

ISSN 0013-5380



# ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

1990

•ЭНЕРГОАТОМИЗДАТ•

12

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ И НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ОРГАН АКАДЕМИИ НАУК СССР, ГОСУДАРСТВЕННОГО КОМИТЕТА СССР  
ПО НАУКЕ И ТЕХНИКЕ, ЦП ВСЕСОЮЗНОГО НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЩЕСТВА ЭНЕРГЕТИКОВ  
И ЭЛЕКТРОТЕХНИКОВ ИМЕНИ АКАДЕМИКА Г. М. КРЖИЖАНОВСКОГО

МОСКВА

ЭНЕРГОАТОМИЗДАТ

## Юбилей МЭИ

В декабре 1990 г. исполняется 60 лет Московскому ордену Ленина и Октябрьской Революции энергетическому институту, широко известному в нашей стране и за рубежом.

МЭИ был создан в конце 1930 г. в результате слияния Московского высшего энергетического училища, образованного в марте 1930 г. из электротехнического факультета Московского высшего технического училища (МВТУ), и Московского энергетического института, также незадолго до этого сформированного из электропромышленного факультета Института народного хозяйства им. Г. В. Плеханова.

В предвоенные годы проходило становление и интенсивное развитие МЭИ. В 1940 г. в его составе было пять факультетов: электроэнергетический, теплотехнический, электромеханический, электрофизический и радиотехнический. В 1930—1940 гг. было подготовлено более 8 тыс. специалистов, многие из которых стали руководителями крупных строек, электростанций и электропромышленных предприятий страны, известными преподавателями как в самом МЭИ, так и в других вузах, крупными учеными.

За большие успехи в подготовке инженерных и научных кадров МЭИ в декабре 1940 г. был награжден орденом Ленина.

Особенно интенсивное развитие получил МЭИ в послевоенные годы. В настоящее время это крупнейший политехнический вуз страны, по праву считающийся главной кузницей кадров по многим электротехническим, теплотехническим, электромеханическим и другим смежным специальностям. В его составе сейчас 10 факультетов (теплоэнергетический — ТЭФ, промышленной теплоэнергетики — ПТЭФ, энергомашиностроительный — ЭНМФ, энергофизический — ЭФФ, электроэнергетический — ЭЭФ, электромеханиче-

ский — ЭМФ, электрификации и автоматизации промышленности и транспорта — ЭАПТФ, автоматики и вычислительной техники — АВТФ, электронной техники — ЭТФ, радиотехнический — РТФ), на которых, включая и два филиала в Смоленске и Казани, работают более 2000 профессоров и преподавателей и одновременно обучается более 22 тыс. студентов.

Тремя основными электротехническими факультетами МЭИ являются ЭЭФ, ЭМФ и ЭАПТФ. Прямое отношение к электротехнике имеют кафедры теоретических основ электротехники (ТОЭ) и инженерной электрофизики, относящиеся к АВТФ, общей электротехники и интроскопии (ЭФФ), промышленной электроники (ЭТФ) и др.

Не останавливаясь на развитии отдельных кафедр и специальностей, охарактеризуем основные направления, имеющие прямое отношение к профилю нашего журнала.

В основе электротехнического образования лежит, как известно, курс ТОЭ, который начинался с лекций проф. К. А. Круга в МВТУ в 1905 г. и с его широко известных первых учебников по ТОЭ. На кафедре ТОЭ в МЭИ работали многие известные ученые, внесшие значительный вклад в развитие этой важнейшей электротехнической дисциплины, среди них профессора К. М. Поливанов, В. Ю. Ломоносов, М. А. Перекалин, И. Л. Каганов (организовавший в 1943 г. кафедру промышленной электроники), П. А. Ионкин, С. В. Страхов.

Электроэнергетический факультет является одним из старейших в МЭИ. Трудом многих преподавателей и ученых на кафедрах ЭЭФ заложены основы и развиты теория электроэнергетических систем и теория автоматизированного управления такими системами, как автоматика и релейная защита энергосистем, методы расчетов уста-

сы и переходных процессов и устойчивости, техника высоких напряжений, оптимизации электрических станций, систем, оптимизация режимов работы гидростанций в энергосистемах. Значительный вклад в развитие этих направлений внесли и в разное время в МЭИ выдающиеся А. Ульянов, Н. И. Сушкин, Б. А. Телев, Лебедев, А. А. Глазунов, Н. А. Мельников, С. Жданов, Л. И. Сиротинский, И. И. Соколов, Л. В. Разевиг, П. Г. Грушев, В. А. Веников, А. М. Федосеев. Дальнейшее ЭЭФ ведется с учетом необходимого владения современным инструментом вычислительной техники и методизации научных исследований и звания. На кафедрах и в лабораториях та ведутся актуальные и перспективные работы по повышению устойчивости энергосистем, созданию новых типов устройств компенсации реактивной мощности, автономных и неавтономных источников электроэнергии, устройств автоматики и защиты энергосистем на базах средств электроники, использования электрических полей, молниезащиты электростанций с точки зрения экологии.

рические машины и аппараты являются (ми специальными электромеханическими) не только в МЭИ, но и во всей России. Вследствие к ним в разные годы (с) на электромеханическом факультете (е) направления, как электротехнические (и) кабели, электроизоляционные материалы, полупроводники, электрооборудование летательных аппаратов и автомобилей и развитие этих направлений (и) благодаря трудам многих известных (и) преподавателей МЭИ, в том числе (и) К. И. Шенфера, С. И. Курбатова, (и) Лебакина, Б. П. Апарова, А. Я. Буйлова, (и) Атусова, М. А. Бабикова, Ю. С. Четчина, (и) Греева, А. Н. Ларионова, Г. В. Буткевича, (и) Рагина, Н. Г. Дроздова, В. А. Привезен- (и) Н. Петрова.

анные выше направления ЭМФ успешно (и) в настоящее время в МЭИ с учетом (и) более широкого использования вычислительной техники при расчете и оптимизации (и) машин, аппаратов и устройств, (и) новых электротехнических материалов (и) и звания новых возможностей, связанных с (и) применением полупроводниковых элементов (и) в системах электромеханики. (и) кившееся на ЭМФ и затем выдлившееся (и) научное направление, связанное с (и) преобразованием электрической энергии в (и) механическую в широком спектре промышленных и (и) транс-

портных применений и в тепловую в различных (и) электротермических и электротехнологических (и) установках, было организационно оформлено (и) в 1945 г., когда образовался факультет (и) электрификации и автоматизации промышленности (и) и транспорта. За годы существования (и) этого факультета создана теория систем, (и) осуществляющих такие преобразования электрической (и) энергии, разработаны многочисленные оригинальные (и) технические решения, нашедшие (и) широкое применение во всех сферах народного хозяйства (и) страны. Большой вклад в развитие (и) указанного научного направления внесли кафедры (и) автоматизированного электропривода, электрического (и) транспорта, электрооборудования промышленных (и) предприятий, электротермических (и) установок, на которых в разное время работали (и) выдающиеся ученые профессора А. Т. Голован, Д. П. Морозов, (и) М. Г. Чиликин, В. Е. Розенфельд, Д. К. Минов, (и) А. Д. Степанов, И. С. Ефремов, А. Д. Свенчанский, (и) М. Я. Смялянский, М. М. Соколов, (и) А. А. Сиротин, А. С. Сандлер, Е. В. Чеботарев, (и) А. А. Федоров.

