер по образованию он начал свою научную деятельность еще в Военно-инженерной академии под руководством знаменитого русского академика-математика Остроградского, затем продолжал ее в Петербургском технологическом институте у проф. Вышнеградского. Его работы по изучению рельсов, по гидродинамике и особенно по трению приобрели мировую известность. Н. П. Петров был не менее известен как поборник новых течений в высшем техническом образовании. По его идеям было организовано Московское инженерное училище МПС. Они оказали сильное влияние и при организации министром финансов Витте русских политехнических институтов. Н. П. Петров принимал большое участие и в общественной деятельности — был организатором и председателем ряда съездов, в том числе по высшему образованию, долгое время был председателем Русского технического общества и т. д. Он был одним из крупнейших пионеров русской инженерной общественности.

На остальные должности Комитетом были избраны: на должность товарища председателя Комитета и съезда — бывший председатель VI отдела, редактор журнала «Электричество», морской минный офицер полковник Александр Иванович Смирнов. На должность его заместителя один из активнейших членов VI отдела РТО

Н. В. Попов, на должность секретаря Комитета проф. Н. Н. Георгиевский и на должность казначея Съезда П. К. Войвод. Для удобства работы Съезд был разбит на 6 отделов (отделы: общих вопросов, электротехнической промышленности, производства и распределения электрической энергии, электрических железных дорог, электрохимии, электромедицины). Председателями этих отделов были избраны: А. И. Смирнов, Н. В. Попов, А. Г. Коган и др. Были также избраны секретари отделов из наиболее активных членов VI отдела. В качестве помощников секретарей были привлечены студенты Электротехнического института. Привлечение студентов к работе в Комитете было новшеством. В качестве приложения к Положению о съезде Организационным комитетом был составлен «Перечень вопросов для докладов на Первом всероссийском электротехническом съезде». В примечании к перечню было сказано, что в перечне помещены те вопросы, доклады по которым были бы желательны. Перечень содержал 71 вопрос по самым разнообразным отраслям электротехники как научным и техническим, так и организационным и экономическим, в общем вполне отражавших запросы русских электротехников той эпохи. Среди вопросов находились такие общие вопросы, как: «10. Различные способы пользования электрическими тосками постоянными и переменными (одно- и многофазными); какие из них наиболее выгодны и в каких случаях», или вопросы очень злободневные для своего времени, как: «30. Насколько городские центральные станции для снабжения электрической энергией могут конкурировать с небольшими отдельными установками для тех же целей. За основание принимаются утвержденные электрические тарифы и отчеты по содержанию отдельных станций», «43. Определение ответственности контрагентов и подрядчиков за прочность и правильность исполненных ими электротехнических устройств», «47. О наилучшем способе городского хозяйства по ведению электротехнических предприятий», «48. О технических и экономических соображениях, необходимых для городских управлений, разрабатывающих вопросы по устройству электрического освещения и городских электрических трамваев».

Эта группа вопросов была тесно связана с ожесточенной полемикой, происходившей в большинстве городских самоуправлений между сторонниками городского электротехнического хозяйства и сторонниками сдачи его частным концессионерам.

Большая группа вопросов Перечня была связана с разработкой разного рода электротехнических правил и норм и самыми различными применениями электрической энергии на заводах, в городах, для тяги и т. п., с производством электрических машин, аппаратов и электрических измерительных приборов. В перечень был включен также ряд вопросов, связанных с выработкой электрической терминологии, с организацией научно-исследовательских и поверочных электротехнических лабораторий и с организацией электротехнических высших, средних и низших школ.

Три вопроса в перечне были связаны с использованием гидроэнергетических ресурсов и сооружением линий электропередачи. Именно: «24. Наилучшие способы пользования силою воды для получения электрической энергии», «49. О необходимости сосредоточить владение водопадами и быстринами рек в руках правительства и о составлении подробных технических описаний таковых источников силы». В связи с ними находился и такой вопрос: «50. О необходимости принудительного отчуждения земли при электрических устройствах, предназначенных для государственного или общественного пользования (прокладке проводов через чужие владения)».

Наконец, один вопрос носил чисто юридический характер. Это вопрос 51-й «Об издании закона, карающего похищение электрической энергии». Некоторые юристы, особенно иностранные, указывали на то, что объектом хищения может быть только реально осязаемые предметы, а не такое «отвлеченное» понятие, как электрическая энергия. Однако, к чести русских юристов, высшая в России судебная инстанция — Сенат — разъяснила, что электрическая энергия может быть объектом кражи и, следовательно, наказуема. В других странах этот вопрос решался дольше и вызывал ряд крупных недоразумений¹. Конечно, на съезде были представлены доклады далеко не по всем перечисленным в Перечне вопросам, но зато был сделан ряд докладов на темы, не числившиеся в перечне, но представлявшие для русских электротехников исключительный интерес. Всего на съезде было сделано 80 докладов. Из них 27 касалось вопросов общего характера (юридических, административных, экономических, правил и норм и т. п.).

Съезд вызвал очень большой интерес и не только среди электротехников. В члены съезда вступили и инженеры других специальностей, и педагоги, и врачи, и общественные деятели, и др. Среди 563 действительных членов съезда (было еще 20 почетных членов — министров, главных начальников военных управлений и т. п.) с инженерным образованием было 260 лиц. Именно: инженеров-технологов — 88, военных инженеров и вообще военных — 62, инженеров-электриков и телеграфных техников — 51, инженеров-механиков — 21, инженеров путей сообщения — 19, гражданских инженеров — 11, горных инженеров — 8. Остальные члены были техники, врачи, юристы и т. д.

По профессиям немногим меньше половины членов съезда составляли служащие в частных обществах (217 чел.); затем шли группы железнодорожных электротехников (52 чел.) и группа инженеров и техников, служащих в почтово-телеграфном ведомстве (28 чел.). Значительную

группу составляли работники городских самоуправлений (32 чел.). В съезде участвовало также довольно большое число профессоров и преподавателей высших школ (53 чел.) и средних и низших технических школ (19 чел.). Таким образом, съезд собрал свыше полутысячи человек, интересующихся электротехникой, причем в их числе были лица самых разнообразных профессий и с самым различным образованием. *Объединяла их либо общая работа в области электротехники, либо общий интерес к развитию электротехники в России.* Среди членов съезда были такие выдающиеся ученые, как акад. Н. Н. Бекетов (химик), профессора: И. И. Боргман, Н. Г. Егоров, Н. А. Гезехус, А. С. Попов (физики), Н. А. Белюбский (механик), А. Д. Гатцук (технолог), П. Д. Войнаровский и А. А. Воронов (электрики) и другие. Были и крупнейшие инженеры, как Н. А. Артемьев, В. В. Дмитриев, С. Д. Гефтер, Г. О. Графтио, П. П. Копняев, Т. Ф. Макарьев, С. Н. Усатый, Е. А. Шульгин — все в дальнейшем профессора, а Г. О. Графтио — академик. Были и изобретатели, как А. С. Попов и М. О. Доливо-Добровольский. Был ряд лиц, стоявших во главе правлений разных обществ, главным образом иностранных, работавших в России. В числе членов съезда было несколько пионеров русской электротехники, работавших еще с Яблочковым и Лодыгиным; так, в съезде принимали участие: проф. Д. А. Лачинов, Ч. К. Скржинский, К. Д. Перский и др. Наконец, членами съезда было несколько крупных врачей, работавших над применением электричества и рентгеновских лучей в медицине. Среди них Д. А. Муринов, организовавший первый в России рентгенологический медицинский кабинет, проф. О. В. Петерсон, работавший над применением электрической дуги для лечебных целей, и др.

Большинство членов съезда были петербуржцы (377 членов из 563), затем шли москвичи (43 члена). Остальные члены были из 63 городов в разных частях России, в том числе 9 из Азиатской ее части, что свидетельствовало о повсеместном интересе к вопросам применения электричества. Разнообразный состав съезда определил и характер дискуссий и характер принятых съездом резолюций.

Съезд открылся торжественным заседанием в зале Русского технического общества (Соляной городок в Петербурге) 8 января 1900 г. речью председателя съезда проф. Н. П. Петрова. В своей речи Н. П. Петров остановился на значении для развития электротехники совместной работы научных и практических работников.

«Теперь — сказал Н. П. Петров — каждая отрасль техники имеет такое множество факторов, обработанных научно, что изучение любого технического знания невозможно без помощи наук, дающих средство для обобщения... Многие из этих отраслей, нуждаясь в помощи наук естественных и отвлеченных, заимствуя от них способы исследования и разрешения своих вопросов, предлагают этим наукам не особенно интересные

¹ Юридическое признание права собственности на электрическую энергию считалось настолько важным, что вопрос этот был внесен даже на рассмотрение Международного электротехнического конгресса в Париже в 1900 г. Конгресс принял решение, согласно которому электрическая энергия должна рассматриваться как собственность, ввиду чего она должна защищаться законами, как всякие другие виды собственности.

и важные для них задачи. Все такие отрасли техники мало привлекают внимание ученых, и потому в таких съездах ученые обыкновенно не принимают участия. В беседах на этих съездах нет того живого обмена мнений между учеными и техниками, которые могли бы помогать развитию не только техники, но и науки.

Электричество, напротив, представляет предмет изучения первостепенной важности и для техников, для ученых. Если техники нуждаются в трудах ученых для наилучшего применения электричества для достижения практических целей, то и ученые находят высокий интерес в изучении явлений, достижимых только в практических применениях техники с ее громадными материальными средствами. Таким образом, на поприще электротехники устанавливается сама собою особенно близкая связь между представителями науки и техники. Те и другие идут рука об руку, помогая друг другу. Поэтому мы — техники, с удовольствием приветствуем ученых членов нашего съезда. Они, трудясь вместе с нами над расширением и углублением знаний, относящихся к электричеству, найдут вместе с тем новые поводы и средства к развитию не только естественных наук, но и наук отвлеченных».

Мысли, высказанные Н. П. Петровым, теперь общепризнаны, но в конце прошлого столетия и среди ученых и среди практиков было очень и очень много лиц, глубоко убежденных в том, что развитие науки и техники должно идти вперед по совершенно различным путям. Часть своей речи Н. П. Петров посвятил русским пионерам электротехники и осветил мировое значение работ В. В. Петрова, П. Л. Шиллинга, Б. С. Якоби, П. Н. Яблочкова, М. О. Доливо-Добровольского, А. Н. Лодыгина, В. Н. Чиколева, Н. Н. Бенардоса и А. С. Попова.

Вторую речь на торжественном открытии — «Столетие электрического тока» произнес проф. Н. Г. Егоров. Н. Г. Егоров был в то время председателем VI отдела РТО. Третью речь «Успехи электротехники» произнес А. С. Смирнов, предшественник Н. Г. Егорова на должности председателя VI отдела. Затем выступали представители делегаций правительственных, общественных, научных и других организаций, прибывшие на съезд.

Общее количество делегаций было 68: от правительственных учреждений (в том числе от высших и других школ) — 21, от ученых технических обществ — 19, от городских общественных учреждений — 14, от железных дорог — 7 и от заводов и промышленных обществ — 7. Это распределение довольно ярко показывает степень интереса к электротехнике различных групп потребителей электрической энергии.

Некоторые приветственные выступления представляли большой интерес, как, например, выступления акад. Н. Н. Бекетова и проф. И. И. Боргмана, касавшихся значения достижений в электротехнике, а также значения совместной работы физиков, химиков и электротехников для успешного развития науки и техни-

ки. Интересны были выступления представителей военного и морского ведомств, указавших на значение электротехники для военного и морского дела и подчеркнувших, что первые электротехнические школы в России — Военно-электротехническая школа (б. Гальваническое заведение, в котором учился Яблочков) и Минный офицерский класс, служившие рассадником русских электротехников, были организованы военным и морским ведомствами. После открытия начались деловые заседания отделов съезда.

Наибольший интерес вызвали доклады в I отделе съезда (отдел общих вопросов), привлекавшие наибольшее число членов. Это и не удивительно, так как именно на заседаниях этого отдела рассматривались самые наиболее важные вопросы русской электротехники. Первым вопросом, по которому был сделан ряд докладов, вызвавших оживленную дискуссию, был вопрос о правилах и нормах для разного рода электротехнических сооружений. Действительно, в этом отношении в России в то время царствовал настоящий хаос. Каждое ведомство, у которого были какие-нибудь электротехнические сооружения, устанавливало для них свои правила и нормы. Свои правила и нормы создавали не только такие крупные технические ведомства, как ведомство путей сообщения, горное, морское и т. п., но даже «Святейший синод», у которого в некоторых подведомственных ему монастырях были мелкие гидроэлектрические установки. Свои правила и нормы устанавливало и министерство внутренних дел, которому по действовавшему тогда законодательству принадлежал надзор за электрическими установками. Во многих случаях эти правила и нормы не были между собой согласованы и даже противоречили друг другу, что, конечно, вызывало ряд недоразумений. Так как надзор за электрическими установками и разрешение на их открытие лежали на органе министерства внутренних дел — полицейских телеграфных, а владельцами установок были кроме частных лиц также министерства и управления, то отсюда возникали всякого рода междуведомственные и иные споры, мешавшие не только правильному ведению, но и возникновению электрических сооружений. Примеры таких споров и столкновений приводились участниками съезда во время дискуссий по обсуждавшимся на съезде докладом. Все попытки Русского технического общества создать единые нормы и правила давали сколько-нибудь значительного успеха.

Главнейшими докладами, касавшимися правил и норм для электрических сооружений, были «Правила для электрических установок и пользования электрической энергией» (проект был разработан Электротехническим обществом в Петербурге); «Правила для электротехнических установок и пользования электрической энергией на фабриках, заводских и промышленных заведениях, в их дворах и районах» (проект был разработан VI отделом РТО); «Условия безопасной канализации токов высокого напряжения при мощности воздушных проводов» и «Проект прави-

определяющих взаимное отношение между проводами сильных токов и проводами слабых токов (телеграфных и телефонных)». К этой же группе вопросов относился и вопрос «О правительственной инспекции для надзора за электротехническими устройствами», доклад по которому был представлен съезду от имени VI отдела РТО.

Внесенные проекты подверглись на собраниях съезда и в особо выбранных съездом комиссиях подробному и всестороннему обсуждению, но, конечно, в короткое время работы съезда окончательно решены быть не могли. Съезд мог только высказаться относительно направления дальнейшей работы, а сама работа была поручена выбранному на съезде «Постоянному комитету электротехнических съездов». Этим было положено начало той длительной и систематической работе над электрическими правилами и нормами, которая велась всероссийскими электротехническими съездами, благодаря которым был внесен порядок и определенность в дело устройства электротехнических сооружений. Например, правила и нормы IX съезда (1928 г.) применялись в течение долгого времени и послужили основой в дальнейшем для работы над правилами в Центральном электротехническом совете (ЦЭС). Эта работа затем продолжалась в народных комиссариатах, в министерствах, а также во Всесоюзном научном инженерно-техническом обществе энергетики (ВНИТОЭ). Начало всей этой работе было положено Первым съездом, которым впервые было организовано то коллективное рассмотрение проектов правил и норм, которое обеспечило русским правилам и нормам их общепризнанные достоинства и способствовало всеобщему их признанию. Несмотря на то, что правила и нормы съездов никакими правительственными инстанциями не утверждались, они становились по мере разработки общепринятыми и на них ссылались в своих договорах не только частные лица и организации, но и правительственные учреждения.

Другая группа докладов касалась условий развития русской электротехнической промышленности. Основными докладами в этой группе были: доклад «О мерах для развития в России производства генераторов, электродвигателей, трансформаторов и других принадлежностей электрического тока» и доклад «О влиянии действующего таможенного тарифа на развитие электрической промышленности в России». По этим докладом разгорались оживленные прения, особенно в отношении вопросов покровительственной таможенной политики и форм привлечения иностранного капитала в Россию.

Сторонники «свободной торговли» с иностранными фирмами исходили из положения, что иностранные изделия дешевле и лучше русских, и потому создавать какие-либо препятствия для их ввоза в Россию не следует. Они полагали, что важной мерой для подъема русской электротех-

нической промышленности должно считаться не устранение иностранного, а наоборот, облегчение доступа иностранных изделий. Противники этой точки зрения указывали, что «у нас в начале шло быстрое развитие электротехники и многие изобретения по электротехнике были сделаны впервые в России. В последнее же время заграницей электротехническая промышленность перегнала нашу отечественную. Ввиду этого следует нашу промышленность поддержать, а не высказывать мнение, что, так как все заграницное лучше, то нам надо отказаться от всего отечественного в электротехнической промышленности». Некоторыми выступавшими указывалось на необходимость привлечения в Россию для развития отечественной электротехнической промышленности иностранного капитала и иностранных фирм, причем, как на желательный пример указывали на германскую фирму Сименс и Гальске, построившую в России несколько заводов, на иностранное «Центральное электрическое общество», построившее большой электротехнический завод в Москве, и на другие подобные примеры. «Пусть иностранцы приходят к нам — говорил один из выступавших — строят у нас заводы и работают. Это несравненно полезнее для государства, чем приобретать все из заграницы. Иностранные заводы в России дадут заработки населению, станут потреблять и перерабатывать русское сырье... и в результате у нас создастся производство и мы научимся работать по-иностранному».

Такое недоверие ко всему русскому и вера в эффективность широкого использования иностранного оборудования и эффективности привлечения иностранного капитала были весьма широко распространены в тогдашней России и не только среди электротехников. Несмотря на широкую дискуссию и большую работу выбранной комиссии по подготовке резолюции, съезд по этому вопросу определенного решения не принял и, считая необходимым более подробное обсуждение вопросов, связанных с этими докладами, постановил продолжить обсуждение после съезда в специальной комиссии при Постоянном комитете съездов.

Действительность показала, что не в таможенной политике и не в «неспособности» русского народа лежала причина отсталости царской России, и притом не только в отношении электротехнической промышленности. Лишь коренное изменение всей экономики и быта страны, вызванное Великой Октябрьской социалистической революцией, создало условия, при которых наша страна во всех областях экономики и производства, и в том числе в области электротехнической промышленности, в короткое время вышла на одно из самых первых, а в некоторых отношениях и на первое место в мире.

Большое внимание уделил съезд вопросу о порядке постройки и эксплуатации электрических сооружений в городах. В девятидесятых годах шли весьма горячие споры между сторонниками передачи постройки и эксплуатации городских электротехнических устройств (электрических станций освещения,

трамваев и т. п.) концессионерам и сторонникам собственного городского хозяйства. Конечно, были и принципиальные сторонники той и другой системы, но было также много лиц, поддерживавших ту или другую точку зрения из личных материальных или карьеристических соображений.

С докладом «Устройство и заведывание хозяйственным способом городскими электротехническими предприятиями» выступил известный электротехник Линева, изобретатель «магнитного рельса». Споры по докладу Линева возникли очень горячие, но, как и можно было ждать, не приведшие к определенным результатам. Несмотря на то, что избранная на съезде специальная комиссия признала принцип муниципализации городских электротехнических сооружений наиболее желательными, съезд не принял окончательного решения и ограничился постановлением общего характера. Съезд высказал мнение, «что нельзя установить правил для постройки и эксплуатации электротехнических предприятий городскими управлениями» и «что один или другой способ осуществления предприятий может быть более выгоден в каждом данном случае», и выразил пожелание, чтобы «при решении подобных вопросов были приглашаемы специалисты и технические общества». Ввиду важности вопроса было постановлено просить Комитет съездов «собрать материал по этому вопросу и внести его на рассмотрение следующего съезда». С целью же обсуждения и выработки плана сбора материала была образована комиссия из всех представителей городских управлений, участвовавших на съезде. Конечно, никакие комиссии не могли решить этого вопроса и долго еще, вплоть до октября 1917 г., продолжалась борьба между сторонниками концессий и сторонниками собственного городского хозяйства, в которой в большинстве случаев победителями оказывались первые.

В связи с отсутствием в те времена общих правил сооружения и эксплуатации электротехнических сооружений, в связи с почти полным отсутствием у дореволюционных городских управлений достаточно подготовленного технического персонала особое значение приобретал надзор за электротехническими установками; поэтому неудивительно, что одним из вопросов общего характера, возбуждавших при рассмотрении на съезде особый интерес и вызвавший оживление и прения, был вопрос о надзоре правительственной инспекции за электротехническими сооружениями. Надзор, осуществлявшийся органами министерства внутренних дел, и своим характером и методами работы вызывал ряд обоснованных возражений. Съезд после долгого обсуждения высказался за необходимость привлечения к надзору большого числа специалистов-техников.

Очень большое внимание съезд уделил совсем новому для России вопросу, возникшему в связи с успехами в электрической передаче энергии на большие расстояния, именно, вопросу о порядке пользования энергией водных

потоков. Этот вопрос был возбужден инж. Добровольским в его докладе «Электродатча силы порогов Волхова, Нарвы, Вуоксы в Петербург». Доклад вызвал оживленные прения, в которых принял участие также М. О. Доливо-Добровольский, настаивавший на том, что следует отличать передачу электрической энергии от распределения электрической энергии, что непосредственное питание приемника, находящегося от генераторов на расстоянии 100—150 км, невозможно и что в этих случаях необходимо прибегать к трансформаторным подстанциям. Для рассматриваемой Добровольским электродатчи в Петербург Доливо-Добровольский считал более подходящим трехфазный ток как с точки зрения удобства непосредственного соединения генераторов трехфазного тока с быстроходными водяными турбинами, так и с точки зрения стоимости всего устройства. Для распределения энергии в Петербурге, по мнению Доливо-Добровольского, можно применить как трехфазный, так и постоянный ток. Кроме того, Доливо-Добровольский предостерегал против применения переменных токов большой частоты вследствие усиливающегося влияния емкости и самоиндукции цепи. Ввиду новизны трехфазного тока, некоторые из выступавших отдавали преимущество постоянному току и, в частности, системе Тюрри. Главное внимание при обсуждении доклада Добровольского съезд обратил на юридическую и экономическую стороны вопроса об использовании водных сил. Выяснилось, что существовавшее законодательство не давало возможности решить вопрос о праве на энергию текущей воды, о правах частных владельцев берегов, о правах правительственной власти. Все эти вопросы были переданы для детальной разработки в особую комиссию, которая работала как во время Первого съезда, так и после его окончания. Комиссией был разработан текст ходатайства правительству об издании некоторых узаконений, которые облегчили бы сооружение для использования водных сил в России и сооружения электродатчи. Однако ответа на это ходатайство Постоянный комитет съездов не получил и Второй съезд в 1904 г. постановил возбудить повторное ходатайство.

Ряд обсужденных на съезде докладов носил чисто технический характер. К числу их относился прежде всего доклад Михаила Осиповича Доливо-Добровольского «О современном развитии техники трехфазного тока». Услышать доклад о трехфазном токе от самого инициатора его применения было, конечно, исключительно интересно, так как трехфазный ток только что начинал пробивать себе во всем мире и, в частности, в России широкую дорогу. В своем докладе М. О. Доливо-Добровольский дал действительно полную картину состояния техники трехфазного тока и показал, какую борьбу с укоренившимися привычками и с косностью приходится выдерживать пионерам этого нового перспективного способа применения электрической энергии. Доклад М. О. Доливо-Добровольского и теперь,

спустя 50 лет, представляет значительный интерес².

Применению трехфазных токов при электрификации железных дорог был посвящен доклад Г. О. Графтио и Шулленбурга, предлагавших применять на электро-возах асинхронные двигатели трехфазного тока высокого (до 5 000 в) напряжения с тем, чтобы избежать преобразования тока на подстанциях. Мысль о пользе применения тока высокого напряжения в контактном проводе электрических железных дорог была тогда еще нова и в этом решении вопроса искали выход для объединения электроснабжения железных дорог и всех остальных потребителей электроэнергии в один общий потребительский комплекс, питаемый от общих мощных электростанций. Как известно, работы по изысканию лучшего способа подобного объединения ведутся и ныне; при этом совершенствуются методы преобразования переменного тока в постоянный и разрабатываются более совершенные типы электродвигателей для однофазного тока стандартной частоты в 50 гц.

Вторым стержневым техническим докладом на съезде был доклад Александра Степановича Попова «Телеграфирование без проводов». Период, прошедший со времени первого доклада А. С. Попова о своем открытии в Русском физическом обществе (1895 г.), несмотря на свою кратковременность, был богат разными усовершенствованиями в области беспроволочной телеграфии, сделанных самим Поповым или его ближайшими сотрудниками. Применения беспроволочной телеграфии множились, радиус действия ее расширялся. Для всех русских было ясно, что приоритет изобретения телеграфии без проводов принадлежит Попову, но за границей изобретение приписывалось Маркони. Понятно, с каким интересом ждали члены съезда сообщения самого Попова и с каким вниманием он был заслушан, тем более, что в своем сообщении Александр Степанович говорил о применении телефона в беспроволочной передаче, о чем мало кто знал.

Доклад А. С. Попова был сделан на *соединенном собрании* съезда и VI отдела Русского технического общества, и, как сказано в протоколе собрания, «иллюстрировался прекрасными опытами». Председатель собрания проф. Н. Г. Егоров в своем заключительном слове, по словам протокола, «указал, как на редкое явление, на то, что А. С. Попов, который свое открытие сделал ранее открытия Маркони, между тем как большая доля известности досталась этому последнему, не потерял спокойствия духа и, сохраняя полную самоуверенность, продолжал самостоятельно, непрерывно расширять область своих исследований и опытов, которые, как видно из прочитанного доклада, уже привели его к практическому пользованию телефонами. Несомненно, телефон позволит увеличить расстояние для телеграфирования без проводов и, удешевив

и упростив манипуляции телеграфирования, он позволит и скромному коммерческому судну воспользоваться драгоценными качествами электромагнитных волн»

Было бы невозможно в настоящей статье перечислить, хотя бы вкратце, все главные доклады, обсужденные на съезде. Они касались и научных вопросов электротехники, и электротехнического оборудования, и электрического освещения, и электрических станций, и применений электричества в медицине. Большое внимание было уделено вопросам электрической тяги в городах (электрическим трамваям). На съезде была организована даже специальная комиссия по собиранию и обработке данных по эксплуатации русских трамваев. Ряд докладов был посвящен электрической сварке. Признавая значение широкого внедрения русского изобретения — электросварки, съезд принял постановление: ходатайствовать перед правительством о приравнении электрической обработки металлов как по надзору, так и по приему к правилам, установленным для металлических изделий, обработанных огнем путем, т. е. отливкой, сваркой и кузнечной работой.

Из сообщений научно-технического характера большой интерес вызвали доклады Б. Л. Розинга «Об условиях экономического превращения тепловой энергии в электрическую и электрической в тепловую» и В. А. Тюрина «Современное состояние вопроса о превращении химической энергии в электрическую».

Несколько докладов было посвящено и вопросам электрической связи и, в частности, больному уже тогда вопросу о взаимодействии проводов сильного тока и проводов связи. Этот вопрос занимал русских электротехников давно и вскоре после образования VI отдела РТО по его инициативе были произведены на территории завода «Товарищество Яблочков изобретатель и К^о» в Петербурге довольно большие экспериментальные исследования, приведшие к определенным практическим выводам. В дальнейшем этот вопрос возникал неоднократно в связи с развитием телефонных сетей и постройкой электрических трамваев. Один из докладчиков по этой теме, проф. П. Д. Войнаровский начал свой доклад словами: «Сегодня я взял на себя смелость сказать Вам несколько слов о двух нетерпящих друг друга врагах — телефоне и сильном токе — и о том, что сделано по сие время для того, чтобы их примирить». Съезд одобрил внесенный на съезд «Проект правил, определяющих взаимное отношение между проводами сильных токов и проводами слабых токов (телеграфными и телефонными)». В этих правилах кроме ряда технических рекомендаций указывалось, что «Электрические провода и сильного и слабого тока, проведенные ранее в каком-либо месте, должны быть обеспечены нижеследующими мерами в правильности и безопасности своей службы тем лицом, которое, устроив провода в том же районе, но позже времени, может

² См. Сборник статей М. О. Доливо-Добровольского, стр. 75, Госэнергоиздат, 1949.

нарушить правильность действия чужих или своих сооружений».

На Первом съезде было также положено начало работам по установлению единообразной электротехнической терминологии и по разработке системы графических изображений. Были рассмотрены также доклады по электротехническому образованию, высшему, среднему и начальному.

Съезд почтил память одного из самых выдающихся пионеров русской электротехники, отметив выдающуюся деятельность Павла Николаевича Яблочкова. Одним из сотрудников Яблочкова, К. Д. Перским была произнесена речь о жизни и трудах П. Н. Яблочкова. Свою речь К. Д. Перский начал словами: «Последняя четверть истекающего (XIX) века ознаменовалась необычайным развитием применений электричества к потребностям техники. Русские люди с самого начала заняли на этом поприще видное, если не первое место. Изобретения одного из них были так важны, что ими до сих пор продолжает пользоваться человечество. Этот великий изобретатель — Павел Николаевич Яблочков». Осветив кратко работы Яблочкова в разных отраслях электротехники, Перский продолжал: «Таким образом, Яблочков смело может быть назван отцом электрического освещения дугой и с накаливаемым непроводником, отцом применения переменных токов, трансформаторов и конденсаторов. Современная нам действительность вполне доказала правильность и применимость идей Яблочкова. Все это показывает, какую тяжелую утрату понесла техническая Россия и весь технический мир 19 марта 1894 г., когда навеки перестал работать мощный ум Яблочкова. С тех пор прошло 6 лет. Современники и сотрудники Яблочкова постепенно сходят в могилу и славное имя его начинает забываться, быть может забудется и совсем, т. е. испытает общую участь русских техников... Я полагаю, что Первому всероссийскому съезду электротехников всего достойнее было бы закончить свои работы ходатайством, чтобы была разрешена всероссийская подписка на сооружение Яблочкову монумента, достойного его великих заслуг... Пусть монумент Яблочкова послужит грядущим поколениям вечным свидетельством, как благодарное отечество ценит заслуги доблестных своих сынов... Пусть при взгляде на этот монумент русские техники и инженеры крепче почувствуют уверенность в собственных силах и проникаются убеждением, что времена необходимости иностранной указки миновали... Пусть при взгляде на тот же монумент, все русские люди сознают необходимость таких мероприятий, которые бы давали на каждом шагу иностранцам чувствовать и сознавать, что они лишь только гости, а Россия только для русских».

Конечно, никакого «монумента» Яблочкову не было сооружено. Даже более скромный способ увековечения памяти Павла Николаевича путем организации средней электротехнической школы имени Яблочкова, предложенный съездом, не уда-

лось осуществить, хотя уже во время съезда между членами была собрана некоторая сумма в фонд будущей школы.

На ходатайство Комитета съезда о разрешении повсеместного сбора в фонд электротехнической школы им. П. Н. Яблочкова царское министерство внутренних дел ответило отказом и разрешило лишь сбор «среди знакомых и почитателей Яблочкова с соблюдением отсутствия публичности этого сбора». После вторичного ходатайства съезда было, правда, разрешено организовать лекции, сбор с которых поступал бы в фонд Яблочкова, и была допущена некоторая «публичность» в сборе, но это мало помогло и собрать нужную сумму не удалось. Лишь после Великой Октябрьской социалистической революции имя Яблочкова было увековечено рядом мероприятий, принятых по постановлению Совета Министров СССР. Были установлены мемориальные доски, были учреждены стипендии имени Яблочкова в нескольких высших школах, была установлена премия имени Яблочкова за лучшие работы по электротехнике и, наконец, было предпринято издание трудов Яблочкова и полной его биографии.

Первый электротехнический съезд сопровождался Электротехнической выставкой. Выставка была очень небольшая — на ней участвовало всего 43 экспонента, из которых 40 были иностранные фирмы, работавшие в России. Русских экспонентов было всего 3, именно — завод Розенкранца, экспонировавший изделия из электролитической меди, завод фон Рибена, выставивший образцы кабелей и проводов, и завод бр. Корниловых, экспонировавший фарфоровые изоляторы.

В каком состоянии была электротехника в Петербурге к началу XX столетия, можно видеть из перечня технических экскурсий, организованных во время съезда. Члены съезда посетили центральные станции четырех обществ, снабжавших Петербург электрической энергией. Из них 3 наиболее мощные принадлежали иностранным обществам («Общество 1886 г.», «Бельгийское общество» и Общество «Гелиос»), и только одна электростанция, снабжавшая энергией Васильевский остров, принадлежала русскому предпринимателю инж. Н. В. Смирнову. Станция «Общество 1886 г.» давала трехфазный ток, остальные три — однофазный.

Кроме того, было осмотрено несколько мелких блок-станций во дворцах и высших школах. Из электротехнических заводов участникам съезда были показаны завод Сименс и Гальске и кабельный завод фон Рибена. Кроме того, была осмотрена электролитическая мастерская Ижорского завода. Из научных и исследовательских учреждений были показаны — Электротехническая лаборатория Главной палаты мер и весов и несколько электротехнических лабораторий высших школ (Горного, Электротехнического и Технологического институтов).

Первому съезду, конечно, далеко не удалось закончить рассмотрение всех поднятых на съезде вопросов. Многие из них не были даже достаточно полно обсуждены. Но все же работа съезда

¹ 31 марта н. с. (ред).

имела громадное значение для развития русской электротехники. Доклады на съезде, выставка и экскурсии обнаружили слабые места русской электропромышленности на рубеже XIX и XX столетий. Далее на съезде с очевидностью выявилось то засилие иностранных фирм, которое было одной из причин слабого развития отечественной электропромышленности. На съезде объективно выявился ряд других причин, мешавших развитию электропромышленности и электростроительству и, наконец, что было особенно важно, съезд показал, что, несмотря на ряд неблагоприятных условий, все же русская электротехническая жизнь, блестящее начало которой было положено русскими пионерами электриками второй половины XIX века, не угасла, и продолжается и для своего расцвета требует только благоприятных условий. Для создания этих условий съездом был задуман ряд мероприятий, изложенных в постановлениях съезда. Эти постановления касались и законодательных мер, и технических, и экономических мероприятий. Некоторые из них были постепенно осуществлены и дали значительные результаты. К сожалению, многие так и остались неосуществленными.

Создание Постоянного комитета всероссийских электротехнических съездов было одним из важнейших результатов деятельности Первого съезда. Существование такой постоянно действующей съездовой организации, во-первых, обеспечивало регулярность созыва последующих съездов, во-вторых, создавало преемственность в работе съездов и, наконец, обеспечивало в междусъездовые промежутки исполнение всех поручений съездов, как-то: возбуждение нужных ходатайств, выполнение всех сношений с другими общественными и правительственными организациями и т. п. При Постоянном комитете постепенно создавались другие, тоже постоянно действующие организации, которые занимались сбором всякого рода сведений, интересовавших съезды, разработкой для съездов крупных вопросов и т. п. К числу таких постоянно действующих организаций принадлежали Постоянная комиссия по правилам и нормам, Секретариат по электрическим станциям, Секретариат по электрической тяге и др. Кроме постоянных комиссий при Комитете всегда работал и ряд специальных временных комиссий, выполнявших отдельные задания съездов, подготовлявших новые вопросы для внесения на съезд и т. п. Состав Постоянного комитета возобновлялся на каждом съезде, причем члены Комитета избирались персонально на общем собрании съезда. На общем же собрании избирались и члены главных комиссий, работавших при Постоянном комитете. Таким образом, вся междусъездовая работа, вся организационная и вся подготовительная работа, связанная со съездами, велась под ближайшим руководством съездов, лицами, им выбранными. В члены Постоянного комитета, имевшего местопребывание в Петербурге, выбирались и лица из других городов, особенно из тех, где имелись свои электротехнические организации или где особенно широко развивались применения электричества. Такая организация Постоянного

комитета делала его действительно Всероссийским органом и создавала ему нужный авторитет. Благодаря настойчивости и систематической работе Постоянному комитету удавалось в течение многих лет систематически собирать всероссийские электротехнические съезды и сосредоточивать их работу на вопросах, имевших особо большое значение для развития русской электротехники.

До первой империалистической войны было собрано семь съездов. Следовали они один за другим регулярно, почти всегда через два года, в разных городах, именно: II съезд, подготовленный уже Постоянным комитетом, происходил в Москве в 1901—1902 гг., III съезд — в Петербурге в 1903—1904 гг., IV съезд — в Киеве в 1907 г., V съезд — в Москве в 1908—1909 гг., VI съезд — в Петербурге в 1910—1911 гг., VII съезд — в Москве в 1912—1913 гг. Последние два съезда, VIII и IX, собирались в Москве уже после Великой Октябрьской социалистической революции в 1921 и в 1928 гг.

Все съезды занимались прежде всего рассмотрением правил, норм и стандартов в области электротехники, вносившихся на съезды как Постоянным комитетом, так и другими общественными и правительственными организациями. Съезды издавали сборники правил и норм, одобренных съездами, служившими основой для проектирования и осуществления как электрических установок, так и предметов оборудования этих установок, в том числе: генераторов, электродвигателей, трансформаторов, кабелей и пр. Рассмотрение проектов правил и норм в области электротехники было одним из основных занятий всех съездов. На всех съездах обязательно уделялось время для нескольких докладов и сообщений научного характера. По содержанию этих докладов и сообщений можно судить о тех теоретических вопросах, которые интересовали электриков в годы каждого съезда. Так, на Первом съезде проф. Н. Г. Егоров сделал сообщение под названием «Столетие электрического тока» по случаю исполнившегося в год съезда столетия открытия первого источника электрического тока — вольтова столба. В своем сообщении проф. Егоров указал, что первое открытие, связанное с применением тока, получившим большое практическое значение, было сделано почти немедленно после открытия Вольта русским ученым В. В. Петровым, открывшим явление электрической дуги. Проф. И. И. Боргман в числе других сообщений сделал сообщение «Явления, называемые беккерелевыми (урановыми) лучами». На следующих съездах делали научные сообщения кроме Егорова, профессора Миткевич, Лебединский, Эйхенвальд, Кравец, Круг, Лазарев и др.

Одним из основных вопросов на съездах был вопрос об установлении в законодательном порядке определенной системы электрических единиц. Вопрос этот возник на Втором съезде в связи с вопросом об учете электрической энергии, потребляемой для различных целей, получаемой от электрических станций общего пользования. В то время единственная международная, признанная правительствами всех

стран, организация, ведавшая единицами мер и устанавливавшая их эталоны — Международный комитет мер и весов — ведал только единицами длины, массы и температуры. Электрические, магнитные, световые и тепловые (кроме температуры) единицы вошли в круг ведения этого Комитета значительно позже, в значительной степени по инициативе и настойчивости советских метрологов. В дореволюционной России были утверждены законом только единицы длины, единицы массы (веса) и температурные шкалы. Развитие электротехники и светотехники требовало установления световых и электрических единиц. Электрическими единицами были одобренные Парижским международным электротехническим конгрессом, так называемые, «практические» единицы, связанные с системой CGS. Их и применяли в России, но легализованы они не были. Необходимость легализации электрических единиц возникла у нас как только электрическая энергия стала предметом купли и продажи, что вызвало необходимость учета этой энергии в совершенно определенных единицах. Съезд обратился к правительству с ходатайством о признании законными электрические и магнитные единицы, устанавливаемые международными электротехническими конгрессами. Это положило начало введению в России законной системы электрических и магнитных единиц. В этот же период в Главной палате мер и весов, проверявшей до того времени лишь меры длины и массы (веса), началась проверка электрических измерительных приборов и, в частности, электрических счетчиков. Потребовалось установление норм для счетчиков и правил проверки. Поэтому вопросу на Втором сезде по докладу представителей Главной палаты мер и весов и VI отдела РТО, представившего проект норм для счетчиков, возникли большие прения, закончившиеся только на Третьем съезде, на котором по этому вопросу были приняты определенные решения, на долгое время упорядочившие у нас учет электрической энергии.

Однако, лишь на Седьмом съезде проф. Н. Г. Егоров, бывший в то время управляющим Главной палатой мер и весов, смог сделать доклад об изданном правительством законе об электрических единицах и о введении правительственной проверки электроизмерительных приборов. Его сотрудники сделали сообщения о созданных в Главной палате мер и весов русских эталонах международного ома и международного вольта.

Другими вопросами, привлекавшими внимание нескольких съездов, был вопрос об использовании водных сил и связанный с ним вопрос об электрической передаче электроэнергии на большие расстояния. Эти вопросы, как было сказано выше, были подняты уже на Первом съезде и обсуждались на нем с участием М. О. Доливо-Добровольского. Но особо большое место им было уделено на Третьем съезде, при открытии которого председатель Русского технического общества В. И. Ковалевский произнес большую речь, посвященную «белому углю», в которой он давал оценку мощности гидравлических источников энергии в России (в том числе Днепр —

240 000 л. с., Нарва — 38 000 л. с., Волхов — 33 000 л. с. и т. д.) и указывал, что использование этой мощности дает экономию в 245 млн. пудов угля в год. В. И. Ковалевский предлагал возбудить перед правительством вопрос: 1) об обстоятельном исследовании гидравлических ресурсов в России и 2) о скорейшем законодательстве о праве на водную энергию и о праве пользования землей для линий электропередачи. Интересно заметить, что при оценке экономичности использования водной энергии один из выступавших в своем докладе «Электропередача водной энергии, как элемент экономической помощи государству» за базу сравнения взял стоимость одного киловатт-часа мускульной энергии «мужика», которую он определял в 10 коп., а в некоторых губерниях и дешевле. Эту цифру он считал предельной для стоимости электрической энергии, которая могла бы «облагородить труд, заменив мускульную энергию электрической».

Обсуждение вопросов об утилизации водных сил и об устройстве электропередачи высокого напряжения продолжалось на Первом съезде и на последующих. На Третьем и Пятом съездах были сделаны доклады о первой гидроэлектрической установке на р. Подкумке на кавказских минеральных водах с напряжением электропередачи в 8 000 в и об электропередаче от Бакинских паровых станций с напряжением 20 000 в.

Еще одним крупным вопросом, которому все съезды уделяли особое внимание, был вопрос об электрификации транспорта. Конечно, съезды больше всего занимались транспортом по рельсам, особенно трамваями, но также уделяли внимание и безрельсовому транспорту — автобусам, питаемым от воздушных проводов, т. е. троллейбусам. Выступавшие в прениях сомневались в возможности применения подобных автобусов в городах, считая, что нельзя достигнуть с ними достаточной скорости движения. Вопросы электрической тяги на магистральных железных дорогах тоже рассматривались на съездах, например, как было уже сказано на Первом съезде, рассматривался вопрос о применении для тяги трехфазного тока. По этому вопросу на Втором съезде был сделан специальный доклад. На Четвертом съезде обсуждался и вопрос о применении для электрической тяги однофазного тока высокого напряжения. Было предложено широко применять подвесные электрические железные дороги и как пример выгоды приводились расчеты для Николаевской (Октябрьской) железной дороги, для которой при устройстве подвесной дороги время пробега от Петербурга до Москвы сильно уменьшилось и резко снижалась стоимость проезда. По инициативе министерства путей сообщения и Железнодорожного (VIII) отдела РТО на съездах затрагивались даже такие вопросы, как вопрос об электрификации Сибирской и Черноморской железных дорог.

Поднимались также вопросы электрической тяги на водных путях (каналах). Вообще электрической тяге съезды придавали

настолько большое значение, что при Постоянном комитете съездов был учрежден специальный секретариат по электрической тяге, собиравший сведения о работе электрических трамваев в России и подготавливавший доклады для очередных съездов.

На съездах много говорилось и об электрической сварке. Электрическая сварка, это чисто русское изобретение, получило применение во всем мире, но на своей родине в России распространение ее задерживалось рядом административных мер. Как говорилось выше, Первый съезд уже возбудил по этому поводу соответствующее ходатайство, но особое внимание электрической сварке уделил Второй и Третий съезды, обсудившие сообщения РТО, выработавшего правила приема изделий, подвергшихся обработке по способам Славянова и Бенардоса, и о результатах применения электрической сварки на заводах и на железных дорогах. На съезде присутствовал один из изобретателей электрической сварки, Н. Н. Бенардос, который был избран Почетным председателем заседания, на котором рассматривались вопросы сварки. Это было первым общественным признанием заслуг пионера русской электротехники.

На съездах делались доклады о только что нарождавшейся в России электрометаллургической и электрохимической промышленности. Уже на Четвертом съезде сделан был доклад об электрических методах утилизации атмосферного азота. Об аналогичных работах Миткевича и Гордова говорилось на Пятом съезде. На этом же съезде докладывалось также об успехах развития в России электрометаллургической промышленности. Тогда же при обсуждении вопроса о ферросплавах было указано, что крупнейшее усовершенствование в этом деле было сделано А. Н. Лодыгиным, который должен был ждать 15 лет, пока удалось, наконец, осуществить изобретенную им печь для ферросплавов.

От внимания съездов не ускользнули также вопросы применения электричества в сельском хозяйстве. Уже на Втором съезде было сделано сообщение об использовании электрической энергии в сельском хозяйстве, в частности, для пахоты. Стоимость вспашки определялась от 2 до 16 руб. за десятину. Однако, широкого освещения этот вопрос на съездах не получил. И только после Великой Октябрьской социалистической революции началась широкая электрификация сельского хозяйства.

Много внимания было уделено съездами вопросам электрической терминологии, к которым возвращались почти на всех съездах.

Одной из забот съездов была организация русской электротехнической общест-венности. По мере роста электропромышленности и электростроительства в России расширялся круг электротехников, притом не только в Петербурге и Москве, но и во многих провинциальных городах; возникали новые электротехнические общества. Все эти электротехнические общества работали в отрыве друг от дру-

га и представители их встречались лишь на электротехнических съездах. Понятно, что на этих съездах неоднократно возникали вопросы о создании в России единого центра электротехнической общест-венности. Сначала было принято скромное решение о введении в Постоянный комитет съездов представителей с мест. Однако, эта мера оказалась недостаточной. Была намечена организация Всероссийского союза электротехнических обществ. Союз этот, однако, организован не был из-за начавшейся в 1914 г. войны, которая вообще прервала работу съездов: Седьмой съезд (1912—1913 гг. в Москве) был последним съездом до Революции.

Следующие съезды (Восьмой и Девятый) были собраны в Москве уже после Великой Октябрьской социалистической революции. Съезды эти носили уже совсем другой характер, чем первые семь — дореволюционных. Начать с того, что если дореволюционные съезды собирались по сути против воли царского правительства, то съезды советского периода созывались не только при полном содействии правительственных органов, но и по их инициативе.

Восьмой съезд в 1921 г. был созван по декрету Совета Народных Комиссаров от 8 февраля 1921 г. для рассмотрения плана ГОЭЛРО. Сам Ленин приветствовал Восьмой съезд и в особом письме пожелал съезду успеха³. Известно, как высоко оценил мнение электротехнического съезда о ГОЭЛРО Владимир Ильич Ленин, сообщивший о нем даже IX съезду Советов⁴.

Восьмой электротехнический съезд привлёк большое число участников: 893 делегата из 100 городов РСФСР и более 400 гостей. Кроме рассмотрения плана ГОЭЛРО Восьмой съезд уделил еще много внимания вопросам быстрейшего развития у нас электротехнической промышленности, а также вопросам электрификации отдельных отраслей промышленности (нефтяной, металлургической и др.), как средства увеличения их производительности. Съезд проработал также ряд вопросов, связанных с электрификацией сельского хозяйства, в частности, вопрос о сооружении для этой цели мелких тепловых и гидравлических электростанций, вопрос об электрификации железных дорог и некоторые другие.

Следующий, Девятый, электротехнический съезд (уже Всесоюзный съезд) был собран в 1928 г. За период, истекший после Восьмого электротехнического съезда, страна наша уже в значительной степени электрифицировалась: были восстановлены почти все ранее существовавшие электростанции и, главное, построены или строились новые крупнейшие гидравлические и тепловые станции и высоковольтные линии электропередачи. Развились также распределительные сети. К Девятому съезду у нас появился уже собственный опыт строительства и эксплуатации крупных электросооружений. Практика проектирования строительства и эксплуатации новых сооружений показала, что следует комплексно рассматривать

³ Собр. соч. В. И. Ленина, 3-ье изд., т. XXVII, стр. 21

⁴ Там же, стр. 131.

вопросы электротехнические, теплотехнические и гидравлические. Правильное решение вопросов электрификации требовало совместного рассмотрения всех этих вопросов. Поэтому первым вопросом, рассмотренным собравшимся в 1929 г. вместе с участниками Девятого электротехнического и Четвертого теплотехнического съездов, был вопрос, поставленный Г. М. Кржижановским в его вступительной речи с б о б ъ е д и н е н и и э л е к т р о т е х н и ч е с к и х и т е п л о т е х н и ч е с к и х с ъ е з д о в в о д и н «Всесоюзный энергетический съезд», в составе которого и работали оба соборанных съезда. Этот вопрос был решен положительно.

На общих собраниях Первого всесоюзного энергетического съезда обсуждались вопросы, связанные со всем энергетическим хозяйством СССР; на отдельных заседаниях съезда рассматривались более частные вопросы.

На Энергетическом съезде, как и на предыдущих электротехнических, было уделено большое внимание вопросам электрификации отдельных отраслей народного хозяйства и транспорта. Особое внимание было уделено электрификации сельского хозяйства. Были подняты и вопросы о совместной работе гидростанций и тепловых станций на общую сеть и о связи между крупными электроснабжающими системами. Было уделено много внимания экономическим вопросам электростроительства. Новое строительство потребовало новых норм и правил в области электротехники, новых технических условий на материалы и изделия для быстро растущей советской электротехнической промышленности. Поэтому Энергетическому съезду пришлось уделить много времени рассмотрению значительного количества проектов правил, норм и технических условий,

выработанных и внесенных на одобрение съезда Центральным электротехническим советом. Эти «Правила и нормы IX съезда» действовали много лет после съезда и только постепенно заменялись новыми, по мере накопления опыта и совершенствования производства.

За годы сталинских пятилеток в СССР был достигнут невиданный в истории техники прогресс энергетики; планомерной электрификацией охвачены все отрасли народного хозяйства и культуры. Создание ряда хозяйственных органов, ведающих различными отраслями энергетики СССР, потребовали новых, более гибких форм участия энергетической общественности. Такие формы были найдены в организации ряда всесоюзных научных инженерно-технических обществ (ВНИТО), объединяемых одним общим Советом (ВСНИТО). Одно из этих обществ — **Всесоюзное научное инженерно-техническое общество энергетики (ВНИТОЭ)**, объединяет теперь около 12 000 энергетиков и имеет свыше 30 отделений во всех республиках и областях Советского Союза.

Электротехнические съезды немало помогли борьбе за расцвет и развитие русской электротехники и положили начало объединению тех русских электриков, которые после Великого Октября с энтузиазмом включились в работу по осуществлению великой идеи Ленина и Сталина — электрификации всей страны Советов.