В последние годы внимание ученых, (и) работающих в области использования (и) электрической энергии, сосредоточено на (и) крупных проблемах энергосбережения, использования (и) микропроцессорной техники для резкого (и) расширения функциональных возможностей оборудования, (и) создания компьютеризированных систем (и) проектирования и исследования.

Принципиальной особенностью (и) МЭИ, обеспечившей ему (и) высокий авторитет в (и) научно-технических кругах, можно считать (и) органичное сочетание исследовательской (и) деятельности на высоком уровне с (и) подготовкой студентов, которые (и) всегда являлись и являются (и) непосредственными и активными (и) участниками всех исследований (и) и разработок.

Публикуемые в этом номере (и) журнала статьи ученых МЭИ, естественно, (и) лишь в малой степени отражают (и) ту большую научную работу, (и) которая ведется на кафедрах (и) и в лабораториях (и) института.

Поздравляя славный (и) коллектив МЭИ с 60-летием, (и) редколлегия журнала «Электричество», (и) в которой, кстати, профессор (и) МЭИ составляют значительную (и) часть, от имени своих (и) авторов и читателей желает (и) институту новых больших успехов в (и) деле подготовки квалифицированных (и) специалистов, развития научных (и) исследований и широкого (и) внедрения в практику их результатов, развития (и) расширения лабораторной (и) базы, улучшения (и) условий труда и отдыха (и) преподавателей, сотрудников (и) и студентов. Редколлегия (и) также подтверждает (и) готовность дальнейшего (и) широкого сотрудничества с высококвалифицированным (и) авторским коллективом (и) Московского энергетического (и) института.

## Управление режимами электроэнергетических систем с помощью дискретных источников реактивной мощности

СТРОЕВ В. А., ЧЕХОВ В. И., АСЛАНЯН С. К.

Московский энергетический институт

В настоящее время для управления (и) установившимися режимами (и) системообразующих сетей электроэнергетических систем (и) ЭЭС) в подавляющем (и) большинстве случаев используется (и) плавный способ (и) изменения баланса реактивной (и) мощности, основывающийся (и) на управлении (и) возбуждением синхронных машин — генераторов (и) и компенсаторов. В последнее (и) десятилетие наметилась (и) тенденция замены в (и) ряде случаев синхронных (и) компенсаторов в ЭЭС на (и) статические управляемые (и) источники реактивной (и) мощности, устанавливаемые (и) на промежуточных подстанциях (и) протяженных линий электропередач [1]. Как (и) правило, это (и) установки поперечного (и) включения, в которых (и) плавное изменение реактивной (и) мощности компенсатора (и) достигается путем (и) изменения тока (и) шунтирующего реактора (и) ШР). Батареи (и) конденсаторов (и) БК) в (и) этих случаях (и) управляются только (и) дискретно. При (и) использовании тиристорных (и) блоков в (и) управляемом статическом (и) компенсаторе, наряду (и) с преимуществами (и) такого устройства (и) (возможность (и) пофазного (и) управления режимом (и) электропередачи, (и) высокое (и) быстродействие в (и) переходных режимах) (и) проявляется (и) и существенный (и) его недостаток — (и) высокий (и) уровень гармонических (и) составляющих в (и) токе компенсатора с (и) плавным (и) способом (и) регулирования. Последнее (и) требует (и) применения (и) специальных мероприятий (и) по фильтрации (и) высших гармоник, (и) что связано с (и) усложнением (и) схемы (и) компенсатора (и) и повышением (и) его стоимости.

Альтернативным (и) способом (и) плавного (и) управления режимами (и) ЭЭС является (и) ступенчатый (и) (плавно-ступенчатый) (и) способ, когда (и) при помощи (и) тиристорных (и) блоков (и) осуществляется (и) ступенчатое (и) подключение (и) секций (и) шунтирующих (и) реакторов (и) или (и) батарей (и) конденсаторов. При (и) плавно-ступенчатом (и) способе (и) в диапазоне (и) единичной (и) ступени (и) регулирования (и) предусматривается (и) плавное (и) изменение (и) мощности (и) равной (и) ей по (и) величине (и) секции (и) шунтирующего (и) реактора. (и) Использование (и) дискретного (и) способа (и) управления (и) режимами (и) ЭЭС (и) позволяет (и) практически (и) исключить (и) высшие (и) гармоники (и) в (и) токе (и) компенсатора, (и) повысить (и) надежность (и) всей (и) установки (и) в (и) целом (и) за (и) счет (и) секционирования (и) ее (и) установленной (и) мощности, (и) а также (и) снизить (и) вероятность (и) появления (и) неканонических (и) гармоник (и) тока (и) из-за (и) рассогласования (и) углов (и) управления (и) по (и) фазам (и) компенсатора, (и) что (и) наблюдается (и) в (и) процессе (и) эксплуатации (и) устройств (и) с (и) плавным (и) способом (и) управления.

Наряду с (и) указанными (и) достоинствами (и) дискретного (и) способа (и) управления (и) следует (и) отметить (и) его (и) характерные (и) особенности, (и) требующие (и) решения (и) ряда

проблем: (и) наличие (и) зоны (и) нечувствительности, (и) внутри (и) которой (и) изменение (и) параметра (и) регулирования (и) ЭЭС (и) не (и) приводит (и) к (и) изменению (и) числа (и) включенных (и) секций (и) компенсатора, (и) и (и) как (и) следствие, (и) принципиальная (и) невозможность (и) работы (и) управляемой (и) подсистемы (и) в (и) зоне (и) искусственной (и) устойчивости (и) ЭЭС (и) (при (и) углах (и) передачи (и) по (и) участкам (и) линии, (и) близких (и) к 90°), (и) а (и) также (и) возникновение (и) переходных (и) режимов (и) при (и) переключении (и) секций (и) дискретного (и) компенсатора.