Под гениальным руководством товарища Сталина советские электротехники добились за истекшие годы больших и серьезных успехов. Научная и инженерная энергетическая общественность Советского Союза мобилизует силы и знания для дальнейшего движения вперед по историческому пути, указанному великим Сталиным.



ВЫПРЯМЛЕНИЕ В НЕЛИНЕЙНЫХ СИММЕТРИЧНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И МАГНИТНЫХ ЦЕПЯХ

На использовании нелинейных элементов с асимметричными вольтамперными характеристиками основаны все современные выпрямляющие устройства. При симметричной характеристике выпрямление не происходит и имеет место лишь искажение формы кривой протекающего через нелинейный элемент тока. В случаях же, когда напряжение на зажимах нелинейного элемента содержит две отличающиеся по частоте составляющие, при определенных отношениях этих частот может возникнуть выпрямление.

М. А. Розенблат (ИАТ Академии наук СССР) вычислял необходимые для выпрямления отношения указанных частот применительно к различным случаям нелинейности элементов. Причем найденные им отношения распространяются не только на электрические, но и на магнитные нелинейные симметричные цепи. Так, при намагничивании ферромагнитного материала полями двух различных частот, с соблюдением установленных автором отношений, в магнитном материале появляется постоянная составляющая магнитной индукции, несмотря на отсутствие постоянной составляющей м. д. с. Правильное использование явления магнитного выпрямления позволяет улучшить характеристики магнитных усилителей.

Величина выпрямленного тока в электрических цепях, так же, как и величина постоянной составляющей магнитной индукции, определяется путем аппроксимации характеристики нелинейного элемента по формуле, предложенной автором.

(Доклады Академии наук СССР, т. 68, № 3, 1949, М. А. Розенблат.)

УПРАВЛЕНИЕ ОДНОФАЗНЫМ ДВИГАТЕЛЕМ С ЭКРАНИРОВАННЫМИ ПОЛЮСАМИ В ПРИБОРАХ АВТОМАТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ

Однофазные асинхронные двигатели с экранированными полюсами находят применение в качестве исполнительных двигателей следящих систем автоматического контроля. Преимуществом этих двигателей является, в частности, возможность управления ими посредством анодного тока усилительной лампы и возможность простого решения задачи перехода от электрической схемы измерения входного параметра, электронной схемы усиления и преобразования к управлению исполнительным двигателем. В этой работе рассмотрены пути обеспечения оптимальных параметров пусковой схемы, критерием чего является максимум крутящего момента двигателя в неподвижном состоянии.

Предварительно выясняется аналитически, что когда пуск двигателя осуществляется замыканием экранирующих катушек накоротко, тогда пусковой момент не зависит от числа витков катушек, но вместе с тем существует оптимальное для пускового момента значение сечения меди экранирующих катушек.

При наличии в цепи экранирующих катушек нагрузки число витков резко сказывается на величине пускового момента.

Пусковой момент можно представить так:

$$T_s = \frac{k R_{\mu}}{\omega} P_2,$$

где P_2 — мощность потерь в экранирующих катушках;

R_{μ} — модуль комплексного сопротивления магнитной цепи двигателя.

Изменяя величину сопротивления в цепи экранирующих катушек, можно изменять величину и знак пускового момента. В качестве нагрузочного сопротивления можно применить электронную лампу. В этом случае сопротивление управляется сеточным смещением.

Когда лампа включается в цепь экранирующих катушек через посредство трансформатора, тогда осуществляется подмагничивание трансформатора постоянной составляющей вторичного тока. Вследствие этого варьирование сеточного смещения влечет за собой изменение

реактивного сопротивления первичной цепи трансформатора и величины отдаваемой катушками мощности.

Анализ показывает, что в этой схеме имеются два параметра управления — сопротивление лампы и магнитное сопротивление стали трансформатора. Для схемы управления должна быть выбрана мощная лампа с малым внутренним сопротивлением. Магнитное сопротивление стали трансформатора можно варьировать путем изменения величины подмагничивания. Чем больше отношение сопротивления вторичной обмотки трансформатора к сопротивлению лампы и чем больше сечение меди вторичной обмотки, тем больше будут ампервитки подмагничивания. Эксперимент позволяет рекомендовать соотношение $0,1 Q \leq Q_1 \leq 0,3 Q$, где Q_1 — площадь окна, занимаемая первичной обмоткой, а Q — площадь окна трансформатора.

Увеличение сечения стали трансформатора также влечет за собой возрастание предельной мощности, отбираемой из экранирующих катушек.

(Автоматика и телемеханика, т. 10, № 4 1949, Л. Л. Декабрун)

РАЗЪЕДИНИТЕЛИ НАРУЖНОЙ УСТАНОВКИ НА 154 и 220 кВ

Описываются два новых типа разъединителей, выпущенных заводом «Электроаппарат» — на 220 кВ (РЛНЗ-220) и на 154 кВ (РЛНЗ-154). Оба типа построены на тех же принципах, как и разъединители на 35 и 110 кВ, и являются дальнейшим развитием этой конструкции. Каждый из трех полюсов разъединителя состоит из сварного цоколя, на котором установлены три колонны, собранные из штыревых изоляторов ИШД-35. Средняя колонна является поворотной.

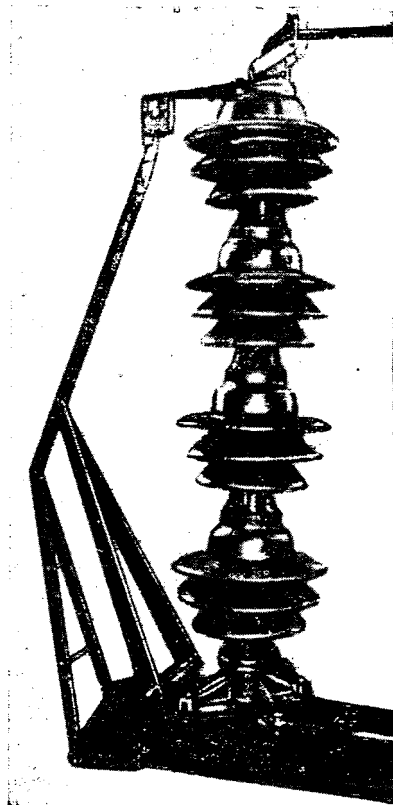


Рис. 1. Нож заземления.

В статье помещены 2 фотографии, 2 чертежа с основными размерами и 2 кинематические схемы механизма ножа и механизма передачи к сигнально-блокировочным контактам (рис. 1 и 2).

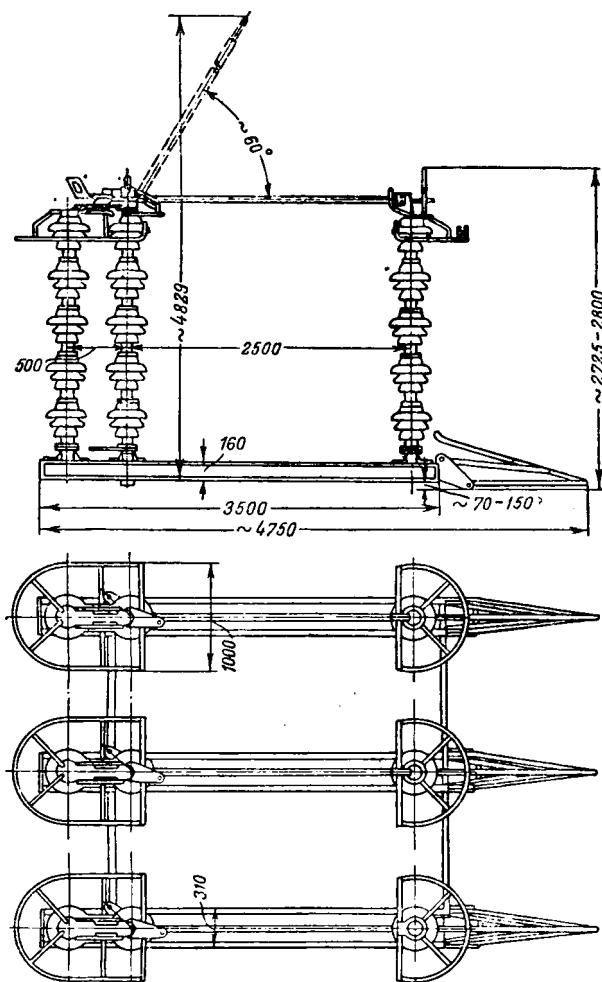


Рис. 2. Разъединитель типа РЛНЗ-220.

Технические данные разъединителей характеризуются таблицей:

Тип	Номинальное напряжение, кВ	Номинальный ток, А	Ток термической устойчивости (10-сек. значение), кА	Предельный сквозной ток короткого замыкания, кА	
				амплитуда	эффективное значение
РЛНЗ-154	154	600	10	50	29
РЛНЗ-220	220	600	10	50	29

(Вестник электропромышленности, № 7, 1949, В. Б. Гурвич)

ВКЛЮЧЕНИЕ СИНХРОННЫХ ГЕНЕРАТОРОВ НА ПАРАЛЛЕЛЬНУЮ РАБОТУ ПО МЕТОДУ САМОСИНХРОНИЗАЦИИ

В статье дается описание физической стороны процесса самосинхронизации, состоящего в том, что генератор разворачивается первичным двигателем лишь с точностью $\pm 2 \div 5\%$ синхронного числа оборотов, включается без возбуждения в сеть, после чего подается возбуждение и генератор втягивается в синхронизм. Приведена осциллограмма изменения токов статора и ротора при включении этим методом генератора 50 тыс. кВт завода «Электросила». Показано, что никаких опасных для машины явлений возникнуть не может.

Переходный процесс длится 1,0—2,0 сек. и лучше всего протекает при скольжениях, лежащих в пределах

$\pm 2 \div 3\%$, но может успешно применяться и при скольжениях вплоть до 10%.

В выводах отмечается целесообразность широкого внедрения самосинхронизации, причем в аварийных условиях следует рекомендовать применение этого метода для всех машин, хотя бы при этом получались толчки тока больше чем $3,0 \div 3,5 I_N$.

(Электрические станции, № 9, 1949, Л. Г. Мамиконян, И. А. Сыромятников)

САМОСИНХРОНИЗАЦИЯ ГЕНЕРАТОРА СРЕДНЕЙ МОЩНОСТИ

Описывается успешное применение метода самосинхронизации для включения гидрогенератора мощностью 15 000 кВт при 6,6 кВ и 167,5 об/мин. Даны схема управления выключателем и автоматом гашения поля (АГП) при самосинхронизации и схема реле скольжения. Приведены характеристики пуска генератора и осциллограммы изменения тока в обмотке статора, напряжения на выводах и напряжения на кольцах ротора. В выводах отмечается эффективность применения метода самосинхронизации, исключающего ошибки персонала при включении генератора на параллельную работу и простоту схемы управления.

(Электрические станции, № 9, 1949, Э. Г. Файнштейн)

ЗА РУБЕЖОМ

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ПОДЗЕМНОГО КАБЕЛЯ В СЕЛЬСКИХ СЕТЯХ

В Северном Иллинойсе (США) с 1936 г. в сельских сетях применяется подземный однофазный кабель при напряжении 4 160 в.

Впервые в 1936 г. было проложено 5,6 км кабеля, внутренняя жила которого состояла из сплошного медного провода сечением 13,3 мм² с резиновой изоляцией толщиной 3,5 мм. Второй провод выполнен из семи голых медных проволок сечением по 2,1 мм², навитых concentрически на изолированную центральную жилу. Распределительные трансформаторы были установлены на воздушных опорах обычного типа.

В конце 1937 г. было проложено еще 18,4 км кабеля с изоляцией одиннадцати различных типов. Результаты эксплуатации в течение первых 15 мес. были отрицательными. Произошло 8 повреждений в кабеле, 3 повреждения в соединениях и 3 на выводах.

В 1939 г. начата прокладка новой, улучшенной конструкции кабеля с основной жилой сечением 13,3 мм² и слоем резиновой изоляции толщиной 3,5 мм, стойкой против действия озона. Изолированная жила заключена в чехол из неопрена толщиной 1,2 мм. Второй провод состоит из семи голых медных жил сечением по 2,1 мм навитых на основную жилу.

Кабель прокладывался в траншею шириной 100—150 мм и глубиной 1 м, сделанной специальным канавкопатель. На ровной местности один канавкопатель с бригадой рабочих давал возможность уложить 1,5 км кабеля за 8 час.

Стоимость кабельной линии составляла 160—200% от стоимости воздушной линии того же сечения.

К настоящему времени проложено всего 260 км кабеля. При этом на 100 км кабельной линии в год имело место 2,7 повреждения, тогда как для первых типов кабеля их было 24.

Более высокая стоимость кабельных линий в сельских местностях оправдывается уменьшением числа повреждений по сравнению с воздушными линиями¹.

[El. World, т. 132, стр. 79—82, № 5, 1949, A. D. Caskey, C. A. Jaques].

Кандидат с.-х. наук И. А. БУДЗКО

¹ Примечание референта. Использование кабелей 6 + 10 кв улучшенной конструкции может оказаться полезным при осуществлении сельской электрификации безлесных районов Советского Союза.



Номинальные напряжения стационарных электрических сетей

Проект стандарта

(Проект составлен ЦНИЭЛ МЭС и печатается для ознакомления с ним заинтересованных организаций и обсуждения его электротехнической общественностью)

Начало дискуссии по проекту помещено в настоящем номере журнала (стр. 78). Редакция обращается к читателям с просьбой прислать свои замечания по проекту.

1. ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ

1. Настоящий стандарт распространяется на стационарные электрические сети постоянного тока и переменного тока 50 гц и на работающие в них трансформаторы, аппаратуру, силовые кабели и подключенные к этим сетям генераторы и приемники электрической энергии.

2. Настоящий стандарт не распространяется на:

а) электрические сети подвижных установок (подвижной состав поездов, автомобили, самолеты, речные и морские суда и пр.);

б) электрические сети установок радиотехники, связи, железнодорожной сигнализации и автоблокировки;

в) электрические сети специальных стационарных установок (установки электрической тяги, электрические печи, электролизные установки, выпрямители и проч.);

г) сварочные и зарядные генераторы;

д) цепи, замкнутые внутри приемников и агрегатов (цепи индивидуального возбуждения машин и др.);

е) измерительные приборы, реле и т. п.

Примечания: 1. Электрические цепи оборудования, указанного в п. 2, предназначенные для подключения к стационарным электрическим сетям, должны иметь номинальные напряжения, согласно настоящему стандарту.

2. Для электрических сетей, перечисленных в п. 2 а) и б), рекомендуется применение номинальных напряжений, указанных в настоящем стандарте.

II. ОПРЕДЕЛЕНИЯ

3. Номинальным напряжением стационарной электрической сети (именуемым ниже «Номинальное напряжение сети») называется установленное для нее условное напряжение, которое определяет соответствующие ему номинальные напряжения трансформаторов, силовых кабелей и аппаратуры, работающих в этой сети, и присоединенных непосредственно к ней генераторов и приемников электрической энергии.

4. Номинальным напряжением генераторов, трансформаторов и приемников электрической энергии называется напряжение, для работы при котором они предназначены в оптимальном режиме.

5. Номинальным напряжением аппаратуры и силовых кабелей называется номинальное напряжение сети, для работы в которой они предназначены.

6. Наивысшим напряжением сети называется наибольшее напряжение, для длительной и надежной работы при котором должно быть рассчитано все оборудование этой сети и непосредственно приключенные к ней приемники электрической энергии.

III. ТАБЛИЦЫ НОМИНАЛЬНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ

Таблица 1

Номинальные напряжения до 100 в

Номинальные напряжения, в		
Постоянного тока	Трехфазного тока 50 гц (междуфазовое)	Однофазного тока 50 гц
6	—	—
12	—	12
24	—	—
—	36	36
48	—	—

Таблица 2

Номинальные напряжения от 100 до 1000 в

Номинальные напряжения сети и приемников электрической энергии, в		Номинальные напряжения, в					
Постоянного тока	Трехфазного тока 50 гц		Генераторов		Трансформаторов		
	междуфазовое	фазовое	постоянного тока	трехфазного тока 50 гц (междуфазовое)	Трехфазного тока 50 гц (междуфазовое)		Однофазного тока 50 гц
					первичные обмотки	вторичные обмотки	
110	—	—	115	—	—	—	—
220	220	127	230	230	220	230	127
—	380	220	—	400	380	400	133
440	—	—	460	—	—	—	—
—	1 000	—	—	1 050	1 000	1 050	—

Таблица 3

Номинальные напряжения свыше 1000 в

Номинальное напряжение сети трехфазного тока 50 гц, кВ	Номинальные междуфазовые напряжения трехфазного тока 50 гц, в				Наивысшее напряжение сети трехфазного тока 50 гц, кВ
	Приемников электрических, аппаратуры и силовых кабелей	Генераторов	Трансформаторов		
			первичные обмотки	вторичные обмотки	
3	3	3,15	3 и 3,15	3,15 и 3,3	3,5
6	6	6,3	6 и 6,3	6,3 и 6,6	7,0
10	10	10,5	10 и 10,5	10,5 и 11	11,5
—	—	(13,8)	(13,8)	—	—
—	—	(15,75)	(15,75)	—	—
20	20	21	20 и 21	21 и 22	23
35	35	—	35	38,5	40,5
(60)	60	—	60	66	69
110	110	—	110	121	127
150	150	—	150	165	173
220	220	—	220	242	253
400	400	—	400	440	440

Примечания: 1. Напряжения 13,8 и 15,75 кВ допускаются к применению для турбогенераторов 100 мвт и выше и гидрогенераторов 50 мвт и выше и подключаемых непосредственно к ним первичных обмоток трансформаторов при отсутствии потребителей на генераторном напряжении при наличии в этом значительных технико-экономических преимуществ. 2. Напряжения 3,15; 6,3; 10,5 и 21 кВ первичных обмоток трансформаторов относятся к трансформаторам, присоединяемым непосредственно к сборным шинам или к шинам генераторов. 3. Напряжения 3,3; 6,6; 11 и 22 кВ вторичных обмоток трансформаторов относятся к позитивным трансформаторам с повышенным напряжением короткого замыкания (7,5% и более). 4. Для существующих сетей с номинальным напряжением 0,6; 1,1; 15 и 31,5 кВ допускается изготовление трансформаторов и приемников электрической энергии. 5. Оборудование на напряжение 60 кВ изготавливается как для существующих установок, так и для новых установок с ограниченным количеством модификаций. 6. Номинальные напряжения синхронных компенсаторов устанавливаются ГОСТ на синхронные компенсаторы равны номинальным напряжениям генераторов или вторичных обмоток трансформаторов, согласно настоящему стандарту. 7. Допускается изготовление одного и того же оборудования, предназначенного для работы в сетях различных номинальных напряжений, в случае, если изготовление оборудования на каждое напряжение нецелесообразно (например, кабели напряжением 1 кВ могут предназначаться также для работы в сетях с номинальным напряжением 110, 380 в и др.).

К проекту стандарта на номинальные напряжения стационарных электрических сетей

Шкала стандартных напряжений в диапазоне 10—220 кВ детально обсуждалась на страницах журнала (№ 5 и 6, 1949 г.) в связи со статьей А. А. Глазунова и С. А. Геликонского, опубликованной в № 11 журнала за 1948 г. Ниже приводятся замечания по проекту номинальных напряжений стационарных электрических сетей, разработанному недавно ЦНИЭЛ МЭС (проект помещен в настоящем номере, стр. 77).

Инж. К. А. СМЕРНОВ

ЦНИЭЛ МЭС

Действующий в настоящее время ГОСТ 721-41 на номинальные напряжения имеет в диапазоне от 100 в до 220 кВ следующие номинальные напряжения переменного тока: 127, 220, 380 и 500 в; 3, 6, 10, 35, 110, 154 и 220 кВ, в числе которых напряжение 154 кВ является нереконструируемым.

Эта шкала напряжений не может в необходимой степени удовлетворить тому многообразию условий, в которых сооружаются и будут эксплуатироваться наши электрические системы. В ряде случаев существующие номинальные напряжения не могут обеспечить наилучшие технико-экономические решения. Основным недостатком существующей шкалы номинальных напряжений являются большие разрывы между напряжениями 110 и 220 кВ, между 35 и 110 кВ, между 10 и 35 кВ и между 500 в и 3 кВ.

Проект нового ГОСТ в возможной степени устраняет эти недостатки. Напряжение 154 кВ рекомендуется проектом ГОСТ к применению наравне с остальными стандартными напряжениями. Вводятся новые стандартные номинальные напряжения 60 и 20 кВ, вводится напряжение 1000 в взамен напряжения 500 в.

Сооружение в предстоящее время крупных гидроэлектростанций и комбинированное их использование с тепловыми станциями повлечет за собой дальнейшее развитие крупных энергосистем с передачей энергии на большие расстояния. Стремление сократить резервы в системах и необходимость резервировать от общей сети местные городские и районные сети также вызовет создание протяженных электрических сетей и объединение существующих электрических систем между собой. При этом необходимо учесть значительное развитие в ближайшее время местных сетей в связи с предстоящей широкой электрификацией сельского хозяйства.

Таким образом, необходимо считаться с тем, что в ближайшее время на больших территориях страны появятся новые сети высокого напряжения. Эти сети будут основным связующим звеном в схеме электрификации районов, городов и областей.

Поэтому при решении вопроса о выборе напряжения сетей для каждой области, района, города или предприятия нужно будет в первую очередь исходить из того, какое высшее напряжение имеет или будет иметь основная высоковольтная сеть, охватывающая данную территорию.

Это накладывает на выбор напряжения местных сетей существенные ограничения.

Существующие типовые решения вопроса о распределении энергии от сетей 220 кВ посредством применения четырех трансформаций 220/110 кВ, 110/35 кВ, 35/6—10 кВ и 6—10/0,4 кВ создавалось исторически и в большинстве случаев не является удовлетворительным. Наличие четырех

трансформаций требует больших затрат на сооружение подстанций, на их обслуживание и на покрытие потерь в трансформаторах. Применение только трех трансформаций 220/110 кВ, 110/6—10 кВ и 6—10/0,4 кВ целесообразно лишь в очень редких случаях при больших плотностях нагрузки на напряжении 6—10 кВ. Наличие в шкале напряжения 60 кВ открывает в этом отношении большие возможности. Может быть создана сеть 60 кВ с трансформацией энергии непосредственно на 6—10 кВ.

Напряжение 220 кВ будет являться высшим напряжением многих обширных территорий страны. Очевидно, что электрификация сельского хозяйства и промышленности в районах этих территорий при низшем напряжении 6—10 кВ должна преимущественно базироваться не на применении напряжений 35 и 110 кВ, а на применении напряжения 60 кВ. Применение в этих районах напряжения 35 кВ, как правило, повлечет за собой четыре трансформации.

Уместно поставить вопрос о том, не будет ли целесообразно вообще отказаться от применения в дальнейшем напряжения 154 кВ и обойтись для высоковольтных сетей одной системой сопутствующих друг другу напряжений 220—110—35—10(6) кВ и выбирать в качестве высшего напряжения сетей одно из напряжений этой системы. Либо нужно иметь еще некоторые стандартные напряжения для высшего напряжения сетей и составления друг с другом сочетаний сопутствующих напряжений, а именно систем 60—10 кВ, 154—60—10 кВ, 220—60—10 кВ и др.

Существует мнение, что в условиях постепенного развития каждой энергосистемы всегда можно обойтись одной системой напряжений 220—110—35—10 кВ. Например, можно принять для некоторой сети напряжение 35 кВ, затем по мере роста нагрузки вводить дополнительно напряжение 110 кВ и, наконец, вводить напряжение 220 кВ. Наличие второй системы сопутствующих друг другу напряжений, например, 154—60—10 кВ будто бы ничего не дает, так как напряжения 35, 110 и 220 кВ будут во всех случаях так же выгодны, как и напряжения 60 и 154 кВ, одни лишь несколько раньше, а другие несколько позже по времени.

Но при этом в ряде случаев может оказаться, что после того как сеть сооружена на некоторое напряжение первой системы, например на 110 кВ, уже через небольшой промежуток времени потребуются реконструкция системы в связи с введением нового высшего напряжения 220 кВ. При этом часть еще не амортизировавшихся сооружений 110 кВ потеряет свое значение и, следовательно, затраченные материальные средства будут обесценены. В этом случае было бы выгоднее сооружать первую систему на некоторое напряжение, промежуточное между 110 и 220 кВ, с тем чтобы срок необходимой реконструкции сети в связи с введением нового высшего напряжения был возможно отдален и к моменту этой реконструкции оборудование существовавшего высшего напряжения было уже в значительной степени амортизировано.

Кроме того, необходимо учесть, что для многих энергосистем ориентироваться на равномерный рост энергии

потребления и соответственно этому равномерное развитие системы будет неправильно.

Имея в виду плановое и комплексное развитие хозяйства отдельных областей и перспективы строительства крупных электростанций, необходимо считать с тем, что могут быть случаи, при которых в относительно небольшие промежутки времени в связи со строительством крупных электростанций будет происходить быстрое развитие отдельных систем, а затем в относительно длительные периоды времени электрический режим этих систем будет в известной степени стабилизирован.

Выбор для этих длительных периодов неподходящего напряжения по причине отсутствия в шкале стандартных напряжений наимыгоднейшего напряжения может повлечь за собой большие излишние расходы для народного хозяйства. В частности, для некоторых систем для длительного периода времени напряжение 110 кВ будет недостаточным, а напряжение 220 кВ будет слишком высоким. В этих случаях правильнее применять напряжение 150 кВ. Это показывает опыт проектирования ряда энергосистем.

Таким образом, ограничение, имеющееся в отношении напряжения 154 кВ по существующему ГОСТ, должно быть снято. Необходимо дать возможность проектировщику при проектировании систем выбирать действительно наимыгоднейшее для предстоящего периода высокое напряжение сетей.

Следует также отметить, что при одном и том же высшем и низшем напряжениях сетей может быть целесообразно выбирать промежуточное напряжение различным в зависимости от характера размещения нагрузок и генерирующих точек для данного района.

Если для некоторых энергосистем применение напряжений 220—110—10 кВ будет удовлетворять характеру размещения нагрузок, то в других условиях при другом характере размещения нагрузок в отдельных точках это сочетание напряжений окажется совершенно неподходящим и правильным решением будет применение системы напряжений 220—60—10 кВ. Поэтому, учитывая, что необходимо удовлетворить самым разнообразным условиям, в которых работают наши энергосистемы, мы должны сделать вывод, что обойтись лишь одной системой сопутствующих напряжений 220—110—35—10 кВ не представляется возможным.

В проект стандарта введено напряжение 20 кВ. Основным мотивом к стандартизации этого напряжения является выгода его для целей сельской электрификации в тех случаях, когда высшим напряжением системы является 110 кВ.

Принятие напряжения 20 кВ позволит в этом случае электрифицировать район только при двух трансформаторах 110/20 кВ и 20/0,4 кВ. Заменить в данном случае напряжение 20 кВ напряжением 35 кВ нельзя, так как изготавливать трансформаторы 35/0,4 кВ необходимо для сельских установок мощности 10, 20, 50 кВА невыгодно. В то же время трансформаторы этих мощностей на напряжение 20 кВ изготавливать вполне рационально. Успешный опыт электрификации сельского хозяйства при напряжениях 110 и 20 кВ в Армении подтверждает техническую правильность подобного решения этого вопроса. Отсутствие в шкале напряжения 20 кВ непосредственно повлечет за собой в этих случаях применение трех трансформаторов. Применение напряжения 20 кВ, отсутствующего напряжению 110 кВ, при электрификации городов и промышленных предприятий позволит широко применять глубокий ввод напряжения 20 кВ в цехи предприятий и центры городов.

Возможность создания генераторов на напряжение 20 кВ позволит осуществить питание многих предприятий и городов без трансформирования энергии на повышенное напряжение.

Введение в стандарт напряжений 20 кВ, 60 кВ и 150 кВ не ставит перед электропромышленностью сколько-нибудь значительных новых задач. Оборудование 150 кВ и 20 кВ освоено заводами и изготавливается. Аппаратура 20 кВ предусмотрена в стандартах на выключатели, разъединители, трансформаторы тока и т. д. Напряжения 150 кВ, 60 кВ и 20 кВ фактически имеются в энергосистемах СССР и, следовательно, оборудование для них должно в дальнейшем изготавливаться.

Поскольку, однако, введение каждого нового стандартного напряжения значительно увеличивает количество

сочетаний напряжений, для которых должны изготавливаться трансформаторы, проект ГОСТ устанавливает, что количество модификаций оборудования 60 кВ должно быть ограниченным. При этом имеется в виду, что напряжение 60 кВ будет применяться лишь в определенных условиях, где оно особенно выгодно.

Весьма важным вопросом является замена напряжения 500 В напряжением 1000 В. Существующее напряжение 500 В не приносит энергетическому хозяйству тех выгод, которые дают каждые из других стандартных напряжений. Напряжение 500 В лишь незначительно превышает предшествующее ему по шкале стандартное напряжение 380 В, вследствие чего даже в тех случаях, когда напряжение 500 В является оптимальным, удешевление сети и уменьшение потерь в ней при переходе от 380 В к 500 В оказывается незначительным.

В то же время наличие напряжения 500 В увеличивает количество модификаций аппаратуры и машин и усложняет схемы энергоснабжения. Оно является уже высоким напряжением и требует в связи с этим усложнения эксплуатации.

При электрификации промышленных предприятий часто возникают случаи, когда место установки двигателей удалено от питающих трансформаторов настолько, что напряжения 380 В или 500 В уже не могут обеспечить сохранение допустимого падения напряжения. В то же время применение напряжения 3 кВ еще не оправдывается вследствие повышенной стоимости двигателей и значительно большей стоимости коммутационной аппаратуры 3 кВ по сравнению с аппаратурой более низкого напряжения. В этих случаях напряжение 1000 В оказывается существенно более выгодным, чем напряжения 380 и 500 В.

Напряжение 1000 В безусловно необходимо в сельском хозяйстве для электротракторов большой мощности. Специфические условия работы последних не дают возможности обеспечить их удовлетворительно энергией при напряжениях 380 В, 500 В или 3 кВ.

Напряжение 1000 В наилучшим образом заполняет промежуток между 380 В и 3 кВ. Оно занимает между ними в геометрическом ряду почти точно среднее положение. Поэтому в совокупности тех случаев, когда напряжение 380 В является для установок слишком низким, а напряжение 3 кВ слишком высоким, применение напряжения 1000 В даст наибольшие технические и экономические выгоды.

Несомненно, замена напряжения 500 В на 1000 В будет связана с рядом временных трудностей и вызовет некоторые единовременные потери в энергетических установках отдельных предприятий. Однако, в дальнейшем это даст для народного хозяйства реальную выгоду, которая уже в небольшой срок окупит эти неудобства и потери. Чем скорее сделать этот переход, тем эти потери будут меньше. Наоборот, отставание в настоящее время напряжения 500 В в стандарте сделает все более трудным его исключение из стандарта в дальнейшем и на больший срок сохранит это невыгодное для народного хозяйства напряжение. Практика показывает, что напряжение 500 В в силу своих недостатков применяется очень редко.

Наконец, в ГОСТ включено напряжение 400 кВ. Необходимо в ближайшем будущем передавать на большие расстояния и распределять большие мощности требует нового напряжения, высшего, чем 220 кВ.

В проекте ГОСТ введены некоторые изменения и в определения. Вводится понятие *номинального напряжения электрической сети*, как некоторого условного напряжения, определяющего номинальные напряжения генераторов, трансформаторов, приемников электрической энергии, аппаратуры и кабелей, работающих в этой сети. Кроме того, стандартизируется величина наивысшего напряжения сети, в соответствии с которым устанавливается уровень изоляции оборудования, температурные характеристики, разрывная мощность коммутационной аппаратуры и т. д.

Благодаря этому новый ГОСТ принимает значение технического документа, координирующего номинальные напряжения и уровень изоляции всего электрооборудования и приемников электрической энергии, подключенных к общей сети.

Необходимо отметить, что наряду с введением в практику сооружения сетей новых рациональных напряжений необходимо стремиться к скорейшему изжитию

устаревших, невыгодных народному хозяйству нестандартных напряжений: 2 кВ, 31,5 кВ, 38 кВ и др.

Упорядочение практики применения номинальных напряжений в энергетическом хозяйстве в соответствии с рациональной шкалой стандартных напряжений является весьма важным мероприятием для народного хозяйства.

Инж. С. М. ЛИВШИЦ

Москва

Вопросы выбора и стандартизации напряжений электрических сетей, машин, трансформаторов и аппаратов занимают умы инженеров с тех пор, как возникла электротехника сильных токов. В разных странах существуют различные, исторически сложившиеся, стандартные напряжения и различная практика их применения. Капиталистические страны, лишенные планового хозяйства, не имеют возможности в должной мере унифицировать напряжения и использовать те экономические выгоды, которые влечет за собой широко осуществляемая стандартизация проектов и оборудования. Так, например, в Германии до войны и во время войны одинаково широко применялись напряжения переменного тока 500 и 380/220 В. В США одинаково широко применяются напряжения 440 и 220 В. Электроснабжающие компании и электротехнические фирмы в капиталистических странах не заинтересованы в далеко идущей стандартизации напряжений, так как экономические потери, связанные с отсутствием однозначных решений, входят в продажную стоимость электроэнергии и электрооборудования.

Плановое начало в распределении энергии и электрооборудования в СССР вытесняет нежизненные напряжения и побуждает к принятию в стандартах (ГОСТ) и «Правилах устройства электротехнических установок» решений о применении экономически и технически наиболее выгодных единых напряжений.

Проект измененного стандарта на номинальные напряжения выдвинут Министерством электростанций вполне своевременно, так как от решения его в большой мере зависит направление развития электрификации страны и отечественной электротехнической промышленности. Как известно, внесению проекта стандарта предшествовало освещение в печати вопроса о стандартизации напряжений свыше 6 кВ (статья А. А. Глазунова и С. А. Геликонского и дискуссия по ней¹). Вопросы стандартизации напряжений до 6 кВ не нашли еще широкого освещения в печати, ввиду чего этому вопросу должно быть в нынешней дискуссии уделено значительно большее внимание.

Номинальные напряжения до 100 В. Желательно в качестве стандартных принять одинаковые напряжения до 100 В постоянного и переменного тока из соображений возможности переключения аварийного освещения и других цепей с переменного тока на постоянный. В качестве стандартных напряжений постоянного тока следует принять 6, 12 и 36 В. Временно (в примечаниях к стандарту) следует допустить также напряжение 24 В, на которое ныне изготавливаются катушки различных аппаратов защиты.

Номинальное напряжение 3×127 В следует исключить из стандарта, как отмирающее; его можно допустить (в примечаниях к стандарту) для действующих установок.

Номинальное напряжение 3×220 В (220/127 В) следует оставить в стандарте, ограничив (в примечаниях) допустимую область его применения коммунальными сетями, крупными административными зданиями и не имеющими своих трансформаторов предприятиями мелкой промышленности в городах, где напряжение освещения принято 127 В.

Что касается промышленных установок, то следует не только запретить применение междупазового напряжения 220 В на новых предприятиях, но и резко ограничить возможность применения этого напряжения во вновь сооружаемых цехах действующих предприятий. Нам известны случаи принятия даже в последние годы проектными организациями или министерствами неправильных

решений о существенном расширении электрических сетей крупных заводов на рабочем напряжении 220 В только из соображений использования существующего, относительно небольшого, парка электродвигателей и трансформаторов 220/127 В, даже без должного изучения степени их изношенности. Такие проекты должны проходить особое утверждение Гостехники СССР.

Номинальное напряжение 3×380 В (380/220 В) должно быть оставлено в новом стандарте в качестве основного напряжения для силовых, осветительных и термических электроприемников в промышленных установках, что следует оговорить в применении к стандарту.

Номинальные напряжения в диапазоне свыше 380 В до 3000 В. Проект нового стандарта (вторая редакция которого опубликована в журнале «Электричество») отличается от действующего ГОСТ 721-41 предложением ввести вместо напряжения 3×500 В новое номинальное напряжение 3×1000 В. В первой редакции проекта содержалось предложение взамен 500 В ввести не напряжение 3×1000 В, а 3×660 В (660/380 В). Мысль о желательности введения номинального напряжения 1000 В для собственных нужд тепловых электростанций была в прошлом высказана А. И. Сандлером², с той, однако, существенной оговоркой, что «введение такого напряжения может быть оправдано только в том случае, если будет доказана целесообразность применения напряжения 1000 В и для фабрично-заводских предприятий».

Введение напряжения 660 В настойчиво предлагается в течение многих лет Ю. Л. Мукосеевым². Выдвигая положение о «неуклонной тенденции к повышению рабочих напряжений», Ю. Л. Мукосеев не останавливается на существующем в ГОСТ 721-41 напряжении 500 В, считая его «неудобным» и полагает, что через 5—10 лет междупазовое напряжение 660 В станет реальным для электродвигателей, чему должно способствовать появление новых видов изоляции. Автор полагает, что до этого времени целесообразно оставить рабочее (междупазовое) напряжение электродвигательных сетей равным 380 В, а 660 В применять пока для мощных электронагревательных и электросварочных нагрузок. Введение же ныне для обмоток электродвигателей нового стандартного напряжения 660/380 В должно подготовить электромашиностроение к переходу в будущем на рабочее напряжение 660 В также в силовых сетях.

Рабочие напряжения 1000, 660 и 500 В в техническом отношении обладают лишь недостатками по сравнению с напряжением 380 В: будучи формально и по существу напряжениями высокими, они являются более опасными и вследствие этого менее удобными для эксплуатации, в особенности потому, что с ними тесно соприкасаются производственные рабочие, управляющие при помощи кнопок и командоконтроллеров пускателями и магнитными станциями.

Существенный недостаток более высоких напряжений заключается в большем числе витков более тонкой проволоки в обмотках электродвигателей и в катушках аппаратов — контакторов, реле, тормозных магнитов и т. д. (что требует большего места в пазах и большего размера катушек и понижает надежность работы машин и аппаратов). Благодаря тому, что у аппаратов 380 В катушки могут включаться между фазой и заземленным нулем системы, т. е. на напряжение 220 В, число витков катушек аппаратов 660 В, включаемых только на междупазовое напряжение, будет в $660:220=3$ раза больше, чем у аппаратов 380 В, а у аппаратов 500 В — в 2,27 раза больше.

По изложенным выше соображениям при рабочих напряжениях 1000, 660 и 500 В для цепей управления следовало бы применять переменный или постоянный ток пониженного напряжения — 220 или 110 В. Для крупных автоматизированных узлов — прокатных станов, станочных линий и т. д. — введение пониженного напряжения для цепей управления не представляет больших затруднений, но для двигателей разбросанных приводов (станков, вентиляторов и т. д.) эта мера является практически неприемлемой, так как нельзя же к каждому магнитному пускателю ставить понижительный трансформатор для цепи управления.

¹ Электричество, № 11, 1948.

² Электричество, № 6, 1948; ВЭП, № 9, 1936.

¹ Электричество, № 11, 1948 и № 5 и 6, 1949.

Введение напряжения 600 в (и 1000 в. С. Л.) реально может повлечь за собой, как это предлагает на первые 5–10 лет Ю. Л. Мукосеев, наличие в цехе двух напряжений — 660 в для очень мощных агрегатных приемников и 380/220 в — для индивидуальных приемников мелких и средних мощностей и для освещения. Наличие же двух напряжений 660 и 380 в в одном и том же цехе представляет весьма серьезные эксплуатационные недостатки, вряд ли оправдываемые возможной экономией алюминия в линиях. При более низком напряжении — 500 в — ныне обычно обходятся одним напряжением, мирясь со всеми изложенными выше недостатками, свойственными эксплуатации машин и аппаратов высокого напряжения. При напряжении 660 в и 1000 в, вероятно, потребует переход на повышенный класс изоляции по сравнению с применяемой для двигателей напряжением до 500 в. Введение более высоких рабочих напряжений может иметь поэтому отнюдь не технический смысл, а лишь экономический, давая пониженный расход проводникового металла в линиях и в аппаратуре. Что касается трансформаторов и электродвигателей, то расход меди в них в рассматриваемых пределах напряжений, как известно, практически одинаков.

При одинаковой передаваемой мощности рабочие токи линий составляют: при напряжении 380 в — 100%, 500 в — 76%, 660 в — 58%, 1000 в — 38%. Однако соображения об экономии проводниковых материалов не могут быть решающими при решении вопроса о введении повышенных номинальных напряжений. Для этого требуются исчерпывающие технико-экономические обоснования, учитывающие, с одной стороны, удешевление внутрицеховых линий (выполняемых ныне в значительной мере из алюминия, так как кабель с медными жилами и свинцовыми оболочками в современных внутрицеховых сетях применяется в небольшом объеме), а с другой стороны, удорожание машин, аппаратуры и проводов. Кроме того, должны быть учтены: удорожание установки и дополнительный расход меди из-за отказа от общих трансформаторов для силы и света. Экономические расчеты ни авторами проекта стандарта, ни защитником напряжения 660/380 в Ю. Л. Мукосеевым не представлены. На основании лишь в общих рассуждений о необходимости заполнения промежутка между 380 и 3000 в вводить новое стандартное напряжение, разумеется, недопустимо. Притом общие соображения Ю. Л. Мукосеева являются ошибочными. Положение о «неуклонной тенденции к повышению рабочих напряжений» свыше 380 в являлось правильным лишь для давно прошедшего времени, когда в промышленности применялись крупные понизительные подстанции, расположенные вдали от нагрузок, т. е. когда повышение рабочих напряжений являлось важным фактором для облегчения сетей низкого напряжения. Указанной тенденции в современном электрооборудовании противопоставляется более радикальный метод⁴, впервые разработанный в Советском Союзе, — разукрупнение подстанций с расположением их в центре нагрузок. Развитие заводского производства «комплектных подстанций» и дешевые статических конденсаторов низкого напряжения — вот эффективные пути для дальнейшего уменьшения расхода цветных металлов в сетях без повышения рабочих напряжений.

В качестве другого аргумента в пользу введения напряжения 660 в выдвигается целесообразность восстановления в электротехнике практики пуска электродвигателей путем переключения со звезды на треугольник. В добавление к соображениям Л. И. Столова⁵, направленным против воскрешения этого устарелого метода, следует отметить, что трансформаторы выдерживают нечастые прямые пуски электродвигателей от сети (вплоть до мощностей электродвигателей, соизмеримых с мощностями трансформаторов) как по условиям механической, так и термической прочности и износоустойчивости.

В тех же редких случаях, когда может потребоваться уменьшение пусковых токов, возможно применить другие методы для их уменьшения, не связанные с переключением обмоток электродвигателей, например, пуск через сопротивление в цепи статора.

По изложенным выше причинам введение но-

вого номинального напряжения 660 в или 1000 в мы не считаем целесообразным.

Что касается существующего напряжения 500 в, то в дополнение к сказанному выше в отношении напряжений свыше 380 в, попытаемся проанализировать целесообразность его изъятия или оставления в стандарте.

Напряжение 500 в. После того, как рабочее напряжение 220 в для силовых сетей было запрещено (в начале 30-х гг.), на протяжении почти двух десятилетий конкурировали между собой напряжения 500 и 380/220 в, причем последнее напряжение в большинстве случаев применялось для питания силы и света от общих трансформаторов, имеющих заземленную нейтраль. Опасения, которые связывались с возможностью чрезмерных колебаний напряжения на лампах при питании осветительных сетей от общих трансформаторов, постепенно рассеялись и в настоящее время не выдвигаются, если не считать установок, питающих сосредоточенные сварочные нагрузки; однако, для последних можно и целесообразно устанавливать отдельные трансформаторы. Практика рассматривает также и обычные опасения заземлять нейтраль трансформаторов, связанные с возможностью неожиданных перерывов питания при замыкании на землю фазного провода или работы электродвигателей на двух фазах — при защите сетей предохранителями. Последний недостаток будет постепенно исчезать по мере широкого внедрения в практику защиты сетей автоматов вместо предохранителей. Интересно отметить, что через много лет после широкого внедрения в СССР системы 380/220 в с заземленной нейтралью американские инженеры⁶ стали пропагандировать применение общих трансформаторов для силы и света с напряжением низкой стороны 440/255 в, с заземлением нейтрали.

Напряжение 500 в, как сказано выше, обладает почти теми же техническими недостатками, что и напряжение 660 в. Экономические же выгоды этого напряжения в смысле расхода материала в линиях значительно меньше, чем у напряжения 660 в. Преимуществом напряжения 500 в является то, что оно существует. На это напряжение изготавливаются почти все виды оборудования, и поэтому имеются данные для экономических сравнений с системой 380/220 в.

Почти исчерпывающее технико-экономическое сравнение обеих систем содержится в книге А. С. Либермана⁴ «Подстанции малой мощности», выпущенной еще в 1937 г. При технической возможности питания силы и света от общих трансформаторов (а за истекшие 12 лет эта возможность для подавляющего большинства случаев стала неоспоримой, С. Л.) А. С. Либерман пришел к заключению, что для разных случаев практики экономически более выгодным то одно, то другое напряжение и что поэтому в каждом конкретном случае следует искать частное оптимальное решение. Это показывает, что экономические преимущества того или иного напряжения относительно невелики.

Между тем, жизнь развивалась по своим законам, — сначала, главным образом, по пути продолжения традиций, установившихся в данной отрасли промышленности, независимо от выгодности того или иного варианта в конкретных условиях. Так, например, в черной металлургии, в машиностроении, угольной промышленности укоренилось напряжение 380 в, в цветной металлургии, химии, текстильной, сахарной промышленности широко применялось напряжение 500 в. Такая практика была основана на жизненной необходимости стандартизации напряжений внутри данной отрасли промышленности с целью маневрирования оборудованием, укрупнения заказов на электрооборудование, типизации проектирования и специального электрооборудования и т. д. При этом можно найти много случаев, когда для одинаковых условий (по характеру нагрузок, степени распределенности или сосредоточенности ее, степени укрупненности подстанций, возможности их размещения вблизи центров нагрузки и т. д.) выбор напряжения в разных отраслях промышленности решался по-разному. Характерными примерами являются: а) электроустановки цехов черной (380 в) и цветной (500 в) металлургии, ныне относящиеся к единому Министерству металлургической промышленности, и б) электрооборудо-

⁴ А. С. Либерман. Подстанции малой мощности в электрооборудовании промышленных предприятий. Азгеххозиздат, 1937.

⁵ Электричество, № 6, 1949.

⁶ D. L. Veeman. El. Eng., февраль, 1946.

вание обогатительных фабрик цветной металлургии (500 в) и угольной промышленности (380 в) и т. п.

Во время войны и после нее практика электрификации промышленности пошла по пути все большего вытеснения в новостроящихся предприятиях напряжения 500 в (см. ниже) и все большего применения единого напряжения 380/220 в (например, в цветной металлургии, химии, текстильной промышленности), в основном из-за большей легкости получения оборудования — обстоятельства, которое стало ломать существовавшие в данной отрасли традиции.

Проектные организации текстильной и химической промышленности ныне применяют для новых заводов напряжение 380/220 в.

Экономика стандартизации оборудования. В сопоставительных экономических расчетах, производимых при проектировании для различных напряжений, ранее всегда исходили из положения, что стоимость оборудования (электродвигателей, трансформаторов, аппаратов управления) для напряжений 500 и 380 в одинакова: формально это подтверждается и ценами действующих прейскурантов. Однако, методы калькуляции, применяемые при составлении этих прейскурантов, не учитывают того обстоятельства, что в современном машиностроении большое значение для себестоимости играет фактор масштаба производства; поэтому для тех исполнений, которые являются индивидуальными или даже малосерийными, в прейскуранте следует вводить надбавки, которые бы учитывали фактическую более высокую себестоимость малых изделий и тем способствовали правильности экономических сопоставлений при проектировании установок и внедрению стандартных решений.

Данные о производстве электродвигателей и трансформаторов 500 и 380/220 в ясно показывают, что напряжение 500 в фактически почти полностью вытеснено из практики электрификации СССР. Поэтому заказы на оборудование 500 в только лишь затрудняют производство на заводах электропромышленности.

Для серий нормальных электродвигателей 500 и 380/220 в идет медь различных сечений. Поскольку машины 500 в требуются в небольшом количестве, получение обмоточной меди мелкими партиями для них не представляет затруднения. Изготовление мелких партий обмоточной меди для различных электромашиностроительных заводов представляет затруднения также и для заводов кабельной промышленности.

Наличие двойной номенклатуры и мелких партий электродвигателей 500 в затрудняет производство, так как увеличивает число перестроек производства и связанных с ним простоев. Кроме того, получение индивидуальных заказов нежелательно с точки зрения организационно-технической.

В равной (если не в большей) мере в стандартизации напряжения, по нашему мнению, заинтересованы и аппаратостроительные заводы, так как напряжение 500 в фактически удваивает и без того обширную номенклатуру аппаратов: магнитных пускателей, магнитных станций, блоков, контакторов, реле и т. п.

Кроме электромашиностроительных заводов в унификации напряжений заинтересованы и потребители и не только в пределах каждого министерства. Приведем примеры. Машиностроительная промышленность СССР составляет машины-орудия массового потребления (станки, краны, насосы, вентиляторы, электросварочные аппараты и т. д.) комплектно с электрооборудованием (двигателями и аппаратурой управления). Так как планирование производства этих механизмов и укомплектование их электрооборудованием производится централизованно, то совершенно ясными становятся те практические затруднения, которые вносит в работу по поставке комплектного оборудования наличие разных напряжений у заказчиков. Большое значение имеет стандартизация проектирования приводов, низковольтных распределительных устройств и автоматики — стандартизация, происходящая из стандартизации оборудования.

Изложенные выше соображения о государственной выгоде стандартизации напряжений подтверждают мнение авторов проекта ГОСТ о нецелесообразности установления в стандарте номинального напряжения 500 в. Его следует допустить (в примечаниях к стандарту) лишь для действующих установок.

В качестве единого напряжения для новостроек и реконструируемых предприятий следует принять 380/220 в.

Напряжение 600 в постоянного тока. Необходимо включить в стандарт напряжение постоянного тока 600 в, широко применяемое для главных приводов прокатных станов и других приводов. Это напряжение не может рассматриваться как «замкнутое внутри приемников и агрегатов», так как сети 600 в имеют относительно большое протяжение и от них питается параллельно много машин.