Выбор (и) способа (и) регулирования (и) мощности (и) статических (и) компенсаторов (и) при (и) управлении (и) режимами (и) ЭЭС (и) должен (и) быть (и) основан (и) на (и) анализе (и) характеристик (и) режимов (и) системы (и) с (и) учетом (и) указанных (и) выше (и) особенностей (и) отдельных (и) способов (и) и (и) учета (и) приведенных (и) народно-хозяйственных (и) затрат.

Остановимся (и) сначала (и) на (и) основных (и) параметрах (и) дискретного (и) компенсатора, (и) внешняя (и) характеристика (и) которого (и) представлена (и) на (и) рис. 1 [2]. (и) К (и) нему (и) относятся:

1) установленные (и) мощности (и) реакторной (и) и (и) конденсаторной (и) частей, (и) причем (и) возможны (и) три (и) случая (и) схемного (и) решения:

а) нерегулируемый (и) ШР (и) и (и) регулируемая (и) тиристорными (и) ключами (и) БК. В (и) этом (и) случае (и) для (и) обеспечения (и) заданного (и) диапазона (и) регулирования (и) реактивной (и) мощности (и) необходимо

$$Q_{БК}^{уст} = Q_{БК} + Q_{ШР},$$

т. е. (и) установленная (и) мощность (и) БК (и) завышена (и) по (и) отношению (и) к (и) расчетной (и) величине (и) из (и) условия (и) обеспечения (и) режимов (и) ЭЭС;

б) нерегулируемая (и) БК (и) и (и) ступенчато (и) регулируемые (и) тиристорными (и) ключами (и) секции (и) ШР. В (и) этом (и) случае

$$Q_{ШР}^{уст} = Q_{ШР} + Q_{БК},$$

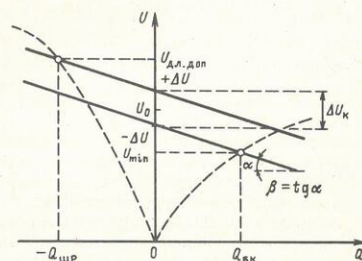


Рис. 1. Внешняя характеристика дискретного компенсатора реактивной мощности

# Методика расчета электродинамической стойкости жесткой ошиновки при неуспешных АПВ

ДОЛИН А. П., канд. техн. наук, КОЗИНОВА М. А., инж.

Московский энергетический институт

пределительных устройствах напряже-кВ и выше широко используются экономически прогрессивные конструкции с жесткими Методика расчета этих конструкций электродинамическую стойкость рассматрива-пример, в [1, 2]. Принималось, что изоляторы и шины находятся в покое, лет колебаний шинных конструкций при нулевых начальных условиях. Рас-энергии не учитывалось. Однако при зы АПВ (при повторных включениях нулевые начальные условия для жесткой и на напряжение 110 кВ и выше, как пра-выполняются. Кроме того, максималь-зки на изоляторы и напряжения в мате-ны существенно зависят от диссипатив-

рассматривается методика расчета элект-ической стойкости жесткой ошиновки тешных АПВ на основе расчета колеба-емы с распределенными параметрами рассеяния энергии. Проводится анализ возникновения наибольших нагрузок на зы и напряжений в материале шин при х включениях на к. з. Разрабатывается инженерного расчета на основе упрощен-сс колебаний шинной конструкции при ных АПВ состоит из четырех этапов: проткое замыкание (КЗ1), первая бесто-за (БП1), повторное короткое замыка-2) и последующая бестоковая пауза ри к. з. шинная конструкция совершает ные колебания под действием электр-ских нагрузок. Продолжается какж-ткого замыкания  $t_{кз1}$  и  $t_{кз2}$  складывается и действия релейной защиты и времени и выключателя. После отключения к. з. шины — опоры совершает свободные ие колебания. Продолжительность беса-узы  $t_{бп1}$  определяется временем деони-ды в месте повреждения, а также гото-включателя и его привода к повторному ю.

в пролете между опорами (изоляторы рассматривать как балку с распреде-параметрами. Колебания шины — балки и после его отключения описываются циальным уравнением в частных произ-3]

$$EJ \frac{\partial^4 y}{\partial x^4} + \mu EJ \frac{\partial^2 y}{\partial t \partial x^2} + m \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = q(x, t), \quad (1)$$

где  $y$  — прогиб шины, м;  $E$  — модуль упругости материала шины, Па;  $I$  — ее момент инерции, м<sup>4</sup>;  $t$  — время от начала этапа, с;  $m$  — масса шины на единицу длины, кг/м;  $q$  — электродинамическая нагрузка (ЭДН), Н/м;  $\mu = \delta/(\pi\Omega)$  — параметр затухания, с;  $\delta$  — логарифмический декремент затухания;  $\Omega$  — угловая частота собственных колебаний, рад/с.

Первый член в уравнении (1) учитывает упру-гую реакцию шины, второй — диссипативные, а третий — инерционные силы. Нагрузка в правой части уравнения (1) в бестоковые паузы равна нулю, а при к. з. определяется по формуле [2]

$$q(x, t) = \frac{\alpha}{l_m} I_m^2 \sum_{n=1}^6 D_n(x, \Psi) \Theta_n(t), \quad (2)$$

где  $\alpha = 2 \cdot 10^{-7}$ , Н/А<sup>2</sup>;  $a$  — наименьшее расстояние между фазами, м;  $I_m$  — амплитуда периодической составляющей тока к. з., А;  $D_n$  — коэффициенты, зависящие от вида к. з., взаимного расположения шин, координаты  $x$ , угла включения тока к. з.  $\Psi$ ;  $\Theta_n(t)$  — функции времени, равные

$$\Theta_1 = 1; \Theta_2 = e^{-2t/T_a}; \Theta_3 = e^{-t/T_a} \cos \omega t;$$

$$\Theta_4 = e^{-t/T_a} \sin \omega t; \Theta_5 = \cos 2\omega t; \Theta_6 = \sin 2\omega t;$$

$T_a$  — постоянная времени затухания апериди-ческой составляющей тока к. з., с;  $\omega$  — угловая частота тока в сети, рад/с.

В средних пролетах протяженных конструкций с параллельными шинами коэффициент  $D_n$  ( $n=1, 2, \dots, 6$ ) не зависит от  $x$ , и ЭДН равномерно распре-делена по длине шины [1].

Решение уравнения (1) значительно упрощает-ся, если опоры шин принять абсолютно жесткими. Такое допущение справедливо для большинства изоляторов напряжением до 110 кВ, трехрядных шинных опор (напряжением 500 кВ и выше), а в ряде случаев — для опор 150—330 кВ [4].