Напряжения в диапазоне 6—35 кВ. С точки зрения крупных промышленных установок напряжение 10 кВ является технически и экономически недостаточно обоснованным. Единственным его преимуществом является возможность присоединения крупных электродвигателей к сети 10 или 6 кВ (находящихся в соотношении, близком к $\sqrt{3} = 1,73$) путем пересоединения обмоток двигателей либо в звезду, либо в треугольник. Однако, практика показала, что установка двигателей 10 кВ может быть вообще лишь редко экономически оправдана и поэтому редко применяется. Возможность включить один и тот же реальный двигатель на сеть 10 или 6 кВ использовалась на протяжении многих лет лишь в единичных случаях. Поэтому нет смысла только из-за редко реализуемой возможности переключения двигателей ограничивать повышение напряжений заводских и коммунальных сетей. Вместо напряжения 10 кВ следует принять напряжение, для которого технически возможно и экономически выгодно спроектировать генераторы (чтобы избежать промежуточной трансформации на более высокое напряжение), аппаратуру и кабели. Если окажется выгодным вместо 10 кВ принять напряжение порядка 15 кВ, то встанет вопрос о целесообразности вместо 10 и 20 кВ иметь промежуточное, единое в диапазоне 6—35 кВ, напряжение. Изложенные соображения по вопросу о напряжении в пределах 6—35 кВ являются предварительными. Этот вопрос требует экономической и технической разработки.

Дополнение. В качестве одного из примечаний к табл. 3 следует включить пункт о допустимости по требованию заказчика изготовления синхронных электродвигателей на напряжение 5% выше номинальных напряжений приемников. Это бывает необходимо для того, чтобы напряжение, на которое двигатель заказан, было ближе к повышенному фактическому, которое будет иметь место в случае питания двигателей с опережающим коэффициентом мощности от сильно реактированных фидеров.

Доктор техн. наук, проф. А. А. ГОРЕВ

Ленинградский политехнический институт им. Калинина

Предлагаемая 2-ой редакцией проекта номинальные напряжений шкала стандартных напряжений, вызывая следующие замечания.

Каждому номинальному напряжению отвечает определенная натуральная мощность линии передачи. Напряжениям старой шкалы в

110 154 220 кВ

отвечали мощности в

30 60 и 120 мВт,

составляющие геометрическую прогрессию со знаменателем 2. Продолжая эту прогрессию — находим натуральные мощности в 240 и 480 мВт, которым отвечают номинальные напряжения в

310 и 440 кВ.

Интервал между мощностями в 240 и 480 мВт, равный 240 мВт, слишком велик и может повести к излишним затратам. Поэтому целесообразно принять такую шкалу натуральных мощностей

30, 60, 120, 240, 360 и 480 мВт

с разностью после 120 мВт, в 120 мВт.

Соответствующая шкала номинальных напряжений будет:

110, 154, 220, 310, 380 и 440 кВ.

В настоящее время на ближайшие 10 лет, учитывая ряд соображений, которые будут изложены ниже, можно ограничиться стандартизацией двух напряжений выше 220 кВ, именно.

310 и 380 кВ,

так что шкала номинальных напряжений будет:

3 6 10 20 35 60 110 154 220 310 380 кВ

с натуральными мощностями линий передачи в 110 кВ и выше в

30 60 120 240 и 360 мВт.

Округление цифр шкалы номинальных напряжений никакого смысла не имеет. Поэтому нужно сохранить номинал в 154 кВ, не округляя этой цифры до 150 кВ.

Наивысшее напряжение сети трехфазного тока для новых номинальных напряжений в 310 и 380 кВ нужно взять на 15 % выше номинала, как это сделано для низших напряжений; как раз при длинных линиях это имеет существенное практическое значение; поэтому мы предлагаем в табл. 3 проекта стандарта вместо последней строчки:

400 400 400 440 440

ввести две строчки:

310 310 310 340 365 кВ
380 380 380 420 440 кВ.

Напряжения выше 220 кВ могут найти себе применение в двух основных случаях:

а) сверхмощная передача на сравнительно небольшое расстояние (до 300—400 км);

б) сверхдальняя и сверхмощная передача на расстоянии порядка 1 000 км.

В обоих этих случаях напряжение 220 кВ оказывается недостаточным, чем и объясняется необходимость введения высших напряжений. Не нужно, однако, забывать, что мощность передаточной линии должна находиться в определенном соотношении с мощностью той системы, к которой эта линия примыкает, точнее с величиной наличного в этой системе вращающегося резерва. Размер такого резерва вряд ли будет превышать 10% от мощности системы; следовательно, современные¹ линии 380 кВ, пропускная способность которых может быть доведена до натуральной мощности при расстояниях до 700—800 км, могут быть применены только в системах с общей установленной мощностью порядка 4 000 мВт. Для сверхмощных линий на короткие расстояния пропускная способность будет выше натуральной; применение продольной компенсации также повышает пропускную способность линии; в этих случаях область применения 380 кВ ограничивается системами в 5 000—6 000 и выше мВт. Для большинства систем применение напряжения в 380 кВ окажется затруднительным, тогда как применение напряжения в 310 кВ будет во многих случаях экономически и технически целесообразным.

¹ Под современными линиями понимаются линии с поперечной компенсацией, насыщенными реакторами, использованием насыщения генератора, экономически оптимальным подбором его параметров с применением быстродействующего регулирования напряжения и т. д.

Эта аргументация очевидна для тех случаев, когда вся передаваемая мощность передается по одной линии; в случае двух или большего числа линий можно указать на применение так называемой связанной передачи с переключаемыми постами. Однако, опасность таких передач, доказанная на конкретных примерах, дороговизна переключаемых постов при сверхвысоких напряжениях, повышение требований к разрывной мощности выключателей, нецелесообразность устройства частичных резервов и ряд других соображений заставляют автора поддерживать основное требование бесперебойности снабжения, заключающееся в том, что выпадение любой из питающих систему единиц должно быть компенсировано автоматическим вступлением в работу вращающегося резерва системы без перебоя в питании потребителей.

Введение предлагаемой шкалы напряжения даст возможность широко применять автотрансформаторы вместо трансформаторов во всех тех случаях, когда напряжение передачи является соседним с напряжением основных сборных шин приемной системы. Например, если это последнее напряжение равно 220 кВ, что для больших систем окажется целесообразным, тогда при напряжении передачи в 310 кВ вместо понижающего трансформатора может быть применен автотрансформатор, что снизит реактивность передачи вместе с трансформаторами больше чем на 10% (вместо 18%—6%). Это снижение реактивности эквивалентно, как показывает простой подсчет, 120 км длины линии и даст соответственное повышение пропускной способности передачи.

Это соображение относится, разумеется, и к другим случаям: предлагаемая шкала напряжений даст возможность широкого применения автотрансформаторов в наших высоковольтных сетях, что поведет к существенному снижению потерь и расхода цветного металла.

Введение новых типов машин, аппаратов и пр. в промышленное производство всегда требует значительных расходов на разработку типа и налаживание производства. Введение двух новых напряжений, из которых одно 310 кВ является промежуточным, не потребует существенно больших первоначальных затрат, чем введение одного высшего напряжения; между тем, эти затраты можно будет разнести на гораздо большее число выпускаемых объектов, так как напряжение в 310 кВ найдет себе широкое применение в предстоящей в ближайшие 10 лет фазе развития нашего электроснабжения, тогда как напряжение в 380 кВ может быть применено, как это показано в п. 2, только в исключительных случаях. Творческий труд, затраченный на этот дальнейший шаг в развитии нашей новой техники, окупится гораздо скорее и стоимость новой продукции не будет иметь того досадного скачка, который обычно сопутствует появлению новых типов оборудования и ведет к неправильной ориентировке потребителя при его экономических подсчетах.

По изложенным соображениям я предлагаю включить в новый стандарт вместо номинального напряжения 400 кВ два новых номинальных напряжения 310 и 380 кВ.



В НТО Московского энергетического института им. Молотова

В 1949 г. НТО МЭИ успешно продолжало свою деятельность.

На общем собрании с большим вниманием был заслушан доклад представителя Комитета по технической терминологии Академии наук СССР Д. С. Лотте «Основы построения системы научно-технических терминов». В принятом по докладу решении отмечается большое значение работ по терминологии и намечаются пути организации таких работ в МЭИ.

На заседаниях секции «Электрические системы» были заслушаны и обсуждены доклады, посвященные итогам международной конференции по электрическим системам.

Доктор техн. наук, проф. Ю. В. Буткевич в своем докладе «Вопросы отключения электрических цепей высокого напряжения» изложил содержание докладов конференции, относящихся к этому вопросу, и особо остановился на анализе разрушения гасительных камер выключателей, сделанном на конференции делегацией Советского Союза.

Доктор техн. наук, проф. С. М. Брагин в докладе «Современные высоковольтные кабельные линии» уделил особое внимание эксплуатации кабелей с напряжением 100 кВ и выше. На материале конференции докладчик показал, что кабельные линии СССР имеют меньшую аварийность, чем аналогичные линии в других странах.

Доклад проф. П. Г. Грудинского был посвящен актуальному вопросу «Потери активной энергии при передаче реактивной мощности и борьба с ними». Докладчик подробно остановился на упрощенной методике расчета потерь активной энергии и так называемом экономическом эквиваленте реактивной мощности. Далее, П. Г. Грудинский дал оценку различных устройств для улучшения коэффициента мощности и критически рассмотрел существующую систему тарифов на оплату электроэнергии.

Проф. И. И. Соловьев сделал доклад «О партийности в преподавании технических дисциплин в высшей технической школе». Им были освещены основные положения этой задачи и рассмотрены конкретные примеры, возникающие в курсах: «Электрические сети и системы»; «Электрические станции»; «Релейная защита и автоматизация электрических систем».

Одно из заседаний секции «Электрические системы» было посвящено обсуждению плана переработки учебника, написанного коллективом авторов под редакцией проф. А. А. Глазунова, «Электрические станции и подстанции» с целью сокращения его до 45 печатных листов. В докладе, сделанном доктором техн. наук, проф. А. А. Глазуновым, были рассмотрены различные варианты построения учебника.

Доклад инж. Н. П. Астахова «Деревянные опоры высоковольтных линий и их эксплуатационная надежность», а также выступления присутствовавших на докладе специалистов показали, что допускаемые напряжения для деревянных опор, выбираемые согласно рекомендации Правил устройства электротехнических установок, не гарантируют надежной длительной работы опор на линиях. Собранием была выбрана комиссия, которой поручено рассмотреть соответствующие параграфы Правил и внести свои предложения о соответствующем их изменении.

Предложения комиссии затем были направлены в Технический отдел Министерства электростанций.

Доклад «О жизни и деятельности Р. Э. Классона» был прочитан кандидатом техн. наук С. А. Ульяновым, который дал подробную характеристику работ этого замечательного инженера и ученого, особо отметив его участие в строительстве первой в мире линии электропередачи, проводившейся под руководством М. О. Дольво-Добровольского.

Доктор техн. наук, проф. А. А. Глазунов в докладе «Пути технического развития и реконструкции электрических сетей больших городов Советского Союза» остановился на основных проблемах, возникающих при реконструкции и развитии электрических сетей и особенно на применении глубоких вводов напряжением 110 и 35 кВ. Указывая, что количество вводов 110 кВ ограничено, докладчик рекомендует шире использовать напряжение 35 кВ.

В секции «Теоретическая электротехника» был заслушан доклад кандидата техн. наук Р. И. Караева «Открытая дуга большой мощности».

Ряд заседаний секции был посвящен обсуждению будущих факультативных курсов кафедры теоретических основ электротехники. Так, доктор техн. наук, проф. К. М. Поливанов сделал сообщение о курсе «Теория цепей», который включает основы теории цепей, матричное исчисление, частотные и амплитудно-фазные характеристики и теорию нелинейных колебаний. Проф. В. Ю. Ломоносов критически рассмотрел вопрос о курсе «Расчеты полей». Кандидат техн. наук, доц. А. И. Даревский посвятил свое выступление курсу «Электродинамика». Проф. К. М. Поливанов предложил создать специальные межфакультетские группы, введя туда студентов с повышенными знаниями и ориентируясь на них в чтении специальных курсов. Затем секция заслушала доклад К. М. Поливанова «О новых задачах лаборатории теоретических основ электротехники». В этом докладе поднят вопрос о создании третьей лаборатории, освещающей третью часть курса основ электротехники (теория поля и нестационарные процессы).

При обсуждении второй части учебника П. Л. Калантарова и Л. Р. Неймана «Теоретические основы электротехники» (переменный ток), происходившем на заседании этой же секции, с докладами выступили кандидат техн. наук С. В. Страхов и кандидат техн. наук А. В. Нетушил.

В секции «Светотехника» был заслушан доклад кандидата техн. наук Б. И. Луговского (ЦНИПС) «К вопросу нормирования люминесцентного освещения». Приведенный анализ капитальных затрат и эксплуатационных расходов подтверждает целесообразность применения люминесцентных ламп в промышленных установках. Кандидат техн. наук К. П. Белов (НИИ ЖДТ) сделал доклад «Устройство и эксплуатация опытных установок люминесцентного освещения на железнодорожном транспорте».

«О фотографических способах исследования оптической точности параболических отражателей» прочитал доклад кандидат техн. наук М. Г. Мальгин (ВЭИ), подробно изложивший методы Чиколева и Леонова. Доктор техн. наук, проф. Н. А. Карякин в своем докладе «О современных воззрениях на сущность дуги высокой

интенсивности» дал анализ различных теорий и сообщил о разработанной им теории дуги, на базе которой даны новые образцы углей. Доктор техн. наук, проф. Л. Д. Белькинд сделал доклад «Столетие дугового освещения в России», в котором привел ряд неизвестных раньше исторических данных. Кандидат техн. наук Д. А. Шкловер (ВЭИ) прочитал доклад «Методика и приборы для фотоэлектрических спектральных и цветовых измерений». Доклад «Расчет светового пучка проектора с учетом боковых aberrаций» сделал научный сотрудник ВЭИ В. Н. Комиссаров, изложивший оригинальный способ расчета, основанный на ярких характеристиках дуги высокой интенсивности. Кандидат техн. наук А. И. Грибанов в своем докладе сообщил «О современных способах изготовления отражателей и арматур». Кандидат техн. наук И. Х. Зеликман прочитал доклад «Фотометрия в условиях малых яркостей». Кроме этого, на заседании светотехнической секции было проведено обсуждение сборника задач по теоретическим основам светотехники». С докладом выступил ассистент Г. И. Ашкенази.

В секции «Приборостроение» был заслушан ряд докладов, среди которых отметим доклад «Проблемы прецизионной электрогироавтоматики», прочитанный кандидатом техн. наук Л. И. Ткачевым; доклад К. Э. Эрглис «Афаграф — новый прибор для определения амплитудно-фазных характеристик систем усиления» и доклад кандидата техн. наук М. И. Левина «Расчет чувствительности мостов с нелинейными элементами».

На одном из заседаний этой же секции кандидат техн. наук С. А. Гинзбург доложил о результатах работы «Расчет нелинейных мостов». Кандидат техн. наук К. В. Егоров сообщил «О некоторых русских работах в области автоматического регулирования».

Секция «Электромашиностроение» заслушала доклад доктора техн. наук Е. М. Синельникова «К построению динамической теории коммутации электрических машин постоянного тока».

Кроме этого, секция совместно с МОНИТОЭ провела однодневную конференцию, посвященную памяти академика К. И. Шенфера. С вступительным словом выступил доктор техн. наук, проф. Г. Н. Петров. Доклад «О жизни и деятельности академика Шенфера» сделал академик В. С. Кулебакин. Доктор техн. наук, проф. Ю. С. Чечет прочитал доклад «Работы академика К. И. Шенфера в области коммутации машин постоянного и переменного тока». Доктор техн. наук, проф. А. Н. Ларионов сообщил об исследованиях академика К. И. Шенфера в области машин с поперечным полем. Доктор техн. наук А. И. Москвитин рассказал о совместных работах с академиком К. И. Шенфером в ВЭИ и в Энергетическом институте Академии наук СССР.

Научно-техническое общество МЭИ, расширяя свою работу, организовало три новых отделения: «Механико-машиностроительное», «Физико-математическое» и «Общественных наук».

Кандидат техн. наук В. А. ВЕНИКОВ



Комиссия по диэлектрикам при Академии наук СССР

Постановлением Президиума Академии наук СССР, в целях координации научной деятельности в области исследования и технического применения диэлектриков, при Отделении физико-математических наук АН СССР организована постоянная Комиссия по диэлектрикам. На Комиссию возложены следующие основные задачи: а) согласование научной работы в области электрической изоляции, проводимой в различных научных учреждениях СССР; б) рассмотрение важнейших научных результатов в данной области исследования и определение главных направлений в развитии работ; в) содействие внедрению достижений науки в народное хозяйство; г) организация и проведение периодических совещаний по различным научным вопросам; популяризация достижений отечественной науки в области исследования диэлектриков; подготовка к изданию сборников и отдельных книг по вопросам электрической изоляции; д) разработка вопросов истории науки и техники в области исследования диэлектриков; правильное освещение роли русской и советской науки в исследовании диэлектриков и выявление приоритета русских и советских уче-

ных; е) рассмотрение учебных планов и программ вузов по электроматериаловедению и физике диэлектриков; ж) проведение работы по установлению научно обоснованной терминологии в области электрической изоляции и физики диэлектриков и з) проведение консультаций и составление заключений по различным вопросам в области диэлектриков.

Состав Комиссии: академик А. Ф. Иоффе, член-корр. АН СССР А. П. Александров, член-корр. АН СССР Б. М. Вул (председатель), член-корр. АН СССР П. П. Кобеко (зам. председателя), доктор техн. наук, проф. К. А. Андрианов, доктор техн. наук, проф. Н. П. Богородицкий, доктор техн. наук, проф. А. А. Воробьев, кандидат техн. наук Е. А. Гайлич, доктор физико-матем. наук, проф. Б. М. Гохберг, доктор техн. наук, проф. Н. Г. Дроздов, кандидат техн. наук В. И. Калитвянский, инж. В. С. Квашин, кандидат техн. наук Ю. В. Корицкий, доктор техн. наук, проф. М. М. Михайлов, проф. В. А. Привезенцев, доктор физико-матем. наук, проф. Г. И. Скани-ви, доктор техн. наук, проф. Б. М. Тареев (ученый секретарь).



Конференция читателей сборника „Электротермия“

В Ленинграде состоялась конференция читателей не-периодического сборника «Электротермия». В отчетном докладе редакционной коллегии сборника, сделанном кандидатом техн. наук А. В. Донским, было указано, что в вышедших до настоящего времени выпусках сборника напечатано 90 статей. Из них до 30% было посвящено вопросам индукционного нагрева, 22% — печам, 15% — рудотермическим печам, прочие — диэлектрическому нагреву, индукционным плавильным печам и обзорам по различным вопросам. После отчетного доклада состоялось прения.

Кандидат техн. наук А. Н. Соколов, отмечая, что конференция почти совпала по времени с опубликованием

рецензии на сборник в журнале «Электричество» (№ 5, стр. 95, 1949), сделал вывод о том, что «критика сборника на страницах журнала „Электричество“ должна рассматриваться наряду с выступлениями на настоящей конференции, и должна быть полностью учтена в практической деятельности редколлегии сборника». К рецензии журнала «Электричество» присоединились также М. Г. Цопуренко и ответственный редактор сборника Д. Б. Мондрус («Электротермия», № 3, стр. 50, 1949).

В резолюции читательской конференции выражается, в частности, предложение об организации периодического органа, посвященного всестороннему освещению электротермических установок и их эксплуатации.



Член-корр. Академии наук СССР, профессор М. П. Костенко

К 60-летию со дня рождения и 30-летию научно-педагогической деятельности

Михаил Полиевктович Костенко родился в 1889 г. в г. Белгороде. В 1908 г. М. П. Костенко поступил в Петербургский электротехнический институт, но в 1910 г. был репрессирован царским правительством и сослан как один из активных участников студенческого революционного движения.

В 1913 г. Михаил Полиевктович поступил в Петербургский политехнический институт и, окончив его в 1918 г., был оставлен при кафедре электрических машин для подготовки к преподавательской деятельности. В 1920 г. М. П. Костенко был избран преподавателем этого Института и с тех пор ведет научную, инженерную и педагогическую работу в области электромашиностроения.

В первые же годы своей научной деятельности М. П. Костенко предложил ряд ценных изобретений — трехфазный коллекторный генератор переменной частоты при постоянной скорости вращения, магнитоэлектрический молот, синхронный поворот, и участвовал в разработке импульсного электрического генератора для получения сверхсильных магнитных полей. Один из таких генераторов находится в Институте физических проблем Академии наук СССР в Москве, а другой, несколько позже, был спроектирован М. П. Костенко для Уральского физико-технического института.

В 1924 г. М. П. Костенко, не прекращая своей деятельности в Политехническом институте, начал работать на заводе «Электросила» в должности инженера по расчету специальных электрических машин. В ряде журнальных статей М. П. Костенко дал теоретическое обоснование схемы всеобщего трансформатора, нашедшего широкое применение в области асинхронных машин, и подтвердил свои теоретические предположения оригинально поставленными и проведенными исследованиями. В то же время он собирал материал для своей книги «Коллекторные машины переменного тока», изданной в 1933 г. и являющейся наиболее полным пособием при изучении этой труднейшей области электромашиностроения.

В 1927 г. М. П. Костенко был утвержден доцентом Института, а в 1930 г. — профессором и заведующим кафедрой электрических машин, которой он с тех пор беспрерывно руководит до настоящего времени. В то же время он продолжал объединять работу в институте с работой на заводе «Электросила» и в 1928 г. был назначен заведующим общезаводским бюро исследований завода. После 1932 г., в связи с увеличением объема работы в Институте, Михаил Полиевктович перешел на должность консультанта завода. В этот период М. П. Костенко разработал ряд вопросов проблемного характера в области асинхронных бесколлекторных и синхронных машин: дал развернутый анализ и предложил оригинальный способ расчета двухклеточного асинхронного двигателя, разработал новый метод тепловых испытаний асинхронных и синхронных машин и, основываясь на данных новейшей теории синхронных машин, развил картину переходных процессов при внезапном коротком замыкании в турбогенераторах. Одновременно с этим М. П. Костенко собирал материал для своего фундаментального труда «Турбогенераторы», написанного совместно с А. Е. Алексеевым и изданного в 1939 г.

В 1935 г. по приказу наркома тяжелой промышленности товарища Орджоникидзе проф. Костенко был откомандирован на Харьковский электромеханический завод с



целью помочь ликвидировать затруднения, которые завод в это время встретил при выполнении, главным образом, мощных машин постоянного тока. В 1936 г., после выполнения задания, М. П. Костенко вернулся в Ленинград к своей основной работе в Политехническом институте. Там под его руководством была широко развернута научно-исследовательская работа кафедры электрических машин. В то же время М. П. Костенко вел большую работу в качестве эксперта по разрабатывавшимся нашими заводами сериям электрических машин и развил методику расчета серий на основе закона геометрического подобия ряда однотипных электромашин.

В 1939 г. М. П. Костенко был избран членом-корреспондентом Академии наук СССР и начал работать в комиссии Отделения технических наук Академии наук по выбору системы тока для

электрификации железных дорог СССР и в группе акад. К. И. Шенфера по исследованию специальных типов электрических машин. Основным результатом этой работы явилась всесторонне проведенная экспертиза нового типа тягового двигателя, предложенного О. В. Бенедиктом и выполненного в опытный образец на заводе «Динамо».

В период 1942—1944 гг. М. П. Костенко работал в Ташкенте в должности профессора по кафедре электрических машин Среднеазиатского промышленного института и в Узбекском филиале Академии наук СССР в должности научного руководителя энергетического сектора.

Обширная монография «Электромагнитные процессы в системах с мощными выпрямительными установками», написанная в 1946 г. М. П. Костенко совместно с Л. Р. Нейманом и Г. Н. Бладзевичем, позволила вскрыть ошибки в существовавшей до этого теории и создать основы правильного анализа электромагнитных процессов в установках с выпрямителями. Одновременно с этим М. П. Костенко работал над созданием фундаментального учебника «Электрические машины» (в 1944 г. вышла 1-я часть и в 1949 г. 2-я часть).

С 1944 г. М. П. Костенко продолжает руководить работами по испытанию мощных синхронных генераторов на электростанциях Ленэнерго и Мосэнерго; им выдвинуто и экспериментально обосновано предложение о создании нового типа коллекторного генератора переменного тока малой мощности, работающего при переменной скорости, но практически постоянном напряжении.

За свою многолетнюю плодотворную научную и преподавательскую деятельность М. П. Костенко дважды награжден орденом Трудового Красного Знамени и медалями. За работы по развитию энергетики и поднятию народного хозяйства Узбекской ССР ему присвоено звание Заслуженного деятеля науки и техники УзССР. За разработку и внедрение в производство новых типов электрических машин М. П. Костенко удостоен в 1949 г. Сталинской премии.

Организуя вокруг себя способный коллектив учеников и исследователей и умело направляя его в сторону решения важнейших научных и практических проблем отечественного электромашиностроения, М. П. Костенко воспитал целое поколение специалистов-электромехаников.

**М. А. ШАТЕЛЕН, Л. М. ПИОТРОВСКИЙ,
Л. Р. НЕЙМАН, А. М. ЗАЛЕССКИЙ, И. М. ПОСТНИКОВ**

Редколлегия журнала «Электричество» горячо приветствует Михаила Полиевктовича Костенко в связи с исполнившимся 60-летием со дня рождения и 30-летием научной, инженерной и педагогической деятельности и отмечает многолетнюю плодотворную работу М. П. Костенко в качестве члена редакционной коллегии, рецензента и автора журнала.



Профессор А. Н. Ларионов

К 60-летию со дня рождения и 30-летию научно-педагогической деятельности

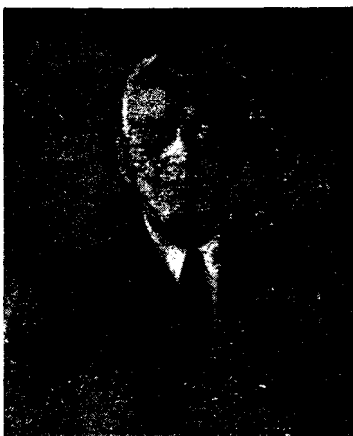
Андрей Николаевич Ларионов—один из старейших и крупнейших специалистов в области расчета, конструирования, производства специальных электрических машин и электропривода. А. Н. Ларионов начал педагогическую работу в высшей школе в МВТУ в 1919 г. Как ученый и инженер он известен новаторством в области применения переменного тока большой мощности на самолетах и является одним из авторов сложнейшего электрооборудования первого самолета-гиганта «Максим Горький». Применение в СССР переменного тока большой мощности на самолетах намного опередило применение таких систем в США.

Под руководством А. Н. Ларионова разработаны машины, отличающиеся высокой надежностью, малым весом и габаритами, а также машины и преобразователи постоянного тока высокого напряжения.

Впервые в нашей стране исследования А. Н. Ларионова в 1924 г. доказали возможность построения машин постоянного тока с высоким напряжением между смежными коллекторными пластинами, что позволило выполнить ряд типов отечественных машин постоянного тока с малыми габаритами коллектора.

Агрегаты, разработанные профессором Ларионовым, приняты на вооружение и многолетняя эксплуатация этих агрегатов в суровых условиях показала их полную надежность и прекрасное качество. А. Н. Ларионовым были созданы новые конструкции электрических машин, возбуждаемых постоянными магнитами, и была предложена трехфазная мостовая схема выпрямления тока.

Научная и педагогическая деятельность А. Н. Ларионова на протяжении ряда лет была тесно увязана также



с практическими запросами советской энергетики. Обследования силовых хозяйств Азнефти и Грознефти, выполненные под руководством и при деятельном участии А. Н. Ларионова (1925—1927 гг.) дали научный и практический материал, использованный в работе по составлению пятилетних планов электрификации нефтяных промыслов и реконструкции электросиловых хозяйств Азнефти и Грознефти. Обширные исследования А. Н. Ларионова (1928—1932 гг.) в области электропривода по добыче угля в Донбассе послужили основанием для реконструкции электросиловых хозяйств Донугля. Аналогичные исследования выполнены и в области электропривода по добыче гидротурфа и в бумажной промышленности. За период 1920—1936 гг. А. Н. Ларионов неоднократно участвовал

в решении технических задач, связанных с пуском и обеспечением эксплуатации турбо- и гидрогенераторов ряда крупнейших электростанций Советского Союза.

Кафедра авиационного и автотракторного электрооборудования в МЭИ была организована А. Н. Ларионовым. Им же была организована кафедра «Электрические машины» в Инженерно-технической академии связи им. Подбельского и ряд специальных лабораторий в ВЭИ.

Вся деятельность доктора техн. наук, проф. А. Н. Ларионова направлена на развитие отечественной энергетической науки, воспитание научных и технических кадров.

Свое шестидесятилетие Андрей Николаевич встречает в рядах передовых советских ученых, отдающих весь опыт и знания интересам нашей Родины.

**Б. П. АПАРОВ, В. В. МЕШКОВ, Г. Н. ПЕТРОВ,
Е. В. НИТУСОВ, Ю. С. ЧЕЧЕТ**



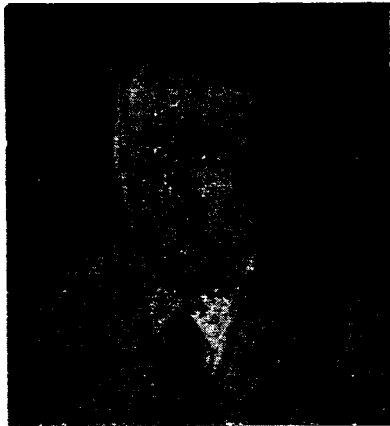
Профессор Б. П. Апаров

К 50-летию со дня рождения и 25-летию научно-педагогической деятельности

Борис Петрович Апаров родился в 1899 г. После окончания средней школы он поступил в 1917 г. в МВТУ, которое окончил по электротехническому факультету в 1923 г. Свою научную и педагогическую деятельность Борис Петрович Апаров начал в 1924 г. на кафедре «Электрические машины» под руководством К. И. Шенфера и на кафедре «Основы электротехники» под руководством К. А. Круга. Тогда же он начал работать научным сотрудником в Государственном электротехническом экспериментальном институте (ныне ВЭИ).

В 1928 г. Б. П. Апаров был утвержден в звании доцента, а в 1934 г. в звании профессора Московского энергетического института им. Молотова.

В 1937 г. после успешной защиты диссертации Б. П. Апарову была присвоена ученая степень доктора технических наук. До 1941 г. Б. П. Апаров работал на кафедре электрических машин МЭИ. Во время войны Б. П. Апаров был утвержден заведующим кафедрой авиационного и автотракторного



электрооборудования. Эту кафедру он возглавляет до последнего времени.

Перу профессора Апарова принадлежит ряд научных статей и монографий (свыше 50 названий). Свои научные работы Б. П. Апаров развивал как в области теоретических вопросов, так и в области чисто практических исследований. Одним из первых он занимался задачей выражения уравнения петли гистерезиса с помощью ряда Фурье (Известия ГЭИ, 1925 г.). В 1924 г. Б. П. Апаров напечатал результаты впервые поставленных им исследований влияния зубчатости статора и ротора на рабочий процесс индукционных машин, а в частности, на кривую их моментов. В этих работах он впервые доказал несостоятельность взглядов школы Arnold'a, будто основным фактором

в этих процессах являются так называемые «обмоточные гармоники», и выдвинул соображения о решающем значении влияния так называемых «зубцовых гармоник». В последующие годы этот взгляд получил общее признание.

В 1932 г. Б. П. Апаров вернулся к этому вопросу и предложил формулы для рационального выбора зубцов асинхронных двигателей. Им разработаны также правила выбора зубцов бесшумных асинхронных двигателей. Ряд работ Б. П. Апарова посвящен отдельным вопросам теории асинхронных двигателей, в частности, вопросам влияния насыщения на рабочие свойства двигателя.

В области машин постоянного тока Б. П. Апаров совместно с академиком К. И. Шенфером выдвинул вопрос об улучшении коммутации с помощью применения разрезных щеток.

Б. П. Апаровым впервые была указана возможность каскадного соединения синхронных машин; он показал, что такой каскад работает вполне устойчиво.

В развитие машины двойного питания, работающей вблизи одинарной синхронной скорости, предложенной В. А. Толвинским, Б. П. Апаровым была предложена схема двигателя двойного питания, в которой устранены «бienia» тока в подводящих проводах. Схема В. А. Толвинского, а равно и схема Б. П. Апарова были предло-

жены значительно раньше, чем были произведены аналогичные разработки в США.

С 1930 г. профессор Апаров руководил лабораторией машин переменного тока ВЭИ, работавшей в тесном контакте с заводами электропромышленности. Под руководством Б. П. Апарова в этой лаборатории были проведены весьма ценные исследования нагрева и вентиляции электрических машин, в частности, турбогенераторов.

Б. П. Апаровым написан первый том труда «Машины переменного тока» и подготовлена к печати книга «Основы авиационной и самолетной электротехники».

За годы своей научно-педагогической деятельности профессор Апаров воспитал значительные кадры научных работников.

За плодотворную деятельность в высшей школе Б. П. Апаров награжден орденом «Знак почета» и медалями Союза ССР.

**В. В. МЕШКОВ, Г. Н. ПЕТРОВ, М. А. БАБИКОВ,
А. Н. ЛАРИОНОВ, Е. В. НИТУСОВ**



Е. А. Свирский

Ленинградский электротехнический институт им. Ульянова (Ленина) понес тяжелую утрату: 1 сентября 1949 г. после продолжительной болезни скончался зав. кафедрой электроизмерительной техники, профессор Евгений Антонович Свирский.

Евгений Антонович родился в 1883 г. в г. Херсоне. Свою педагогическую и научную деятельность Е. А. Свирский начал с 1910 г., после окончания школы военно-инженерного ведомства, в качестве преподавателя и члена экспертной комиссии по разработке первых полевых радиостанций.

В 1914—1918 гг. Е. А. Свирский руководил разработкой проекта, построением и эксплуатацией в г. Пушкине мощной радиостанции, которая передала первый декрет Совета рабочих, солдатских и крестьянских депутатов. С 1918 г. Е. А. Свирский начал преподавать в Военно-электротехнической школе, реорганизованной при его непосредственном участии в Военную-электротехническую академию им. Буденного, ставшую кузницей командного состава электротехнических частей Советской Армии. С 1925 г. Евгений



Антонович был привлечен к работе в ЛЭТИ, в котором с 1928 г. бессменно руководил кафедрой электроизмерительной техники.

Е. А. Свирский завоевал любовь и уважение всего профессорско-преподавательского коллектива и студенчества Института. В годы Отечественной войны Е. А. Свирский возглавлял учебное руководство ЛЭТИ, проявляя особую заботу о сохранении его кадров.

Исключительно большая и многообразная учебно-педагогическая и научная деятельность Е. А. Свирского на протяжении почти 40 лет нашла отражение в его ценных научных трудах и учебниках, и, в частности, в его последнем учебнике по электрическим измерениям, широко применяемом в электротехнических вузах страны.

Правительство высоко оценило заслуги Евгения Антоновича Свирского перед Родиной, наградив его орденами

«Красная Звезда» и «Знак Почета» и медалями.

Память о Евгении Антоновиче надолго сохранится в сердцах его учеников и товарищей.

**П. И. Скотников, В. П. Вологдин, С. Я. Соколов, А. Ф. Алабышев, Н. П. Богородицкий,
А. В. Фремке, Ю. Ф. Кригер, В. И. Иванов, А. Г. Граммаков, А. В. Берендеев, Д. В. Васильев, Н. Г. Болдырев, Я. А. Рыфтин, В. И. Сифоров, Г. А. Кьяндский, Ф. Н. Харджа, Н. П. Ермолин, В. В. Пасынков и др.**



П. С. Жданов

Светская энергетика и советская высшая техническая школа понесли тяжёлую утрату — 30 декабря 1949 г. скончался крупный ученый, лауреат Сталинской премии, доктор технических наук, заведующий кафедрой электрических сетей и систем Московского энергетического института им. Молотова, профессор Петр Сергеевич Жданов.

П. С. Жданов родился в 1903 г. в Москве, где и получил среднее образование. В 1921 г. Петр Сергеевич поступил в Московский практический электротехнический институт (позднее преобразованный в Московский электротехникум), который окончил в 1926 г. В 1933 г. П. С. Жданов защитил дипломную работу в Московском энергетическом институте.

С 1927 г. в течение 15 лет Петр Сергеевич вел научную работу во Всесоюзном электротехническом институте — сначала в качестве техника, затем инженера, старшего научного сотрудника и профессора. С 1941 г. по 1945 г. П. С. Жданов работал начальником сектора Научно-исследовательского института электропромышленности, руководя ответственными экспериментальными работами.

Параллельно с научно-исследовательской работой протекала и педагогическая работа Петра Сергеевича, которую он начал в 1933 г. в МЭИ, будучи сначала ассистентом, затем с 1935 г. — доцентом и с 1941 г. — профессором.

В 1935 г. П. С. Жданову была присуждена без защиты диссертации степень кандидата технических наук и присвоено звание доцента; в 1940 г. он, защитив диссертацию, получил ученую степень доктора технических наук и в 1941 г. был утвержден в звании профессора.

П. С. Жданов — один из создателей современного учения об электрических системах. Он много сделал для развития теории устойчивости электрических систем. Монография по этому вопросу, написанная им совместно с С. А. Лебедевым еще в 1933 г., была первой в мировой литературе. Этой монографии предшествовала большая научно-исследовательская работа Петра Сергеевича, отраженная в ряде статей, опубликованных им в журналах «Электричество» и «Электрические станции». Оригинальные идеи, имеющие и сейчас актуальное значение, и глубокий математический анализ отличают статьи П. С. Жданова. В них рассматриваются: асинхронный ход в электрических системах, синхронизация машин при нарушении устойчивости, демпферный момент синхронной машины, аварийное регулирование турбин, применение насыщенных реакторов, как средство повышения устойчивости, новые схемы возбуждения синхронных машин (компаундирование), анализ влияния заземления нейтрали на устойчивость, исследование характеристик нагрузки и их влияние на статическую и динамическую устойчивость, сооружение статических моделей, разработка метода исследования динамических перенапряжений при помощи цепочечных схем замещения.

Особо должна быть отмечена большая работа Петра Сергеевича, посвященная статической устойчивости электрических систем, в которой он исследовал задачу в общем виде, впервые в полном объеме применив метод малых колебаний, и установил степень приближения к истине известных практических критериев устойчивости сложных систем.

В последнее время П. С. Жданов много внимания уделял проблеме передачи электрической энергии сверхвысокого напряжения, руководя научно-исследовательскими работами в данной области, и являясь экспертом и докладчиком по этим вопросам в ученых советах научных институтов и в правительственных органах. Под руководством Петра Сергеевича разрабатывался ряд разделов пер-



вого проекта передачи 400 кВ (в 1939 г.). Вклад П. С. Жданова в это дело очень велик и электротехника Советского Союза многим обязана ему в этом отношении.

Петр Сергеевич зарекомендовал себя блестящим лектором. Он был горячо любим студентами и преподавателями, для которых был чутким и отзывчивым товарищем. П. С. Жданов создал на кафедре «Электрических сетей и систем» отсутствовавшую ранее лабораторную базу и в том числе уникальную установку — статическую модель электрических систем, за которую он был вместе с другими авторами этой модели удостоен звания лауреата Сталинской премии. П. С. Жданов придал определенное научное направление этой кафедре, тесно связав рост ее педагогического состава с исследовательской работой по вопросам, имеющим большое практическое значение. П. С. Ждановым и под его

руководством на кафедре создан был ряд курсов. Следует упомянуть о курсе «Устойчивость электрических систем», читавшемся Петром Сергеевичем с 1933 г. до последнего времени и нашедшем свое отражение в учебнике, опубликованном в 1948 г. под тем же названием.

Курс «Электрические сети и системы» получил в изложении П. С. Жданова новое глубокое содержание, сделавшись подлинной основой современного учения об электрических системах. В этом курсе, вызывавшем огромный интерес у слушателей, наряду с вопросами расчета электрических сетей изложен весь комплекс явлений, связанных с работой системы: устойчивость, регулирование частоты, регулирование напряжения и потоков мощности. К сожалению, Петр Сергеевич не успел создать намеченных им и включенных в план работ кафедры учебник по этому курсу.

По инициативе П. С. Жданова и под его руководством на кафедре был введен курс «Передача электрической энергии на большие расстояния», «Специальный курс электрических систем», «Специальный курсовой проект», выполняемый на модели сетей и новый курс «Электрические системы» для гидроэнергетического факультета.

Кроме работы в МЭИ П. С. Жданов вел большую научно-техническую и общественную работу. Он являлся членом и заместителем председателя экспертной комиссии МВО, членом Технического совета Министерства электростанций, членом Ученого совета Энергетического института Академии наук СССР, членом Ученого совета ЦНИЭЛ МЭС; он был делегатом СССР на международной конференции по электрическим системам. Кроме того, П. С. Жданов являлся членом правительственной комиссии по приемке Московского метрополитена, консультантом Госплана СССР.

Петр Сергеевич вел большую общественную работу в качестве члена президиума ВНИТОЭ. В 1947 г. он был избран членом Первомайского районного совета.

Глубокая эрудиция П. С. Жданова в вопросах, касающихся электрических систем, создали ему огромный авторитет и широкую известность среди практических работников электрических систем и работников высших научных учреждений страны.

Личные качества Петра Сергеевича — его скромность, принципиальность, свойственная ему тщательность, с которой он подходил к любому вопросу, были общезвестны и не раз при его участии объективно и убедительно разрешались спорные злободневные научно-технические и научно-общественные вопросы.

Петр Сергеевич был награжден медалями «За оборону Москвы», «За доблестный труд в Великой Отечественной войне» и «В память 800-летия Москвы».

В. А. Веников, А. А. Глазунов, В. В. Мешков, Г. Н. Петров, Г. М. Розанов, А. Я. Сыромятников



Н. К. КУЗНЕЦОВ, А. П. ЗЛАТКОВСКИЙ. СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ.

Издание 2-е, переработанное и дополненное. 316 стр., ц. 15 руб. Сельхозгиз, 1948.

При огромном объеме происходящего сейчас и намеченного на ближайшее время сельского гидроэлектростроительства ощущается большая потребность в соответствующей технической литературе. До последнего времени в этой области издано весьма скудное число книг, из которых ни одна, кроме первого издания рецензируемой книги (1941 г.), не пыталась охватить все вопросы, входящие в комплекс строительства сельских гЭС. Поэтому нужно приветствовать выпуск в 1948 г. второго издания этой книги.

Книга состоит из двух частей равного объема, первая из которых (гидротехническая) написана Н. К. Кузнецовым и содержит 12 глав, а 2-я (электротехническая) написана А. П. Златковским и содержит 10 глав. В книге отсутствует вступление, в котором нужно было сказать о развитии сельскохозяйственного потребления электроэнергии, видах местных энергоресурсов и удельном весе в них гидроэнергии малых рек.

Несмотря на то, что книга предназначена для рядового инженера и техника, она написана — по глубине и форме изложения — очень неровно. Так, в начале гл. I даются определения лошадиной силы и киловатта, а на стр. 26 написано: «как известно, модулем расхода по Павловскому называется...», что предполагает теоретически подготовленного читателя.

Одним из основных недостатков книги является отсутствие стройной системы и невысокий культурный уровень изложения. Крупным недостатком является также отсутствие в книге освещения вопросов с экономической стороны.

Диапазон рассмотренных станций по мощности не превышает в основном нескольких сот киловатт, между тем, при растущей тенденции к укрупнению сельских гЭС в книгу следовало бы включить рассмотрение объектов большей мощности, для которых типы сооружений и оборудования уже могут меняться.

Рассмотрим книгу по отдельным главам.

В главе I описываются схемы энергетического использования рек и типы гидроустановок, дается классификация гидростанций и гидросооружений.

Недостаточная последовательность изложения привела в этой главе к ряду пробелов. Так, не объяснены причины применения деривационных схем на горных реках. Есть и неправильные утверждения: на стр. 6 напором нетто на турбинах названа геометрическая разность уровней за вычетом потерь напора, включая потери в самих турбинах.

Главы II—VI посвящены проектно-исследовательским работам. Наиболее трудные гидрологические расчеты величин годового стока по методу, основанному на теории вероятностей, изложенные в этой главе, были бы понятнее, если бы был дан чертеж кривой распределения с ее параметрами, дающими геометрическое представление о коэффициентах C_s и C_v .

Задача энергетических расчетов, связанных с сооружением гЭС, автором сужена до составления схемы использования реки, без учета всего энергобаланса района. Вопрос выбора установленной мощности гидростанции решен неясно: сначала признается наиболее обоснованным метод максимального использования водотока, а затем предлагается ее считать по среднему меженному или зимнему расходу, судя по величине нагрузки. Принципиально правильным следует считать выбор мощности гЭС с учетом

ее экономического влияния на все соприкасающиеся с ее сооружением отрасли сельского хозяйства.

В главе VII рассматриваются типы и конструкции плотин. Достаточно подробно рассмотрены земляные и деревянные плотины, однако без должной критики существующих типов с точки зрения требований, предъявляемых к ним энергетикой. Трудно для понимания изложены расчеты флотбетов и естественных водосбросов. Каменным и бетонным плотинам уделено всего две страницы.

Также мало данных приведено о затратах материалов и объемных работ по разным типам плотин.

В главах VIII и IX рассматриваются водозаборные и подводящие сооружения. Вопрос о выборе экономических сечений ставится почему-то только для железобетонных трубопроводов.

Глава X посвящена турбинам. Она начинается с классификации турбин, после чего нужно было бы разъяснить принципы действия активных и реактивных турбин, привести треугольники скоростей и дать ряд рисунков конструкций турбин. Осталось без объяснения и действие всасывающей трубы. В таблицах технических данных турбин отсутствуют выпускаемые сейчас серии турбин Ф-300, ПРК-245 и др., что впрочем не является виной автора, так как книга готовилась к печати до их появления. Мощности рассматриваемых типов турбин не превышают 200 квт. Турбины Каплана вовсе не рассматриваются. Следовало привести кривые к. п. д. турбин разных типов в зависимости от нагрузки и образцы универсальных характеристик. Совершенно не рассматривается упрощенное регулирование пропеллерных турбин, ручное и автоматическое, с помощью цилиндрического шита, с которым в настоящее время строятся турбины ПРК-70. Между тем применение автоматических регуляторов турбин, сейчас назрело даже на небольших сельских станциях. Отсутствуют данные к. п. д. для разных видов механических передач от турбин к генератору.

В главе XI рассматриваются здания станций, но не приведено ни одного деревянного здания с расположением гидроагрегата с клиноременной передачей, одно из преимуществ которой состоит в возможности уменьшения кубатуры здания. Совершенно не рассматриваются улучшенные турбинные камеры, например спиральные.

Весьма полезной является глава XII, содержащая вопросы организации и способов производства строительных работ и вопросы технической эксплуатации сооружений. В этой главе приведены также некоторые показатели расхода материалов при строительстве гЭС.

В главах XIII—XVI рассматривается электрическая часть гидростанций. Глава XIII посвящена схемам коммутаций. Автор не поставил вопрос о рациональных типовых схемах, а привел схемы, которые нельзя признать удовлетворительными. На практике отдача энергии станции производится в основном на высоком напряжении, причем число отходящих фидеров этого напряжения, как правило, должно быть по условиям надежности и удобства эксплуатации не меньше двух. Между тем, на рис. 109, изображающем схему двухагрегатной станции мощностью 250 квт, имеется всего 1 фидер. В этой же схеме в виду отсутствия рубильников на фидерах генераторов нельзя произвести синхронизацию

генераторов. Рассмотрение схем двухагрегатных гидростанций с раздельной работой генераторов неактуально, так как такая работа не может рекомендоваться. Во всех схемах отсутствуют частотомеры, необходимые на гЭС не только для поддержания нормального режима частоты, но и для контроля за режимом оборотов турбины, при отклонении от которого она будет перерасходовать воду; наоборот, излишняя вольтметр в цепи возбуждения генератора. Вопрос об автоматическом регулировании напряжения и компаундировании совсем не ставится.

На схеме коммутации станции с двумя генераторами 6 кв (рис. 113) отсутствуют обязательные для таких генераторов гашение поля (АГП); кроме токовой применена арханцкая и ненужная защита генераторов ваттметровым реле. Вопросы коммутации станций мощностью более 1000 квт не рассматриваются. Однако, и на станциях с мощностью этого порядка при генераторах высокого напряжения было бы целесообразно применение более совершенной защиты генераторов с помощью вынесенных реле, схемой с применением которых следовало бы дополнить эту главу.

Главы XIV и XV посвящены генераторам и электрооборудованию распределительных устройств. Глава XIV начинается с элементарного описания принципа действия генераторов, которое должно быть значительно расширено, так как без рисунков и диаграмм не дает читателю достаточного даже для гидротехника представления о предмете. В сопровождающих текст таблицах технических данных генераторов и силовых трансформаторов отсутствуют данные о вертикальных генераторах типа ВГС новой IV Уральской серии, а также о вертикальном генераторе типа СВ-11-6/8. Рассмотрение асинхронных генераторов в этой главе нужно было сделать полнее, охватив кроме малых генераторов, могущих работать с самовозбуждением, также работу генераторов с возбуждением от сети.

Приведенные в главе XV данные по коммутационной аппаратуре несколько устарели. Эти данные, к сожалению, не сведены в такие же таблицы, как данные по генераторам, а приводятся беспорядочно среди текста. Не приводятся данные новых типов выключателей ВГ и ВМБ. Мнение автора о целесообразности широкого применения для токовой защиты фидеров 6 ÷ 10 кв первичных реле спорно, так как речь может идти об их применении только на отходящих фидерах, которые почти всегда имеют хотя бы один трансформатор тока для измерительных целей. Таким образом, при установке одного дополнительного трансформатора тока можно иметь значительно более совершенную защиту с вторичными реле.

Глава XVI «Распределительные устройства и трансформаторные подстанции» содержит кроме описания конструкций распределительных устройств также разделы автоматизации гидростанций и работы малых гидростанций в мощной энергосистеме. Среди излишне многочисленных рисунков установки трансформаторов на АП-образных опорах пропущена простая П-образная опора для трансформаторов до 50 кв. Разделы автоматизации и работа гидростанции в системе, по существу, оба посвящены схемам автоматизации. В первом из этих разделов приведены схемы опытных автоматических установок, а также схема ГЭС мощностью 55 ÷ 150 кв для изолированной работы, разработанная ЭМЗ, во втором — такая же схема одноагрегатной ГЭС

с асинхронным генератором мощностью до 3000 квт, работающей параллельно с системой. Приведенные развернутые схемы автоматики этих станций могут быть трудны для малоподготовленного читателя, так как пояснений к ним не дано.

Разделы по автоматизации следовало бы вынести в отдельную главу, осветив в ней также экономический эффект автоматизации. Отдельную главу следовало бы также посвятить работе ГЭС в местной и мощной системе, осветив в ней техническую и экономическую стороны параллельной работы малых гидростанций между собой и с другими станциями.