Решение уравнения (1) можно найти в виде суммы частного решения  $y_1$  этого уравнения и общего решения  $y_2$  однородного уравнения. Составляющая  $y_1$  определяет вынужденные, а  $y_2$  — свободные колебания шины, которые зависят от начальных прогибов и скоростей балки — шины в начальный момент времени. Свободные колеба-ния вследствие трения со временем затухают.

Решения  $y_1$  и  $y_2$  удобно искать в виде рядов разложения по собственным (фундаментальным) функциям [3]. Частное решение уравнения (1) имеет вид

$$y_1(x, t) = \sum_{k=1}^{\infty} S_k(t) X_k(x). \quad (3)$$

Здесь  $X_k$  — фундаментальные функции, зависящие от способа закрепления концов балки — шины (граничных условий). Например, при шарнирном опирании шин на изоляторы (опоры) пролета, характерном для ошиновки РУ 110 кВ и выше,

$$X_k = \sqrt{2} \sin r_k \frac{x}{l}, \quad (4)$$

где  $r_k$  — параметры частоты собственных колеба-ний шины (корни характеристического уравне-ния), равные  $k\pi/l$ ;  $l$  — длина пролета шины, м.

Функции времени  $S_k(t)$  для равномерно распре-деленной по длине шины нагрузки определяются по формуле

$$S_k(t) = \frac{Z_k}{m p_k} \int_0^t e^{-h_k(t-\tau)} q(\tau) \sin p_k(t-\tau) d\tau, \quad (5)$$

где

$$Z_k = \frac{\int_0^l X_k(x) dx}{\int_0^l X_k^2(x) dx}; \quad (6)$$

$h_k = \mu \Omega_k/2 = \delta \Omega_k/(2\pi)$  — коэффициенты затуха-ния, с<sup>-1</sup>;  $p_k = \sqrt{\Omega_k^2 - h_k^2}$  — угловые частоты соб-ственных колебаний с учетом затухания, рад/с.

Частоты собственных колебаний шины (без учета затухания) определяются по формуле

$$\Omega_k = 2\pi f_k = \frac{r_k^2}{l^2} \sqrt{\frac{EJ}{m}}, \quad (7)$$

где  $f_k$  — собственные частоты колебаний шин, Гц.

Общее решение однородного уравнения

$$y_2(x, t) = \sum_{k=1}^{\infty} T_k(t) X_k(x). \quad (8)$$

Функции времени  $T_k(t)$  равны

$$T_k(t) = e^{-h_k t} \frac{p_k}{\Omega_k} (A_k \sin p_k t + B_k \cos p_k t). \quad (9)$$

Коэффициенты  $A_k$  и  $B_k$  определяются для каж-дого этапа из начальных условий

$$y|_{t=0} = y_0(x); \quad \frac{\partial y}{\partial t} \Big|_{t=0} = v_0(x).$$

После преобразований, с учетом ортогональ-ности фундаментальных функций искомые коэф-фициенты приводятся к виду

$$A_k = \frac{\int_0^l v_0(x) X_k(x) dx + h_k \int_0^l y_0(x) X_k(x) dx}{p_k \int_0^l X_k^2(x) dx}; \quad (10a)$$

$$B_k = \frac{\int_0^l y_0(x) X_k(x) dx}{p_k \int_0^l X_k^2(x) dx}. \quad (10б)$$

Для нормированных фундаментальных функ-ций интеграл, стоящий в знаменателе уравнений (6) и (10), равен 1.

С учетом (3) и (8) уравнения (10 а, б) приво-дятся к виду

$$A_{ki} = \frac{1}{p_k} [(\dot{T}_{k(i-1)} + \dot{S}_{k(i-1)}) + h_k (T_{k(i-1)} + S_{k(i-1)})]; \quad (11a)$$

$$B_{ki} = \frac{\Omega_k}{p_k} (T_{k(i-1)} + S_{k(i-1)}), \quad (11б)$$

где  $i$  — номер цикла АПВ ( $i=1$  при КЗ1,  $i=2$  при БП1,  $i=3$  при КЗ2,  $i=4$  при БП2);  $T_{k(i-1)}$ ,  $S_{k(i-1)}$ ,  $\dot{T}_{k(i-1)}$ ,  $\dot{S}_{k(i-1)}$  — функции времени и их производные, вычисленные при наибольшем значе-нии времени предшествующего этапа (т. е. в мо-мент коммутации). На первом этапе (КЗ1) коэф-фициенты  $A_k$  и  $B_k$  равны нулю.

При расчете колебаний шин, имеющих одина-ковые условия опирания на обоих изоляторах пролета, и действии симметричной относительно середины пролета нагрузки (в частном случае равномерно распределенной по длине шины ЭДН) в уравнениях (3) и (8) имеются только нечетные члены ряда ( $k=1, 3, 5, \dots$ ), так как четные формы собственных колебаний не возбуждаются.

Нагрузки на изоляторы (в Н) и напряжения в материале шины (в Па) определяются по фор-мулам

$$R(t) = 2EJ \frac{\partial^3 y}{\partial x^3} \Big|_{x=0; l}; \quad (12a)$$

$$\sigma(x, t) = \frac{M(x, t)}{W} = \frac{EJ}{W} \frac{\partial^2 y}{\partial x^2}, \quad (12б)$$

где  $M(x, t)$  — изгибающий момент, Н·м;  $W$  — мо-мент сопротивления поперечного сечения, м<sup>3</sup>.

С учетом (2) прогибы, напряжения и нагрузки могут быть приведены к виду

$$y(x, t) = \frac{\alpha l}{c_{\text{ш}}} I_m^2 y_*(x, t) = \frac{q_{\text{max}} l}{c_{\text{ш}}} \bar{y}_*(x, t); \quad (13a)$$

$$\sigma(x, t) = \frac{\alpha l^2}{\lambda \alpha W} I_m^2 \sigma_*(x, t) = \frac{q_{\text{max}} l^2}{\lambda W} \bar{\sigma}_*(x, t); \quad (13б)$$

$$R(t) = \beta \frac{\alpha l}{I_m} I_m^2 R_*(t) = \beta q_{\text{max}} l \bar{R}_*(t), \quad (13в)$$

где  $y_*$ ,  $\sigma_*$ ,  $R_*$ ,  $\bar{y}_*$ ,  $\bar{\sigma}_*$ ,  $\bar{R}_*$  — относительные и относительные приведенные прогибы, напряжения и нагрузки на изоляторы;  $c_{\text{ш}}$  — жесткость шины, Н/м;  $\lambda$  и  $\beta$  — параметры, зависящие от условий опирания шин на изоляторы пролета (например, при шарнирном опирании  $c_{\text{ш}} = 384EJ/(5l^3)$ ,  $\lambda = 8$ ,  $\beta = 1$  [4]);  $q_{\text{max}}$  — максимальное значение ЭДН в

системе параллельных шин, расположенных в одной плоскости, примерно равно (при трехфазном к. з.)

$$q_{\max} \approx \frac{\alpha}{a} I_m^2 \frac{\sqrt{3}}{2} k_{ya}^2 = \frac{\sqrt{3} \cdot 10^{-7}}{a} I_{ya}^2, \quad (14)$$

$I_{ya} = k_{ya} I_m$  — ударный ток к. з., А<sup>2</sup>;  
 $k_{ya} = 1 + \exp(-0,01/T_a)$  — ударный коэффициент.

Для определения прогибов, напряжений в шине и нагрузок на изоляторы был разработан алгоритм и составлена программа расчета, реализованная на ЭВМ ЕС-1045 и IBM PC.

В качестве примера на рис. 1, а и б приведены расчетные зависимости наибольших относительных напряжений (в сечении  $x=0,5 l$ ) и нагрузок на изоляторы от времени при трехфазном первом и повторном к. з. для шин с частотой собственных колебаний  $f_1 = 3$  Гц и декрементом затухания  $\delta = 0,1$  при  $T_a = 0,05$  с. Кривые построены для крайних шин (фаза А), так как при частоте собственных колебаний  $f_1$  меньше 50 Гц эти шины находятся в более тяжелых условиях, чем средняя фаза В [1, 5]. При вычислении удерживалось пять членов рядов (3) и (8) по нечетным собственным функциям.

Расчеты проводились при углах включения  $\Psi$  тока первого и второго к. з., равных  $5\pi/12 + k\pi$  (рад), при которых электродинамическая нагрузка на фазу А достигает максимума. Длительность первого к. з. (рис. 1, а, б, в)  $t_{кз1} = t_{отк1} = 0,136$ ; продолжительность бестоковой паузы  $t_{бп1} = t_{лпв} - t_{отк1}$  равна 0,53 и 0,34 с, продолжительность повторного к. з.  $t_{кз2} = t_{отк2} - t_{лпв} = 0,2$  с. Параметры ЭДН при первом и повторном к. з. принимались одинаковыми.

Анализ полученных результатов показал следующее. Если в момент повторного включения направление действия ЭДН совпадает с направлением движения шины, то максимальные напряжения  $\sigma_{\max}$  и нагрузки  $R_{\max}$  оказываются больше  $\sigma_{1\max}$  и  $R_{1\max}$  при первом к. з. (рис. 1, а). Если направления ЭДН и движения шины противоположны, то при повторном к. з.  $\sigma_{\max}$  и  $R_{\max}$  могут оказаться меньше соответствующих значений при КЗ1 (рис. 1, б).

Отношения наибольших прогибов, напряжений при повторном и первом к. з. (в случае равенства токов) остаются ниже двух. Наибольшие значения ЭДН, а также  $y$ ,  $\sigma$  и  $R$  зависят от угла включения тока к. з.  $\Psi$ . При  $\Psi = 11\pi/12 + k\pi$  (рад) напряжения и нагрузки на шины фазы А (с первой частотой собственных колебаний ниже 20 Гц) могут быть в 1,5—2,5 раза меньше, чем при расчетном угле включения. Чем ниже частота  $f_1$  и постоянная времени  $T_a$ , тем меньше влияет угол  $\Psi$  на наибольшие значения  $y$ ,  $\sigma$  и  $R$  при первом и втором к. з.

При неуспешных АПВ прогибы, напряжения и нагрузки значительно зависят от фазы колеба-

ния в момент повторного включения (рис. 1, а, б), которая определяется фазой отключения первого к. з., продолжительностью паузы, частотой собственных колебаний ошиновки. В определенных пределах эта фаза носит случайный характер, который определяется последовательностью отключения фаз, а также флуктуациями времени срабатывания выключателя, параметрами ошиновки, влияющими на частоту собственных колебаний (например, изменение массы шины при гололеде, ослабление болтов крепежных соединений и др.). Чем ниже частота собственных колебаний шины, тем меньше влияние вариаций параметров на фазу колебания при повторном включении.

Если отключение первого к. з. происходит при максимальном прогибе шины, то в бестоковую паузу возникают наибольшие амплитуды свободных колебаний. Соответственно при повторном к. з. прогибы, напряжения и нагрузки могут достигнуть максимальных расчетных значений. При отключении КЗ1 до или после прохождения максимума прогиба, в режиме повторного замыкания наибольшие значения  $y_2$ ,  $\sigma_2$  и  $R_2$  остаются ниже расчетных максимумов.

Значения прогибов, напряжений и нагрузок при повторных включениях на к. з. в значительной мере определяются также продолжительностью бестоковой паузы и рассеянием энергии при колебаниях. Чем больше время  $t_{бп1}$  и декремент  $\delta$ , тем меньше амплитуды  $y_2$ ,  $\sigma_2$  и  $R_2$  при повторных включениях на к. з. Проведенные расчеты подтвердили, что при продолжительности бестоковой паузы

$$t_{бп1} \geq \frac{2,3}{f_1 \delta} \quad (15)$$

начальные условия при повторном к. з. без существенной погрешности для инженерных расчетов можно принять нулевыми [4]. В этом случае наибольшие расчетные прогибы, напряжения и нагрузки при первом и втором к. з. оказываются практически одинаковыми (рис. 1, в).

В РУ до 35 кВ максимальная продолжительность бестоковой паузы выключателей составляет 0,3—0,5 с. Тем не менее условие (15) выполняется даже при малых декрементах затухания, равных 0,03—0,07 [6], так как первая частота собственных колебаний шин, как правило, много выше 250 Гц. Поэтому в РУ до 35 кВ проверку изоляторов и шин по условиям электродинамической стойкости при неуспешных АПВ проводить не требуется. В РУ 110 кВ и выше (иногда 35 кВ) при быстродействующих АПВ условие (15) обычно не выполняется.