Главы XVII, XIX и XXI посвящены сельским электрическим сетям и потребителям энергии. Эта часть работы не относится непосредственно к ГЭС, но вошедшие в нее вопросы возникают одновременно с постройкой ГЭС, и объединение их в одной книге в условиях сельской электрификации является правильным. Однако, глава загромождена лишними выводами формул потерь напряжения и подробным описанием бустерного регулятора напряжения, не имеющего пока распространения. Реактивное сопротивление линий из цветных металлов неправильно названо внешним индуктивным сопротивлением (стр. 248).

Говоря о системе передачи ДПЗ, автор не дает рекомендации целесообразности ее применения в разных условиях.

Содержание XVIII и XX глав, посвященных заземлениям, занулениям и защите от атмосферных напряжений, следовало бы отнести к главам, касающимся распределительных устройств и сетей, сократив его и ограничившись приведением только практически необходимых мероприятий.

Последние главы — XXI и XXII содержат технические данные механизмов электрифицируемых сельскохозяйственных процессов и расчеты освещения, а также знакомят с эксплуатационными показателями и графиками нагрузки ГЭС.

В заключение следует указать на наличие в книге многочисленных логических и литературных шероховатостей, а также неправильных технических терминов «нижний уровень» вместо «минимальный горизонт»; «плановое расположение» вместо «расположение в плане»; «сила тока в магнитной цепи» вместо «сила тока в цепи возбуждения»; «изолированная тяга» вместо «изолирующая тяга» и т. д.

В списке литературы, приведенном в конце книги, отсутствуют «Правила технической эксплуатации сельских электрических установок» и книги по гидроэнергетике, например, «Гидросиловые установки» Т. Л. Золотарева, «Использование водной энергии» А. А. Морозова.

По сравнению с первым изданием книга несколько переработана и дополнена новыми данными по электромеханическому оборудованию, но проиграла от исключения ряда важных иллюстраций, например, кривых к. п. д. турбин.

В целом книга, несмотря на ее многочисленные недостатки, значительно снижающие ее ценность, несомненно, принесет пользу работникам сельской электрификации на местах.

Кандидат техн. наук В. Р. СЕКТОРОВ



П. М. ФЛИЕР. ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ИЗМЕРЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН.

Перевод Г. М. Боркунского под редакцией Л. С. Фреймана. 253 стр., ц. 20 р. 30 к. Машгиз, 1948.

Рецензируемая книга, представляющая собой перевод со второго немецкого издания, состоит из трех глав. Первая глава «Основы электрических измерений» посвящена вопросам точности электроизмерительных приборов и влиянию различных факторов на их показания. Здесь же приведены способы производства счетнорешающих операций. Вторая глава «Преобразование механических величин в электрические» содержит описание различных физических принципов, применяемых для построения датчиков механических величин в виде электрических величин. Наконец, третья глава посвящена собственно методам измерения механических величин: перемещений, толщины материалов, усилий, скоростей, ускорений, вибраций, времени и т. д. Книга содержит большое количество (301) иллюстраций, поясняющих устройство, схемы и конструкции приборов. Книга может быть полезна для желающих вкратце ознакомиться с существующими приборами для измерения механических величин. Этому же кругу вопросов посвящены недавно изданные книги русских авторов: 1) Ф. Е. Темников и Р. Р. Харченко. Электрические измерения неэлектрических величин. Госэнергоиздат, 1948 г.¹ и 2) Л. Я. Волчок. Электрические методы измерений в двигателях внутреннего сгорания. Машгиз, 1948 г.²

Большое разнообразие описанных физических принципов схем измерений и приборов, а также конкретные цифровые характеристики их являются положительными сторонами рецензируемой книги. Однако, в книге имеются и существенные недостатки, которые пытался отчасти исправить редактор — проф. Л. С. Фрейман.

Основной недостаток заключается в том, что содержание книги несколько устарело. Она соответствует уровню электроизмерительной техники, существовавшей примерно 10—15 лет назад. Хотя во втором издании автор и дополнил ее описанием некоторых новых типов приборов, однако основной материал соответствует первому немецкому изданию, вышедшему еще в 1940 г. За это время возникли новые схемы и способы измерений механических величин, характеризующиеся широким применением электроники, радиотехнических и радиолакационных способов измерения. Автор книги рассматривает, главным образом, приборы германских фирм, выпущенные до войны; совершенно игнорируются работы, выполненные в СССР, а также и в других странах, что справедливо отмечено редактором. Многие методы и приборы, описанные в книге, либо устарели, либо вовсе не применяются. Так, например, изменение термо-э. д. с. (стр. 49) при механических воздействиях не используется вследствие незначительности этого эффекта. Датчики сопротивления с ртутным включением (стр. 63), электролитические датчики сопротивления (стр. 66), измерение времени баллистическим гальванометром (стр. 228) и др. — явно устарели.

Первая глава книги по мысли автора должна дать основы электрического измерения. Здесь же приведены нормы на электроизмерительные приборы и крайне конспективно рассмотрены вопросы влияния колебания напряжения и частоты на показания этих приборов. Раздел «Производство счетных операций» почему-то также включен в эту главу. Материал главы изложен весьма кратко, поверхностно и не соответствует современному состоянию техники. Так, например, о ламповых стабилизаторах (стр. 12) сказано, что они позволяют достигнуть точности регулирования напряжения $\pm 0,25\%$, в то время как современные электронные стабилизаторы напряжения обеспечивают точность $0,01\%$ и

выше. Приведенная схема (рис. 8) стабилизации напряжения машины постоянного тока нуждается в коренном усовершенствовании, которое заключается в применении для регулирования двухтактного усилителя, управляющего через обмотку возбуждения со средней точкой или с помощью электромашинного усилителя.

Автор уделяет много внимания логометрическим приборам, которые раньше имели широкое применение, но в настоящее время вследствие большого веса подвижной системы, уменьшенного вращающего момента, неравномерности шкалы, наличия «безмоментных» пружин и других причин вытесняются электронными компенсационными схемами.

Выполнению счетных операций автор уделил всего 7 страниц. Естественно, что здесь изложены лишь самые элементарные схемы. Отсутствуют современные схемы дифференцирования и интегрирования с помощью электронных усилителей.

Вторая глава, посвященная принципам преобразования механических величин в электрические, носит крайне конспективный характер и не в состоянии дать достаточно четкого представления о рассматриваемых методах измерений. Теория этих методов почти не рассматривается, отмеченные выше книги советских авторов теорию этих методов рассматривают гораздо полнее.

Третья глава занимает около 60% объема всей книги и представляет наибольший интерес. Здесь описаны типовые конструкции различных датчиков и приборов, как например, электрические микрометры, толщиномеры, измерители усилий, вращающего момента, скорости, ускорения и т. п. Обильные фотоиллюстрации, схемы, эскизы конструкций и образцы записей дают наглядное представление о приборах. Интересна универсальная схема (рис. 82) измерительного устройства для записи динамических процессов с различными датчиками (емкостными, индуктивными и магнитострикционными). К сожалению, в описании схемы допущена ошибка, — указано, что прибор можно производить запись процессов с частотой до 12 000 гц вместо 1 200 гц. Достоинством этой схемы является возможность измерения знакопеременных усилий.

Следует обратить внимание также на схему рис. 16 для емкостных измерений, которая позволяет исключить влияние емкостей соединительных кабелей, что особенно важно при измерениях на расстоянии с датчиками, обладающими малой емкостью.

Разделы книги, посвященные измерению скорости времени, особенно нуждаются в дополнениях современными схемами и приборами, применяемыми в авиации и в радиолакационной технике. В настоящее время измерение истинной скорости самолетов производится радиолакационными методами или методами синхронизации. Измерение скорости вращающихся валов производится также генераторами постоянного и переменного тока, обеспечивающими точность до $0,1 \div 0,2\%$. Имеются специальные «эталонные» приборы для измерения скорости с точностью до сотых долей процента. Обо всем этом в книге ничего нет.

Вследствие дословного перевода в некоторых местах книги текст малопонятен и нуждается в дополнительной редакционной обработке. Вместо термина «баррегер» введен сделан дословный перевод — «железнодорожное сопротивление». Датчики механических величин в разных местах имеют три названия: мессдоза, индикатор, датчик.

Несмотря на отмеченные недостатки, книга является весьма полезной благодаря разнообразию приведенных в ней методов и приборов для измерения механических величин.

Доктор техн. наук Ф. В. МАЙОРОВ

¹ См. рецензию на эту книгу: Электричество, № 8, 1949.

² См. рецензию на эту книгу: Электричество, № 6, 1949.



Г. ЛАУЭР, С. ЛЕСНИК, Л. МАДСОН. ОСНОВЫ ТЕОРИИ СЕРВОМЕХАНИЗМОВ. Перевод И. Б. Мандельштама под редакцией Я. З. Цыпкина. 307 стр., ц. 15 руб. 50 коп. Госэнергоиздат, 1948.

Рецензируемая книга представляет собой систематическое введение в теорию следящих систем, доступное по изложению и используемому математическому аппарату инженеру-практику.

В первой главе приводится ряд простых примеров систем регулирования и выясняется различие между системами регулирования и управления. Дается элементарное представление о следящих системах и их применениях.

Во второй главе в доступной и ясной форме изложено действие механических и электрических устройств, измеряющих ошибку в следящих системах, т. е. угол между осями датчика и приемника. Подробно поясняется принцип работы дифференциального сельсина, а также обычного сельсина, включенного по индикаторной и трансформаторной схеме.

В третьей главе исследуются переходные процессы в следящих системах, в которых учитывается только момент инерции ротора двигателя и вязкое трение, а вращающий момент принимается пропорциональным ошибке. Авторы подробно разбирают этот элементарный случай, исследуя изменение во времени ошибки следящей системы при равномерной заводке датчика. В этой же главе рассматривается случай демпфирования посредством введения обратной связи по скорости следящего органа системы. Все эти вопросы, сводятся к линейному дифференциальному уравнению второго порядка с постоянными коэффициентами. Авторы с излишней подробностью приводят детальное решение этого уравнения и исследование его решения со всеми подстановками и алгебраическими преобразованиями. Читатель, окончивший втуз, неоднократно встречал уже этот материал в курсах высшей математики, механики и теоретической электротехники, и в такой детализации изложения нет поэтому никакой необходимости.

В четвертой и пятой главах рассматриваются следящие системы, демпфированные как сигналом, пропорциональным скорости рассогласования, так и совместным действием этого сигнала с демпфированием, рассмотренным в третьей главе. Дифференциальные уравнения таких систем регулирования также второго порядка и отличаются от рассмотренных в главе третьей только постоянными коэффициентами. Пользуясь уже полученными результатами, можно было бы формальный материал этих двух глав свести к минимуму. Однако авторы в значительной части повторяют здесь ряд элементарных выкладок и рассуждений, приведенных в третьей главе. В особенности это замечание относится к параграфам «Установившийся режим при синусоидальной входной функции» и «Резонансные кривые».

В шестой главе рассматриваются способы практического осуществления стабилизирующих устройств. Однако авторы не дают какой-либо руководящей идеи для расчета и читатель не вынесет из этой главы ясного представления о том, как выбирать параметры таких контуров.

В седьмой главе дается теоретическое обоснование и указывается практическое выполнение устройств, демпфирующих следящие системы путем введения на вход усилителя кроме сигналов, рассмотренных ранее, еще и сигнала, пропорционального интегралу от ошибки системы во времени. Эта глава также загромождена элементарными математическими выкладками и рассуждениями. Приведенный в ней материал не дает ясного представления о выборе параметров интегрирующего контура.

Восьмая глава содержит начала частотного метода исследования следящих систем. Хотя материал этой главы дан в достаточно элементарной и доступной для начинающего читателя форме, однако изложение этого вопроса не стоит на современном уровне развития теории регулирования.

В девятой главе как пример расчета приведен выбор основных параметров следящей системы с двухфазным короткозамкнутым асинхронным двигателем. Кроме того, здесь же вкратце разобраны два примера

использования серводвигателей для промышленных систем регулирования.

К достоинствам книги следует отнести наличие в ней большого числа задач и примеров. При решении их читатель начинает ясно представлять себе порядок величин, которые имеют элементы следящих систем и те реальные количественные соотношения, которыми они связаны.

Очень удачна приведенная в книге аналогия между маятником и следящей системой. Эта аналогия позволяет ясно представить себе динамику переходного процесса в следящей системе при различных способах демпфирования.

На стр. 96—104 и 257—265 приведено интересное рассмотрение следящей системы на переменном токе, мало освещенное в литературе.

Но рецензируемая книга не лишена и крупных недостатков. Перечислим некоторые из них.

Принимаемая авторами идеализация следящих систем сводит рассмотрение переходных процессов в них к решению дифференциальных уравнений второго порядка с постоянными коэффициентами. Следящие системы, описываемые такими уравнениями, будут всегда устойчивыми. Таким образом, принятая идеализация совершенно снимает с рассмотрения вопрос об устойчивости. Между тем, известно, что современные следящие системы при отклоненных внутренних связях совершают незатухающие колебания, несмотря на наличие в том или ином виде сил, аналогичных вязкому трению. Стремление авторов упростить математическую формулировку задачи привело к невозможности объяснить некоторые явления, происходящие в следящих системах.

Сервомеханизмы рассматриваются с точки зрения решения задачи следования достаточно мощного двигателя за перемещением датчика с малым моментом на оси, т. е. рассматриваются следящие системы, применяемые в зарубежной военной технике. Между тем, в промышленности имеется область применения следящих систем, как, например, автоматическая перестановка валков прокатных станов, автоматические копировальные станки и т. д., со своими специфическими особенностями; есть также обширная область промышленного применения сервомеханизмов, в которой отклонение регулируемой величины от заданного значения компенсируется перемещением двигателя. Примерами таких систем регулирования с серводвигателями являются устройства для автоматической подачи электродов дуговой сталеплавильной печи, устройства для подачи бурильного инструмента при бурении нефтяных скважин, автоматические компенсаторы, автоматические потенциометры и т. д. В рецензируемой книге вся эта богатая область применения серводвигателей оказалась почти не затронутой.

Многие математические выкладки в книге приведены со всеми деталями и элементарными преобразованиями, и во многих местах книги они настолько загромождают текст, что становится трудно уловить цель этих выкладок и смысл того, о чем идет речь.

Перевод книги выполнен небрежно и содержит много неудачных и бессмысленных выражений. Приведем примеры: «в дополнение к параметрам и факторам работы...» (стр. 80), «вал ошибки» (стр. 82), «... с конечным множителем вольтажа...» (стр. 159), «...конец вектора описывает ...окружность круга» (стр. 162), «...электрич. ватт...» (стр. 259).

Следует отметить удачно составленное редактором дополнение, содержащее ясное и простое изложение вопросов устойчивости систем регулирования. Это дополнение в значительной мере исправляет то игнорирование вопросов устойчивости, которое допущено авторами.

Давая оценку рецензируемой книге в целом, следует подчеркнуть, что книга содержит доступное и ясное изложение основ теории следящих систем, и может способствовать популяризации научных основ этой области техники среди широкой массы инженеров.

Кандидат техн. наук Д. И. МАРЬЯНОВСКИЙ

С. Г. БЛАНТЕР. ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ТЯГОВЫХ ПОДСТАНЦИЙ. 349 стр., ц. 28 руб.
Изд-во Министерства коммунального хозяйства РСФСР, 1948

Рецензируемая книга предназначена для инженерно-технических работников электроснабжения городского электрического транспорта, а также для студентов вузов, специализирующихся в данной области. В ней рассматриваются теоретические основы работы электрического оборудования тяговых подстанций трамвая и троллейбуса и их конструктивное выполнение; излагаются методы расчета указанного оборудования, дается анализ схем электрических соединений и схем питания тяговых подстанций, разбираются вопросы общей компоновки и даются конструктивные решения для элементов тяговых подстанций; рассматриваются основы автоматизации тяговых подстанций и приводятся принципы выбора системы автоматического управления; указываются справочные и нормативные данные по технической эксплуатации тяговых подстанций трамвая и троллейбуса и их оборудованию.

Эта книга является результатом коренной переработки ранее вышедшей в свет книги того же автора «Тяговые подстанции трамвая и троллейбуса», изданной Наркомхозом РСФСР в 1941 г., отличающейся от нее своим построением и, в частности, уделением большого внимания электрическому оборудованию тяговых подстанций трамвая и троллейбуса.

Книга состоит из 14 глав, рассматривающих: вводные сведения, вращающиеся преобразователи, преобразователи с ртутными вентилями, схемы и аппараты питания ртутных выпрямителей, сеточное регулирование преобразователей с ртутными вентилями, инвертирование тока, поглощающие установки, аппараты и токоведущие части цепей переменного тока высокого напряжения, релейную защиту элементов электрического оборудования тяговой подстанции, специальные виды защиты ртутных выпрямителей, защиту фидеров постоянного тока, аппаратуру распределительных устройств на 600 в, питание собственных нужд, цепи вторичной коммутации и щиты управления, защитные заземляющие устройства, защиту от перенапряжений, схемы электрических соединений тяговых подстанций, размещение электрического оборудования тяговых подстанций, техническую эксплуатацию электрического оборудования тяговых подстанций, автоматические тяговые подстанции. Книга завершается приложением разрезов и схем действующих тяговых подстанций и указателя литературы (77 названий).

Автор не ограничивается рассмотрением оборудования, схем, конструкций тяговых подстанций, отражающих их современный технический уровень, и принимавшимися до настоящего времени техническими решениями. В книге подчеркиваются вопросы, отражающие новые требования, предъявляемые к тяговым подстанциям трамвая и троллейбуса, возникающие в связи с разрешением проблем более совершенных систем питания тяговых сетей, внедрением новейших типов подвижного состава и пр. С этой точки зрения вполне уместно указание на целесообразность перехода на напряжение 750 в, а также рассмотрение в книге сеточного регулирования ртутных вентилях. Внедрение новых типов подвижного состава трамвая и троллейбуса с рекуперативным торможением вполне оправдывает рассмотрение автором вопроса отвода из тяговой сети избыточной, получаемой вследствие рекуперации, электрической энергии. Автор приводит новинки электрического оборудования тяговых подстанций, например анодный быстродействующий выключатель системы А. И. Голубева, новые типы одноанодных ртутных вентилях, выключатель типа ВГ-10 и др. Существенный интерес и новизну представляет разработка автором книги вопросов целесообразности применения централизованной и децентрализованной систем электроснабжения трамвая и троллейбуса, вопросов сравнительного анализа типов преобразователей переменного тока в постоянный и новых схем питания одноанодных вентилях.

Несмотря на эти достоинства, книга не свободна от ряда недостатков. Прежде всего следует отметить, что название книги не соответствует ее содержанию: автор ограничивается рассмотрением вопросов электрооборудования исключительно трамвайно-троллейбусных тяговых подстанций, не касаясь тяговых подстанций метрополитена и электрических железных дорог.

В книге отсутствует история развития городского электрического транспорта и, в частности, вопросов электроснабжения и истории развития тяговых подстанций. Заслуженный приоритет русских новаторов в этой области совершенно замалчивается автором.

Влияние высших гармонических колебаний в тяговых сетях трамвая и троллейбуса на кривую первичного тока ртутных выпрямителей и на провода связи разобрано недостаточно: следовало бы дать развернутый анализ формы кривой первичного тока с соответствующим математическим анализом и рассмотрением основных методов экспериментальных исследований по данному вопросу. Недостаточно обоснованы требования быстродействия по отношению к поглощающим устройствам при рекуперации электрической энергии.

Ощущается отсутствие в книге специального раздела по монтажу электрооборудования. Явно недостаточно освещены вопросы техники безопасности тяговых подстанций, а также вопросы коммутационных перенапряжений, возникающих при обрыве дуги в выпрямителях.

Отсутствуют примеры выполненных монтажных схем. Недостаточно также количество примеров расчетов, помещенных в книгу.

Для определения ориентировочного оптимального типа тяговой подстанции автор приводит (стр. 12) формулу А. Х. Зильберталя:

$$а) \text{ для разветвленной сети } I = 400 \sqrt[3]{\frac{\Sigma I}{F}}, \text{ б) для сеп}$$

вытянутой в линию, $I = 105 \sqrt{\frac{\Sigma I}{L}}$, где коэффициенты ΣI

висят от соотношения стоимости обслуживания сети: амортизационных расходов, а поэтому следовало дать числовые значения (400 и 105) этих коэффициентов, а вывести функциональные выражения для них.

Встречается нестрогое или неправильное освещение физики явлений. Так, на стр. 71 при рассмотрении процесса зажигания ртутного выпрямителя автор пишет: «При возвращении колбы в вертикальное положение ртутный мостик разрывается, в месте разрыва возникает дуга перебрасывающаяся на аноды возбуждения». В действительности же перебрасывание дуги не имеет места.

При рассмотрении различных систем вакуумметра оставлена без внимания простая и надежная в работе схема электрического вакуумметра, базирующаяся на применении термпарных ламп типа ЛТ-2, освоенных отечественной электроламповой промышленностью.

Следует отметить нечеткие и путаные данные по основным показателям преобразователей (стр. 7 и 8). Более уместно было бы привести весовые данные на единицу мощности для всех рассматриваемых типов преобразователей.

При рассмотрении трехпроводной системы электроснабжения трамвая автор совершенно не использовал результат опытной эксплуатации трехпроводной системы проводимой Академией коммунального хозяйства.

Недостаточно рассмотрен вопрос борьбы с блуждающими токами, не указаны методы их оценки и измерения и, в частности, в библиографическом указателе упущена такая важная инструкция, как «Правила защиты подземных металлических сооружений от коррозии блуждающими токами», утвержденная МПО СССР, МС СССР, МЭ РСФСР и МЭС СССР.

Следует указать также на ряд оставшихся незамеченными опечаток, например в формулах (15,11) (65,6) и (80,2).

Несмотря на отмеченные недостатки, книга в целом представляет весьма ценное руководство как для проектирования, так и для постройки и эксплуатации тяговых подстанций трамвая и троллейбуса.

При повторном издании книги, которое следует считать желательным, необходимо расширить содержание книги рассмотрением электрооборудования тяговых подстанций метрополитена и других вопросов городского электрического транспорта, включая зарядные подстанции для электромобилей, а также основные принципы электроснабжения высокочастотного электротранспорта.

Кандидат техн. наук Ю. М. ГАЛОНЕ



Новые книги по электричеству, электротехнике и электроэнергетике

(Издания 1949 г.)

АМАЛИЦКИЙ М. В. ОСНОВЫ РАДИОТЕХНИКИ. Утверждено в качестве учебника для электротехнических связей. Издание 2-е, исправленное и переработанное. Ч. I. 264 стр., ц. 8 руб. Связьиздат.

БАЙРАШЕВСКИЙ А. М. СУДОВАЯ РАДИОТЕХНИКА И РАДИОНАВИГАЦИЯ. Утверждено в качестве учебника для судовой радиотехники отделений мореходных училищ. 365 стр. + вклейки, ц. 14 р. 75 к. Изд-во «Морской транспорт».

БАЙТИДАНОВ Л. Н., ТАРАСОВ В. И. РУКОВОДСТВО ДЛЯ ДЕЖУРНОГО ПИТА УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ (учебник для подготовки рабочих кадров). 4-е исправленное издание. 260 стр., ц. 7 р. 75 к. Госэнергоиздат.

БРУСКИН Д. Э., БОКШИЦКИЙ Л. В. ЭЛЕКТРОПРИВОД НА САМОЛЕТЕ (учебное пособие по спецоборудованию самолетов для технического состава ВВС вооруженных сил Союза ССР). 176 стр., ц. 6 р. 50 к. Военное изд-во.

БУХМАН Н. А. ЭЛЕКТРОНАПАЙКА И ЭЛЕКТРОНАВАРКА РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА. Под ред. И. И. Семеченко. НИИ Министерства станкостроения СССР.

ВЕЙЦ В. ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ НАРОДНОГО ХОЗЯЙСТВА СССР. 28 стр., ц. 50 коп. Латгосиздат (на латышском языке).

*** ВЕНИКОВ В. А. ПРИМЕНЕНИЕ ТЕОРИИ ПОДОБИЯ И ФИЗИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В ЭЛЕКТРОТЕХНИКЕ.** 168 стр., ц. 9 руб. Госэнергоиздат.

*** ВЛАСОВ В. Ф. ЭЛЕКТРОВАКУУМНЫЕ ПРИБОРЫ.** Издание 2-е, переработанное и дополненное. Допущено в качестве учебника для высших учебных заведений. 519 стр., ц. 22 р. 50 к. Связьиздат.

ВОРОБЬЕВ А. А. УСКОРители ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ. 34 стр., ц. 29 руб. Госэнергоиздат.

Книга представляет систематическое изложение материалов, значительных из обширной периодической литературы последних двух десятилетий. Быстрое развитие теории ускорительных установок, большой вклад в которую внесли советские ученые, привело к появлению в последнее время новых практических методов применения ускоренных заряженных частиц в ядерной технике, в технике получения сверхжестких рентгеновских лучей и др. Советский ученый Векслер разработал основы нового метода резонансного ускорения, позволяющего ускорять частицы до энергии порядка сотен миллионов электрон-вольт. Современная техника ускорения заряженных частиц уже позволяет получать струю электронов и протонов со скоростями, близкими к скорости света. Мы стоим на пороге проникновения в новую область интереснейших физических явлений, расширяющую наши познания о природе. Открытие предсказанного советскими физиками Иваненко и Померанчуком светящегося электрона, открытие процесса деления средних-тяжелых ядер, создание методов расщепления ядер и получения мезотронов в лабораторных условиях — только начало тех успехов, которые достигнуты ядерной техникой в настоящее время. Поэтому систематизацию материалов, относящихся к конструированию и эксплуатации различных электронных и ионных ускорительных установок, опубликованных в отечественной и зарубежной периодике, выполненную автором данной книги, следует приветствовать, несмотря на наличие в этой работе отдельных недостатков.

ВОЗНЕСЕНСКИЙ А. Н. ГИДРОЭНЕРГЕТИКА СССР В ПОСЛЕВОЕННОЙ ПЯТИЛЕТКЕ. (Всесоюзное общество по распространению политических и научных знаний). 20 стр., ц. 60 коп. Изд-во «Правда».

ВОРОНЦОВ Ф. Ф. ВЫБОР СЕЧЕНИЙ ПРОВОДОВ И КАБЕЛЕЙ ДЛЯ ЭЛЕКТРОПРОВОДОВ. 91 стр., ц. 3 р. 75 к. Госэнергоиздат.

*** ГАРДНЕР М. Ф., БЭРНС Дж. Л. ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ В ЛИНЕЙНЫХ СИСТЕМАХ.** Перевод П. Н. Зубкова и М. Лыбиды под ред. Г. И. Атабекова и Я. З. Цыпкина. 528 стр., ц. 27 руб. Гостехиздат.

ГЕНЗБУРГ З. Б. ВНЕДРЕНИЕ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ МЕТОДОВ В НАРОДНОЕ ХОЗЯЙСТВО. Экспонаты 7-й заочной радиовыставки. (Массовая радиобиблиотека под общей редакцией А. И. Берга. Выпуск 30). 58 стр., ц. 1 р. 75 к. Госэнергоиздат.

ГЛУЗБАНД Н. В. ОПЕРАТОР ЭЛЕКТРОБЕССОПЬЯЮЩЕЙ УСТАНОВКИ. (Серия «В помощь новым кадрам нефтяной промышленности»). 51 стр., ц. 1 р. 25 к. Гостехиздат.

*** ГРУДИНСКИЙ П. Г. ТЕХНИЧЕСКАЯ ЭКСПЛУАТАЦИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ И ПОДСТАНЦИЙ.** 388 стр., ц. 19 руб. Госэнергоиздат.

ГУРВИЧ Е. Ф. НЕРАВНОМЕРНОСТЬ ХОДА АГРЕГАТОВ ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ. 127 стр., ц. 5 руб. Госэнергоиздат.

ГУРФИНКЕЛЬ Э. Е. УКАЗАТЕЛЬ ЖУРНАЛЬНЫХ СТАТЕЙ ПО ВОПРОСАМ ИСТОРИИ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ В РОССИИ И СССР (аннотации). Под ред. И. П. Пышкина. 39 стр., цена не указана. Одесский электротехнический институт связи.

*** ГУТЕНМАХЕР Л. И. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ.** (Академия наук СССР. Институт точной механики и вычислительной техники). 404 стр., ц. 23 руб. Изд-во Академии наук СССР.

ГУТЕНМАХЕР Л. И. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В ТЕХНИКЕ И ФИЗИКЕ. (Всесоюзное общество по распространению политических и научных знаний). 32 стр., цена 60 коп. Изд-во «Правда».

ДУБОВИК В. А. АППАРАТУРА ТОНАЛЬНОГО ТЕЛЕГРАФИРОВАНИЯ. (Описание некоторых типов аппаратуры телеграфирования переменным током). 306 стр. + вклейки, ц. 24 руб. Связьиздат.

* Звездочкой отмечены книги, по которым предполагается опубликование рецензий.

ЕНЮТИН В. ДВУХЛАМПОВЫЙ БАТАРЕЙНЫЙ СУПЕР РЛ-8. 14 стр., цена не указана. Изд-во ДОСАРМ.

ЖИГАРЕВ Л. РАДИОЛОКАЦИЯ. (Научно-популярная библиотечка). 40 стр., ц. 1 р. 20 к. Латгосиздат (на латышском языке).
ЗАГАЙНОВ Н. А., ШАПОШНИКОВ В. Г. ТЯГОВЫЕ ПОДСТАНЦИИ ГОРОДСКОГО НАЗЕМНОГО ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТА. Допущено в качестве учебника для электромеханических техникумов городского электротранспорта. 328 стр., ц. 15 руб. Изд-во МКХ РСФСР (1948).

В книге рассматривается устройство и эксплуатация оборудования, вопросы проектирования тяговых подстанций и даются основные сведения по их монтажу. Помимо использования в качестве учебника для техникумов книга может служить также пособием для работников эксплуатации.

ИОФФЕ А. Ф. ОСНОВНЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ СОВРЕМЕННОЙ ФИЗИКИ. 368 стр., ц. 7 р. 75 к. Гостехиздат.

ИЦХОКИ Я. С. ИМПУЛЬСНАЯ ТЕХНИКА. Конспект лекций. (Всесоюзный заочный энергетический институт). 198 стр., бесплатно. Изд-во «Советское радио».

КАЙВЕР М. ЭЛЕМЕНТАРНЫЙ КУРС РАДИОТЕХНИКИ УЛЬТРАВЫСОКИХ ЧАСТОТ. Перевод Н. А. Сабельского. 216 стр., ц. 8 руб. Военное изд-во.

КАЛАНТАРОВ П. Л. РУКОВОДСТВО К ЛАБОРАТОРИИ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ. Ч. I. Руководство к лаборатории переменных токов. Допущено в качестве учебного пособия для вузов. 188 стр., ц. 6 р. 85 к. Госэнергоиздат.

КАЛЕМАА К., РАЙСААР (ред.). СПРАВОЧНИК КОРОТКО-ВОЛНОВИКА. 16 стр., ц. 3 руб. Радиоклуб Тарту (на эстонском языке).

*** КАЛИТВИНСКИЙ В. И. ИЗОЛЯЦИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН.** 343 стр., ц. 18 руб. Госэнергоиздат.

КИКЛЕВИЧ Н. А. ЭКСПЛУАТАЦИЯ И РЕМОНТ РУДНИЧНОГО ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ. 356 стр., ц. 28 р. 50 к. Углетехиздат.

КЛЕМЕНТЬЕВ С. Д. ЭЛЕКТРОННЫЙ МИКРОСКОП. (Серия «Рассказы о советской науке»). 64 стр., ц. 1 р. 80 к. Детгиз.

КОЛОСОВ А. А. РЕЗОНАНСНЫЕ СИСТЕМЫ И РЕЗОНАНСНЫЕ УСИЛИТЕЛИ. Допущено в качестве учебного пособия для вузов. 560 стр., ц. 16 руб. Связьиздат.

*** КОНТОРОВИЧ М. И. ОПЕРАЦИОННОЕ ИСЧИСЛЕНИЕ И НЕСТАЦИОНАРНЫЕ ЯВЛЕНИЯ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЯХ.** (Физико-математическая библиотека инженера). 215 стр., ц. 7 р. 95 к. Гостехиздат.

КУБАРКИН Л. В., ЕНЮТИН В. В. КАК ПОСТРОИТЬ ДЕТЕКТОРНЫЙ ПРИЕМНИК. 44 стр., ц. 1 руб. Гос. изд-во Грузинской ССР (на грузинском языке).

КУЗНЕЦОВ Б. Т. ТЯГОВЫЕ СЕТИ ТРАМВАЯ И ТРОЛЛЕЙБУСА. Утверждено в качестве пособия для электромеханических техникумов. 271 стр., ц. 9 р. 20 к. Изд-во МКХ РСФСР (1948).

Книга содержит описание устройства тяговых сетей системы электроснабжения трамвая и троллейбуса, дает сведения о монтаже и эксплуатации контактной и кабельной сетей, а также методы электрического и механического расчета этих сетей и их конструктивных элементов.

КУЛИКОВ В. В. СВЯЗЬ И СИГНАЛИЗАЦИЯ НА ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯХ И ПОДСТАНЦИЯХ. Утверждено в качестве учебного пособия для курсов подготовки рабочих и для курсов мастеров. 272 стр. + вклейки, ц. 10 руб. Госэнергоиздат.

КЭДИ У. ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСТВО И ЕГО ПРАКТИЧЕСКИЕ ПРИМЕНЕНИЯ. Перевод Б. Н. Досогова и В. П. Константиновой под ред. А. В. Шубникова. 718 стр., ц. 59 руб. Изд-во иностранной литературы.

Вопросы теории и практического использования пьезоэлектрических явлений, равно как и сегнетоэлектрических, пьезоэлектрических, электрострикционных и тому подобных явлений в настоящее время развиты весьма широко (значительную роль в этом развитии сыграли работы советских ученых) и являются весьма актуальными. Пьезоэлектрические кристаллы используются для стабилизации частоты в радиотехнике, для возбуждения ультразвуковых колебаний, для фильтров, для измерительных и многих иных целей. Настоящее издание представляет собой перевод книги W. Cady, вышедшей на английском языке в 1946 г. и дающей подробное рассмотрение относящихся к теме работ, опубликованных к году ее выхода в свет (работы Б. М. Вула и его школы в области сегнето-керамических материалов и А. В. Шубникова и А. С. Шенна по пьезоэлектрическим текстурам еще не затронуты). Книга состоит из 31 главы (в том числе главы I—XV рассматривают общие вопросы пьезоэлектричества; далее изложены свойства и применение пьезокварца, в частности, весьма подробно рассмотрено применение его для стабилизации частоты; главы XX—XXVI посвящены сегнетовой соли) и приложений. Указатели литературы содержат около 900 названий. Редактором внесены исправления и уточнения в отдельных местах книги.

ЛАБУТИН В. К. Я ХОЧУ СТАТЬ РАДИОЛЮБИТЕЛЕМ I. Первые шаги. 58 стр., ц. 2 руб. (Массовая радиобиблиотека под редакцией А. И. Берга. Выпуск 23). Госэнергоиздат.

ЛЕВИШИН В. В. ХОЛОДНОЕ СВЕЧЕНИЕ (люминесценция). (Всесоюзное общество по распространению политических и научных знаний). 39 стр., ц. 60 коп. Изд-во «Правда».

ЛИТВАКОВ У. М. СПРАВОЧНИК ПО СТАНДАРТАМ, ВЕДОМСТВЕННЫМ ТЕХНИЧЕСКИМ УСЛОВИЯМ И ВЕДОМСТВЕННЫМ НОРМАМ НА ПРОДУКЦИЮ МИНИСТЕРСТВА ЭЛЕКТРОПРОМЫШЛЕННОСТИ. (МЭН СССР. Центральное бюро технической информации). 128 стр., ц. 7 руб. Редакционно-издательский отдел ЦЕТИ.

Справочник содержит около 600 указаний на ГОСТ, ОСТ, ВТУ, ВН, утвержденных до 1 мая 1949 г. и относящихся в основном к изделиям предприятий Министерства электропромышленности, а также к таким изделиям и материалам, которые предназначены преимущественно для электропромышленности. Для облегчения пользования справочником в нем даны перечни ГОСТ, ОСТ, ВТУ, ВН как в алфавитном порядке, так и в порядке номеров.

ЛИТВИНОВ С. ДЕТЕКТОРНЫЙ ПРИЕМНИК ШАПОШНИКОВА. 16 стр., цена не указана. Изд-во ДОСАРМ.

*** ЛОЗИНСКИЙ М. Г. ПОВЕРХНОСТНАЯ ЗАКАЛКА И ИНДУКЦИОННЫЙ НАГРЕВ СТАЛИ.** 460 стр. + вклейки, ц. 32 р. 70 к. Машигиз.

МАЛИНИН Р. М. УСИЛИТЕЛИ НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ (С УНИВЕРСАЛЬНЫМ ПИТАНИЕМ). (Массовая радиобиблиотека под общей редакцией А. И. Берга. Выпуск 29). 65 стр., ц. 2 руб. Госэнергоиздат.

МАЛОВ Н. Н. РАДИО НА СЛУЖБЕ У ЧЕЛОВЕКА. 68 стр., ц. 2 р. 75 к. Татгосиздат (на татарском языке).

МЕЗЕНЦЕВ В. А. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ГЛАЗ (ФОТОЭЛЕМЕНТЫ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ). 48 стр., ц. 1 руб. Гостехиздат Украины (на украинском языке).

МИХАЙЛОВ В. А. РАСЧЕТ ТРАНСФОРМАТОРОВ И ДРОС-СЕЛЕЙ. (Массовая радиобиблиотека под общей редакцией А. И. Берга. Выпуск 31). 89 стр., ц. 3 руб. Госэнергоиздат.

МОРОЗОВ Г. Г., ГАНТМАН С. А. ХИМИЧЕСКИЕ ИСТОЧНИКИ ТОКА ДЛЯ ПИТАНИЯ СРЕДСТВ СВЯЗИ. (Пособие для офицеров связи). 399 стр., ц. 14 руб. Военное изд-во.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ СЕССИЯ ПО ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЮ В ЭНЕРГОСИСТЕМАХ. 1949. Тезисы докладов. 40 стр., цена не указана. ВНИТОЭ.

*** НЕЙМАН Л. Р. ПОВЕРХНОСТНЫЙ ЭФФЕКТ В ФЕРРОМАГНИТНЫХ ТЕЛАХ.** 190 стр., ц. 9 р. 50 к. Госэнергоиздат.

ОГИВЕНЧУК С. А. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ДУГИ ПЕТРОВА. Дополнительные главы к курсу «Дуговая электросварка и автоматизация дуговых процессов». 26 стр. + 1 лист чертежей, ц. 6 руб. Московский заочный институт металлопромышленности.

ОДИНЦОВ В. Г., ВЕКШТЕЙН Г. С. СПРАВОЧНИК СЕЛЬСКОГО ЭЛЕКТРИКА. 204 стр., ц. 8 р. 50 к. Сельхозгиз Украины.

ПЕТРОВ А. ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА МОСКОВСКОЙ ОБЛАСТИ. 64 стр., ц. 60 коп. Госполитиздат.

ПЕТРОВ В. К., СОСЯН В. Г. ГОРОДСКОЙ ТРАНСПОРТ. Допущено в качестве учебного пособия для специальности «Экономика и организация городского хозяйства» 315 стр., цена не указана. Изд-во МХ РСФСР.

Книга содержит техническое описание современного массового городского транспорта: трамвая, автобуса и троллейбуса и дает краткие сведения о метрополитене. Особое внимание уделяется расчетам пассажиропотоков и пропозной способности транспорта, а также определению конфигурации транспортной сети и выбору вида городского транспорта при его проектировании. Книга состоит из введения и 16 глав. Первая глава посвящается развитию городского транспорта и его состоянию в СССР и капиталистических странах; она начинается с краткого очерка развития городского транспорта, в котором подчеркивается заслуженный приоритет русских ученых в деле развития современных видов транспорта и электрического трамвая, в частности, вторая глава посвящается подвижному составу городского пассажирского транспорта; здесь рассматриваются современные требования, предъявляемые к подвижному составу рельсового и безрельсового транспорта, и приводятся конструкции основных типов трамвайных вагонов, в том числе новых быстроходных цельнометаллических вагонов, а также технические показатели по основным типам тяговых двигателей. Приводятся данные различных типов отечественных автобусов, в сопоставлении их с дизель-электробусом ЗИС-154. Подробно рассматривается электрическое и автоматическое оборудование троллейбусов. Приводятся основные сведения по подвижному составу метрополитена и его электрическому, механическому и пневматическому оборудованию. Третья глава посвящается основным законам движения механического транспорта; приводится методика построения кривых движения поезда. Четвертая глава рассматривает безрельсовые городские дороги и пути трамвая и метрополитена. В пятой главе рассматриваются устройства электроснабжения городского электротранспорта; приводятся основные положения электрического расчета сети и выбора мощности тяговых подстанций; подвергаются рассмотрению вопросы контактной сети. Прочие главы излагают общие (не характерные для электрического транспорта) вопросы.

ПЛАХОТНИК С. М. ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА РАДИОАППАРАТУРЫ. Допущено в качестве учебного пособия для техникумов. 228 стр. + вклейки, ц. 8 р. 40 к. Госэнергоиздат.

ПОШЕРСТНИК М. Ю., ТУРКИН И. Г. ПРОИЗВОДСТВО КАБЕЛЕЙ СВЯЗИ. 136 стр., ц. 4 р. 15 к. Госэнергоиздат.

ПРИЕМНИКИ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СТАНЦИЙ. Ч. I. Перевод под редакцией А. П. Сиверса. 320 стр., ц. 12 руб. Изд-во «Советское радио».

РЖОНСНИКОВ Б. Н. ДМИТРИЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ ЛАЧИНОВ. 107 стр., ц. 3 р. 75 к. Госэнергоиздат.

«Русские доказали, что в области электротехники они не только не отстали от прочих наций, но стоят выше последних и нередко указывают им дорогу». Эти слова принадлежат выдающемуся представителю русской электротехнической мысли конца XIX века Д. А. Лачинову. В книге, посвященной Лачинову, сообщаются подробные биографические сведения, материалы об инженерной, научно-педагогической и изобретательской деятельности этого крупнейшего электротехника, активного сотрудника журнала

«Электричество» и одного из ведущих деятелей электротехнического отдела Русского технического общества.

Д. А. Лачинов был учеником Э. Х. Ленца. Работы Лачинова в области передачи электроэнергии на расстояние имеют классическое значение.

Ряд сведений о жизни и трудах Д. А. Лачинова печатаются в книге впервые.

САВАНОВ А. П. НОРМИРОВАНИЕ И ЭКОНОМИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ И ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ. Под ред. А. П. Вязни-ского. 272 стр., ц. 25 руб. Министерство станкостроения СССР.

САМОЙЛОВ В. А. ВИБРАЦИИ АГРЕГАТОВ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ И БАЛАНСИРОВКА РОТОРОВ. 160 стр., ц. 6 р. 50 к. Госэнергоиздат.

СМЕТАНИН Б. М. РАДИОКОНСТРУКТОР. (Массовая радиобиблиотека под общей редакцией А. И. Берга. Выпуск 32). 25 стр., ц. 75 коп. Госэнергоиздат.

СМИРНОВА Т. В. ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ РЕЛЕ НАПРАВЛЕНИЯ МОЩНОСТИ ЭМ-1 ОДНОСТОРОННЕГО ДЕЙСТВИЯ И ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЕ РЕЛЕ ЭР-1 С ТОРМОЗНЫМИ КАТУШКАМИ. (МЭС СССР. Теплоэлектротехника). 19 стр. + 9 листов чертежей, бесплатно. Оргтрэс.

СПИЖЕВСКИЙ И. И. СЕЛЬСКИЕ ЛАМПОВЫЕ ПРИЕМНИКИ. 80 стр., ц. 2 р. 75 к. Изд-во «Московский рабочий».

СТЕКОЛЬНИКОВ И. С. МОЛНИЯ И ГРОМ. 40 стр., ц. 75 коп. Государственное изд-во Молдавии (на молдавском языке).

СТЕПАНОВ Д. В. УСИЛИТЕЛИ НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ (конспект лекций). Ч. I. Усилители напряжения. 112 стр., бесплатно. МЭИ.

ТАРАСОВ Ф. ПРОСТОЙ ЧЕТЫРЕХЛАМПОВЫЙ КОЛХОЗНЫЙ СУПЕР. 8 стр., цена не указана. Изд-во ДОСАРМ.

ТАРЕВ Б. М. ЛЕКЦИИ ПО КУРСУ «ЭЛЕКТРОМАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ». Выпуск I. Металлические проводниковые материалы (Министерство высшего образования СССР. Всесоюзный заочный энергетический институт). 55 стр., бесплатно. Редакционно-издательский отдел ВЭИ.

ТАРЕВ Б. М. ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ. Утверждено в качестве учебного пособия для подготовки рабочих кадров и среднего технического персонала. Издание третье, переработанное. 232 стр., ц. 7 руб. 50 коп. Госэнергоиздат.

Рецензия на вышедшее в 1947 г. 2-ое издание этой книги была уже помещена в журнале «Электричество», № 10, 1947). Нынешнее, третье, издание дополнено краткими сведениями по истории развития электроматериаловедения в России и в СССР («Введение» к книге) и подверглось некоторой переработке в разделах об электроизоляционных лаках, растворителях, битумах, заливаемых кабельных массах, консервировании древесины, слюдяной изоляции и обмоточных проводках. Однако, ряд критических замечаний, сделанных в рецензии на 2-ое издание книги, к сожалению, остался неуточненным Госэнергоиздатом при подготовке 3-го издания, по той причине, что подавляющая часть листов этого издания книги печаталась с матриц.

ТИХОДЕЕВ П. М. НОВЫЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СВЕТО-ВОЙ ЭТАЛОН СССР. (Академия наук СССР. Комиссия по светотехнике). 120 стр., ц. 5 р. Изд-во Академии наук СССР.

ТРОП А. Е. НОРМИРОВАНИЕ РАСХОДА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ И КОЭФФИЦИЕНТА МОЩНОСТИ НА УГОЛЬНЫХ РАЗРЕЗАХ. (Всесоюзный научно-исследовательский угольный институт). 20 стр., ц. 1 р. 25 к. Углетехиздат.

ХОМИКОВ В. Г., МАШОВЕЦ В. П., КУЗЬМИН Л. Л. ТЕХНОЛОГИЯ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ (учебник для химико-технологических вузов и факультетов). 676 стр., ц. 25 руб. Госхимиздат.

ХРЕНОВ К. К. НОВОСТИ СВАРОЧНОЙ ТЕХНИКИ. (Академия наук Украинской ССР. Совет научно-технической пропаганды). 86 стр., ц. 3 руб. Изд-во Академии наук Украинской ССР.

ХРЕНОВ К. К. ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СВАРОЧНАЯ ДУГА. 204 стр., ц. 16 р. 50 к. Машигиз.

Сварочная дуга, по своей физической природе представляющая многоамперный разряд при атмосферном давлении, изобретен в конце прошлого столетия русскими инженерами Н. Н. Бенардсом и Н. Г. Славяновым. В области дуговой электросварки СССР занимает ведущее место не только по объему продукции, но и по высокому уровню техники. Научные проблемы электросварки разработаны многими советскими учеными (В. П. Никитин, Е. О. Платон, Г. А. Николаев, В. П. Вологдин, К. К. Хренов и др.). В книге систематически рассмотрены процессы в сварочной дуге и освещен приоритет в этой области отечественных изобретателей и ученых. Книга рассчитана на инженеров и научных работников. Основное внимание автор обратил на результаты экспериментальных исследований, которые могут найти промышленное применение. Описаны физические основы дугового разряда, исследованы действие магнитных полей на сварочную дугу, объяснены химические реакции и процесс плавления и переноса металла в дуге. Особо освещены вопросы подводной сварки и резки и другие виды и формы сварочных дуг.

УСПЕНСКИЙ Н. Е. ИМПУЛЬСНЫЙ (СВЕРХСКОРОСТНОЙ) МЕТОД В РЕНТГЕНОЛОГИИ. (Всесоюзное общество по распространению политических и научных знаний). 24 стр., ц. 60 коп. Изд-во «Правда».

ЦАРЕВ Б. М. КОНТАКТНАЯ РАЗНОСТЬ ПОТЕНЦИАЛОВ И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА РАБОТУ ЭЛЕКТРОВАКУУМНЫХ ПРИБОРОВ. 171 стр., ц. 6 руб. Гостехиздат.

ЭФЕНДИ-ЗАДЕ А. А. МОЛНИЯ. 24 стр., ц. 75 коп. Всесоюзное общество по распространению политических и научных знаний, Ленинградское отделение.



ГОСЭНЕРГОИЗДАТ

ПРОДОЛЖАЕТСЯ ПОДПИСКА

на **1950** год

НА ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

Орган Академии наук СССР, Министерства электростанций СССР
и Министерства электропромышленности СССР

Основан в 1880 г. Русским техническим обществом

Журнал рассчитан на инженеров и научных работников, ведущих работу в различных областях электротехники.

Журнал широко освещает основные теоретические и практические вопросы, связанные с развитием электротехники и электрификации народного хозяйства СССР.

Основные тематические разделы журнала: современные физические и общетеоретические вопросы электричества и электротехники; электрические системы, станции, сети и передача электроэнергии на дальние расстояния; электропривод и электрификация отраслей промышленности; электрификация транспорта; электрификация сельского хозяйства; электрические машины и трансформаторы; техника высоких напряжений (высоковольтная аппаратура и грозозащита); кабельная техника; радио-электронные преобразователи; прикладная электроника; автоматика, техника релейной защиты; электросварка и высокочастотная электротермия; светотехника; электрические измерения и приборы; электротехнические материалы; электротехнические стандарты, правила, нормы и терминология.

Журнал «Электричество» уделяет особое внимание вопросам внедрения новой передовой техники в области электрификации народного хозяйства СССР.

Журнал систематически освещает вопросы истории русской электротехники.

Кроме основных научно-технических материалов, в журнале помещаются: Дискуссии; Обзоры и рефераты; Хроника; Критика и библиография.

В журнале принимают участие виднейшие ученые и специалисты — электротехники Советского Союза.

Годовым подписчикам на журнал будет выслан в качестве приложения специальный Календарь-Справочник на 1950 г.

**ПРИНИМАЕТСЯ
ПОДПИСКА**

Городскими и районными
отделениями Союзпечати

12 номеров в год
(144 печатных листа)

ПОДПИСНАЯ ЦЕНА:

12	месяцев	96	руб.
6	"	48	"
3	"	24	"