В [1, 2, 5] было показано, что инженерный расчет электродинамической стойкости шинных конструкций можно проводить на основе решения задачи о колебаниях системы с одной степенью свободы, которые описываются обыкновенным дифференциальным уравнением второго порядка:

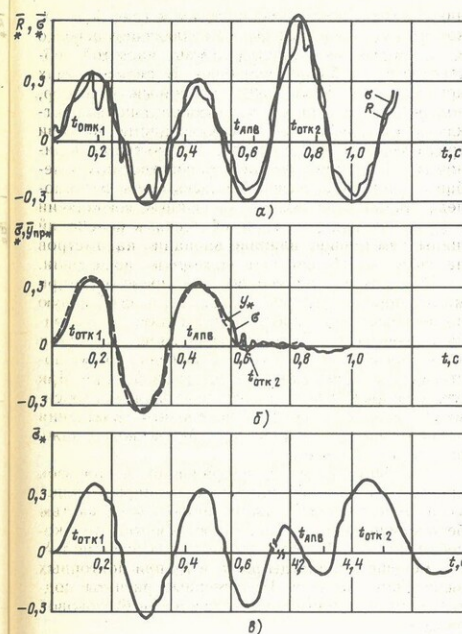


Рис. 1

$$\frac{d^2 y_{np}}{dt^2} + 2h_{np} \frac{dy_{np}}{dt} + \Omega_{np}^2 y_{np} = \frac{Q_{np}}{m_{np}}, \quad (16)$$

где  $h_{np}$  — коэффициент рассеяния энергии системы, с;  $Q_{np}$  — приведенная электродинамическая сила, Н;  $\Omega_{np} = 2\pi f_{np}$  — угловая частота собственных колебаний без учета рассеяния энергии, рад/с;  $m_{np}$ ,  $y_{np}$ ,  $c_{np}$  — соответственно приведенные массы (кг), прогиб (м), жесткость (Н/м), (индекс «np» — для упрощения записи опущен).

Решение уравнения (16) для каждого этапа КЗ1, БП1, КЗ2 и БП2 имеет вид

$$y = Ce^{-ht} \sin(pt + \gamma) + \frac{1}{mp_0} \int_0^t e^{-h(t-\tau)} Q(\tau) \times \times \sin p(t-\tau) d\tau, \quad (17)$$

где  $p = \sqrt{\Omega^2 - h^2}$  — угловая частота свободных колебаний при наличии рассеяния энергии, рад/с;  $t$  — время, с;  $C$  и  $\gamma$  — постоянная (м) и угол (рад), определяемые из начальных условий [3].

Результаты решений уравнений (1) и (16) оказываются близкими, если параметры расчетной схемы с одной степенью свободы удовлетворяют условиям

$$Q_{np} = ql; c_{np} = c; f_{np} = f_1; h_{np} = f_1 \delta, \quad (18)$$

где  $c$  — жесткость шинной конструкции (Н/м), равная распределенной статической нагрузке, действующей на шину, при единичном максимальном прогибе ошиновки;  $f_{np}$  — частота собственных колебаний расчетной схемы с одной степенью свободы, Гц;  $f_1$  — первая (основная) частота колебаний шинной конструкции, Гц.

Прогибы расчетной схемы приводятся к виду (13а) [4, 5]:

$$y = \frac{cl}{ca} I_m^2 y_*(t) = \frac{q_{\max} l^2}{c} \bar{y}_*(t), \quad (19)$$

где  $y$  и  $\bar{y}_*$  — относительный и относительный приведенный прогибы системы.

Наибольшие напряжения в материале шины и нагрузки на изоляторы определяются по формулам [4]

$$\sigma(t) = \frac{cl}{\lambda W} y(t) = \frac{q_{\max} l^2}{\lambda W} \bar{y}_*(t); \quad (20a)$$

$$R(t) = \beta cy(t) = \beta q_{\max} l \bar{y}_*(t). \quad (20b)$$

На основании решения уравнения (16) была составлена программа расчета относительного прогиба на ЭВМ. Результаты вычислений подтвердили, что система с одной степенью свободы позволяет оценить электродинамическую стойкость ошиновки при неуспешных АПВ с достаточной для инженерных расчетов точностью. В качестве примера на рис. 1 для сравнения приводятся зависимости от времени  $\bar{R}_*$ , а также  $\sigma_*$ , полученные на основе расчета колебаний систем с распределенными параметрами, и  $y_*$  (пунктирные кривые) на основе решения системы с одной степенью свободы для конструкций с частотой собственных колебаний  $f_1 = 3$  Гц и  $\delta = 0,1$ .

Оциллограммы, а также наибольшие значения  $\bar{R}_*$ ,  $\sigma_*$  и  $y_{np*}$  отличаются незначительно. Кроме того, отношения наибольших нагрузок, напряжений, а также приведенных прогибов при первом и повторном к. з. оказываются практически одинаковыми, т. е.

$$\frac{\sigma_{2\max}}{\sigma_{1\max}} \approx \frac{R_{2\max}}{R_{1\max}} \approx \frac{y_{2np\max}}{y_{1np\max}} = \theta. \quad (21)$$

Коэффициент  $\theta$  показывает, во сколько раз напряжения в шине, нагрузки на изоляторы или прогибы шины при неуспешных АПВ могут превышать соответствующие максимальные значения при первом к. з.

Таким образом, согласно (13), (14) и (20) максимальные напряжения и нагрузки при повторном включении на к. з. равны

$$\sigma_{2\max} = \sigma_{1\max} \theta = \frac{\sqrt{3} \cdot 10^{-7} I_m^2}{\lambda a W} I_{ya} \eta \theta; \quad (22a)$$

$$R_{2\max} = R_{1\max} \theta = \frac{8\sqrt{3} \cdot 10^{-7} I_m^2}{a} I_{ya} \eta \theta. \quad (22b)$$

и  $\eta_R$  — динамические коэффициенты намятия в материале шины и нагрузки на изоляционные максимальным значениям  $\sigma_*$  и  $R_*$  в первом к. з.

В инженерных расчетах коэффициенты  $\eta_0$  и  $\eta_1$  можно приближенно принять равными динамическому коэффициенту  $\eta = \max |y_{1 \max \text{ пр}}|$ , вычисленному на основе одномассовой схемы [2, 4]. В соответствии с методикой [1, 5] решение для  $\theta$  с одной степенью свободы, а также расчет формулы (22а, б) могут использоваться только для расчета конструкций с абсолютно жесткими, но и для приближенных оценок стойкости ошинокви с упругоподатливыми опорами. В каждом случае частота собственных колебаний определяется с учетом жесткости и массы

рис. 2, а приведены зависимости  $\theta$  от декрементов затухания, полученные на основе решения (15) при наиболее неблагоприятных

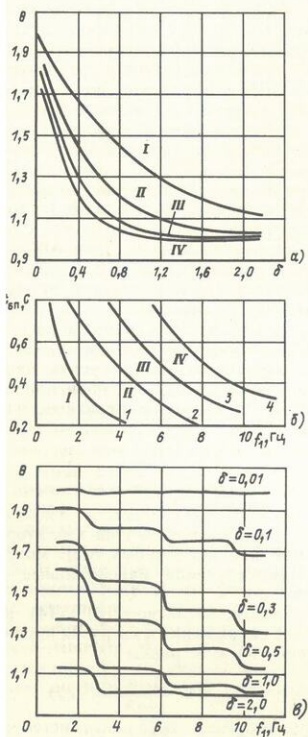


Рис. 2

условиях коммутаций, которые приводят при первом к. з., в бестоковую паузу и повторном включении на к. з. к наибольшим прогибам.

Кривая I (рис. 2, а) дает оценку сверху при любых частотах собственных колебаний шин. Учет наибольшей продолжительности бестоковой паузы позволяет определить прогибы, напряжения и нагрузки при повторном к. з. с меньшим «запасом». На рис. 2, б построены зависимости наименьшей (расчетной) продолжительности бестоковой паузы  $t_{\text{БП}}$  от частоты собственных колебаний шины  $f_1$ .

Если точка с координатами  $t_{\text{БП}}$  и  $f_1$  (рис. 2, б) лежит в зоне I (ограниченной осями координат и кривой I), то коэффициент  $\theta$  определяется по кривой I на рис. 2, а; если эта точка лежит в зоне II, то  $\theta$  соответственно определяется по кривой II и т. д. В качестве примера на рис. 2, в приведены зависимости коэффициента превышения  $\theta$  от частоты  $f_1$  при различных декрементах затухания и продолжительности бестоковой паузы не менее 0,3 с.

При построении кривых на рис. 2 продолжительность бестоковой паузы ограничивалась «снизу», то есть принималась равной или большей минимального (расчетного) значения  $t_{\text{БП min}}$  и определение коэффициента  $\theta$  проводилось при наиболее неблагоприятных условиях. Такой подход позволяет косвенно учесть возможные отклонения продолжительности бестоковой паузы и параметров ошинокви (в частности, частоты собственных колебаний) от принятых в расчете значений и провести оценку стойкости ошинокви с запасом. Для более точных оценок можно использовать разработанные программы расчета на ЭВМ.

**Пример.** Определить наибольшие напряжения в материале шин и нагрузки на изоляторы при первом и повторном к. з. в экспериментальной конструкции с трубчатыми шинами круглого сечения. Внешний диаметр шин  $d_1 = 90$  мм, внутренний  $d_2 = 80$  мм. Шины изготовлены из алюминиевого сплава 1915Т (модуль упругости  $E = 7,1 \cdot 10^{10}$  Па, погонная масса  $m = 3,7$  кг/м). Длина пролета шин 9 м. Разрезные участки шин смежных пролетов соединены с помощью гибких связей. Расстояние между фазами 1,4 м. Ударный ток трехфазного к. з.  $i_{\text{уд}} = 50$  кА. Постоянная времени  $T_a = 0,04$  с. Логарифмический декремент затухания  $\delta = 0,5$ . Продолжительность бестоковой паузы  $t_{\text{БП}} = 0,3$  с.

Моменты инерции и сопротивления поперечного сечения трубчатой шины равны

$$J = \pi(d_1^4 - d_2^4) / 64 = 121 \cdot 10^{-8} \text{ м}^4, \\ W = 2J / d_1 = 26,9 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3.$$

Для балки с шарнирным опиранием на обоих опорах  $r_1 = 3,14$ ;  $\beta = 1$ ;  $\lambda = 8$  [4].

Первая частота собственных колебаний согласно (7) равна  $f_1 = 2,9$  Гц. Экспериментально полученная частота собственных колебаний составила

3,2—4 Гц. По кривым, приведенным, например, в [2, 4] при вычисленном значении  $f_1$  и  $T_a = 0,04$  с определяем динамический коэффициент  $\eta = 0,33$ .

В соответствии с (22) наибольшие напряжения в шинах и нагрузки на изоляторы при первом к. з. составляют  $\sigma_{1 \max} = 38,4$  МПа;  $R_{1 \max} = 919$  Н.

Точка с координатами  $t_{\text{БП}} = 0,3$  с и  $f_1 = 2,9$  Гц на рис. 2, б лежит во II зоне. Следовательно, коэффициент превышения  $\theta$  определяется по кривой II (рис. 2, а) и равен 1,35 (при  $\delta = 0,5$ ).

Таким образом, при повторном включении на к. з.  $\sigma_{2 \max} = \sigma_{1 \max} \theta = 51,8$  МПа;  $R_{2 \max} = R_{1 \max} \theta = 1240$  Н.

**Выводы.** 1. При неуспешных АПВ наибольшие напряжения в материале шин и нагрузки на изоляторы могут превышать соответствующие значения при первом к. з. на величину до 100 %.

2. С увеличением рассеяния энергии (декремента затухания), продолжительность бестоковой паузы, а также частоты собственных колебаний коэффициент превышения  $\theta$  снижается.

3. Как показали экспериментальные исследования, современные шинные конструкции 110 и 220 кВ имеют частоту собственных колебаний соответственно 1,5—4 Гц и 1—3 Гц, а декремент

затухания равен 0,1—0,6 и 0,01—0,1. Поэтому при повторных замыканиях и продолжительности бестоковой паузы не менее 0,3 с напряжения в шинах и нагрузки на изоляторах составляют в РУ 110 кВ не более 1,3—1,9, а 220 кВ — 1,8—1,95 от значений при первом к. з.

4. В шинных линиях напряжением до 35 кВ наибольшие расчетные напряжения и нагрузки при первом и повторном к. з. практически одинаковы.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кудряшев Е. П., Долин А. П. Расчет жесткой ошинокви распределительных устройств. — М.: Энергия, 1981.
2. Долин А. П. Расчет электродинамической стойкости жесткой ошинокви с учетом ее колебаний при коротких замыканиях. — М.: МЭИ, 1981.
3. Филиппов А. П. Колебания деформируемых систем. — М.: Машиностроение, 1970.
4. Долин А. П., Шонгин Г. Ф. Открытые распределительные устройства с жесткой ошинокви. — М.: Энергоатомиздат, 1988.
5. Кудряшев Е. П., Долин А. П. Методика расчета электродинамической стойкости токопроводов напряжением 110 кВ и выше с учетом податливости опор. — Электричество, 1977, № 5.
6. Долин А. П. Экспериментальные исследования электродинамической стойкости шинных конструкций. — Промышленная энергетика, 1979, № 3.

[16.05.90]

УДК 62-83-52

## Алгоритмы и структуры микропроцессорных систем управления асинхронным электроприводом

ГУСЯЦКИЙ Ю. М., канд. техн. наук, ЖУКОВ С. В., инж.

Московский энергетический институт

Развитие регулируемого асинхронного электропривода в последние годы во многом определяется прогрессом в области микропроцессорной техники. Современный асинхронный электропривод с высоким качеством статических и динамических характеристик может быть выполнен только на базе замкнутых многосвязных структур регулирования, реализация которых с помощью аналоговой техники приводит к значительным аппаратным затратам и не обеспечивает требуемой точности и стабильности характеристик. Поэтому регулируемый асинхронный электропривод представляет одну из наиболее перспективных областей применения микропроцессорной (МП) техники. Особый интерес вызывают системы прямого цифрового управления, выполняющие все основные функции управления программно. В таких системах сравнительно просто без дополнительных аппаратных затрат могут быть реализованы сложные алгоритмы идентификации параметров и адаптации системы к их

изменению, автоматической настройки регуляторов при пуске электропривода и развитой диагностики силовой и управляющей частей электропривода. Все это значительно повышает эксплуатационные показатели и надежность системы.

Поскольку МП-система независимо от функционального назначения основана на применении типовых больших интегральных схем, то она по своему принципу работы универсальна. Это определяет целесообразность разработки универсального микроконтроллера, пригодного для максимально возможного спектра различных электроприводов и, в частности, регулируемых асинхронных электроприводов. Как показал опыт разработки, аппаратная избыточность такой системы не превышает 15 % по сравнению с функционально направленным микроконтроллером. Далее рассматриваются структуры различных систем частотно-регулируемых асинхронных электроприводов,

ей МЭИ	1	<b>The Jubilee of the Moscow Power Institute</b>	1
в В. А., Чехов В. И., Асланян С. К. Управление ежами электроэнергетических систем с помощью искретенных источников реактивной мощности	3	<b>Stroyev V. A., Chekhov V. I., Aslanian S. K.— Control of Power System Operating Conditions Using Discrete Reactive Power Sources</b>	3
ова Т. В., Тюханов Ю. М., Усихин В. Н. Оценка значений промышленных электрических нагрузок	9	<b>Ancharova T. V., Tikhonov U. M., Usikhin V. N.— Estimation of Industrial Electrical Loads</b>	9
Ю. А., Хозяинов М. А. Ввод режима электро- энергетических систем в допустимую область путем коррекции их схемы	14	<b>Fokin U. A., Khosainov M. A.— Bringing Operating Conditions of Power System Into a Region of Permissible Values Through Correction of Their Scheme</b>	14
А. П., Козина М. А. Методика расчета электро- динамической стойкости жесткой ошиновки при успешных АПВ	20	<b>Dolin A. P., Kozinova M. A.— A Way for Calculating the Electrodynamical Withstand of Rigid Buswork for Unsuccessful Automatic Reclosure Attempts</b>	20
кий Ю. М., Жуков С. В. Алгоритмы и структуры микропроцессорных систем управления асинхрон- ным электроприводом	25	<b>Gusiatsky U. M., Zhukov S. V.— Algorithms and Structures of Microprocessor Systems for Controlling an Asynchronous Drive</b>	25
ьский А. А. Математическая модель нелинейных явлений в пьезоэлектрических двигателях и дат- чиках	33	<b>Nikolsky A. A.— A Mathematical Model for Non- Linear Phenomena in Piezo-Electric Motors and Sensors</b>	33
с В. И., Грапонов В. Г., Лопатин В. А. Аналити- ческий расчет электромагнитных процессов в тя- говом приводе переменного тока	38	<b>Anders V. I., Graponov V. G., Lopatin V. A.— Analysis of Electromagnetic Processes in an AC Traction Drive</b>	38
ин Д. И., Новикова Е. А. Способ определения проводимостей рассеяния магнитной системы син- хронной электрической машины с когтеобразными элюсами индуктора	43	<b>Besedin D. I., Novikova E. A.— A Way for Finding the Leakage Conductances of the Magnetic System of a Synchronous Machine With Claw-Type Inductor Poles</b>	43
юв В. Г., Стахив П. Г. Перспективы исполь- зования диакоптического подхода при анализе динамических режимов электрических цепей	50	<b>Mironov V. G., Stakhiv P. G.— Prospects for Employing the Diakoptic Approach in Analyzing Electric Circuit Dynamics</b>	50
<b>ОТЧЕТЫ</b>		<b>REPORTS</b>	
ев А. С. Динамика двухзонного электропри- вода постоянного тока при оптимальном управлении	57	<b>Lebedev A. S.— Dynamics of a Two-Zone DC Drive With Optimum Control</b>	57
нков Б. И., Каплин А. И., Малышев В. С., Ганюков М. Ф. Расчет вибраций асинхронного двигателя при пуске	60	<b>Zubrenkov B. I., Kaplin A. I., Malishev V. S., Ma- niukov M. F.— Calculation of Vibrations in an Induc- tion Motor When Starting</b>	60
зов В. З., Моисеев С. М. Вероятностное экви- валентирование параметров электрических систем в рамках корреляционного анализа	64	<b>Manusov V. Z., Moiseyev S. M.— Statistical Equivalence of Power System Parameters Within the Scope of Correlational Analysis</b>	64
юв А. Д., Куделько А. Р. Однофазный асинхрон- ный электродвигатель с повышенным пусковым моментом	67	<b>Abramov A. D., Kudelko A. R.— A Single-Phase Induc- tion Motor With a High Starting Torque</b>	67
ин А. С. Метод расчета магнитодвижущей силы обмоток редукторных электродвигателей	70	<b>Kurakin A. S.— A Method for Calculating the MMF of the Teeth in Reducer Motors</b>	70
шева Ж. Н., Никонов А. И. Численное решение задачи магнитостатики для области с профилиро- ванным магнитопроводом и подвижным элементом	75	<b>Kudriasheva Z. N., Nikonov A. I.— A Numerical Solu- tion to the Magnetostatic Problem for an Area With a Profiled Magnetic Circuit and a Moving Element</b>	75
лева В. К., Редькин Г. А. Математическая модель поля электродегидрататора	76	<b>Golovleva V. K., Redkin G. A.— A Mathematical Model for the Field in an Electric Dehydrator</b>	76
рьев И. Н. Выбор рациональной структуры источника питания с индуктивным накопителем энергии	79	<b>Grigoriev I. N.— Selection of an Effective Structure for a Supply Source With an Inductive Energy Store</b>	79
х Н. Н. Периодичность технического обслуживания электротехнических устройств, находящихся в по- стоянной готовности	80	<b>Syrikh N. N.— Maintenance Intervals for Electrical Apparatus Always Available for Service</b>	80
ель материалов, помещенных в журнале «Элек- тростроитель» в 1990 г.	85	<b>Contents of the Journal "Electrichestvo" for 1990</b>	85
литературный указатель авторов статей	93	<b>Alphabetic List of Authors</b>	93

Индекс 71106

ISSN 0013-5380. Электричество. 1990. № 12. 1—96.