ISSN 0013-5380

ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

1990 ·ЭНЕРГОАТОМИЗДАТ· 12

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

УДК 621.311.076.5.001.24

Ввод режима электроэнергетических систем в допустимую область путем коррекции их схемы

ФОКИН Ю. А., доктор техн. наук, ХОЗЯИНОВ М. А., инж.

Московский энергетический институт

Задача оперативного ввода режима в допустимую область (ВРДО)[1] поставлена практикой эксплуатации сложных электроэнергетических систем. Применение в качестве управляющих воздействий (УВ) переключений ветвей сети (линий, трансформаторов, секционных выключателей) расширяет возможности ВРДО, но и усложняет решение задачи. Искомым решением в общем случае может быть сочетание последовательности переключений (ПП) и непрерывных УВ (изменений мощностей генераторов электростанций, компенсирующих устройств, изменений положений отпаек регулируемых трансформаторов). Предлагаемый метод ВРДО может быть применен для обработки диспетчерских заявок или для использования ЭВМ в режиме советчика диспетчера.

Рассмотрим наименее разработанную часть методов ВРДО — дискретное управление режимом. Имеющийся зарубежный опыт исследования проблемы переключений проанализируем с позиции постановки задачи и методов поиска ПП. В [1] ставится задача сортировки переключений ветвей сети по знаку и величине снижения нагрузок в перегружаемой линии. В [2] определяется последовательность отключений ветвей, позволяющая снизить одну перегрузку без образования новых. В [3—5] определяется ПП, снижающая также одну перегрузку, в [6] — последовательность отключений, снижающая несколько перегрузок. Запрет на увеличение прежних и появление новых перегрузок задается неявно в виде ограничений.

Постановки задачи поиска ПП отличны по параметрам, вводимым в допустимую область. В [1, 3—6] регулируются токи перегружаемых ветвей, в [1—2] — активные мощности перегружаемых ветвей. В [6, 7] в допустимую область вводятся напряжения узлов, в [7] — перетоки обменной мощности между энергосистемами, в [8] — потери активной мощности.

Виды используемых УВ также различны. В [1, 3] используются переключения любых ветвей, в [4, 5, 8] — всех, кроме секционных выключателей, в [2, 6, 7] — отключения ветвей сети. В [6, 7] используются непрерывные УВ (изменения мощностей генераторов) и УВ малой дискретности (изменение коэффициентов трансформации регулируемых трансформаторов, ступеней батарей конденсаторов и реакторов).

Рассмотрим кратко особенности методов поиска дискретных УВ. В [3] решение задачи упрощается отказом от рассмотрения коммутационных изменений одновременно на двух и более подстанциях. Для отдельной подстанции число переключений тоже ограничивается. Уменьшается и количество подстанций, «подходящих» для снижения перегрузок тех или иных ветвей. Перечисленные упрощения, снижающие сложность комбинаторной задачи, и соответствующие им ограничения поиска УВ вводятся заранее для «основного» коммутационного состояния. В режиме реального времени поиск УВ производится поэтапно — от этапа с максимальными упрощениями расчета режима и минимальным объемом сети к этапу с расчетом режима без упрощений в полной сети. Поэтапная селекция вариантов переключений позволяет снижать вычислительные затраты. Однако обоснование снижения размеров сети не приводится, многие положения эвристичны. Например, размеры сети на первом этапе поиска — мини-сеть — определяются не зависящими от конкретного послеаварийного режима (мини-сеть — часть сети, включающая перегруженную и смежные ей ветви). Заранее определенные функциональные связи параметров режима и переключений ветвей сети для «основного» коммутационного состояния не могут адекватно отражать всего многообразия состояний поиска УВ с изменяющимися функциональными связями.

В [4, 5, 8] поиск УВ проводится методом ветвей и границ. Режим определяется по матрице коэффициентов распределения по ветвям и задающим токам в узлах сети. Приводится формулировка проблемы в виде задачи линейного программирования (ЛП). Особенностью [4, 5, 8] является моделирование режима системы сетью со всеми включенными элементами (базовой) и задающими токами, инцидентными ветвям, отключенным относительно базовой сети (количество таких ветвей равно K). Для моделирования каждого коммутационного состояния, соответствующего переключаемой ветви, обращается матрица размерностью $(K \times K)$. Целевая функция задана в виде выражения для тока в перегружаемой ветви. Алгоритм строго формализован. Но излишнее количество обращений матриц размерностью $(K \times K)$, особенно для тех состояний, которые могли бы быть отсеяны на этапе упрощенной проверки, резко утяжеляет алгоритм. Быстро оценивать варианты переключений, как в [3] на первом этапе, едва ли возможно.

Поиск переключений в [6, 7] также осуществляется методом ветвей и границ. Последующее коммутационное состояние определяется по наименьшему индексу состояния (ИС). ИС — это сумма абсолютных значений превышений действен-

[1] Список сокращений, использованных в статье, приведен в приложении.

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

ными параметрами режима допустимых пределов. Действенными ограничениями в [6, 7] считаются токи ветвей и напряжения узлов, выходящие за допустимый предел до переключения, и те, которые «могут» выйти за предел после переключения. Моделируемые коммутационные состояния ранжируются по производным от ИС по искомому переключению. Используемая теория чувствительности позволяет ранжировать только отключения ветвей. Проблема решается в виде задачи ЛП. Эффективность алгоритма зависит от выделения области сети, параметры режима которой должны быть включены в задачу ЛП в качестве действенных ограничений. Эта процедура формализована в [6, 7] только для непрерывных УВ и УВ малой дискретности.

Обобщая опыт исследования проблемы, можно заключить, что общим методом поиска переключений элементов сети является перебор вариантов коммутационных состояний. Задача поиска УВ с большой дискретностью (переключениями ветвей) не может быть сведена к поиску непрерывных УВ, как для УВ с малой дискретностью [6, 7]. Эффективность перебора определяется возможностью выделения из полной сети небольших расчетных зон (декомпозиции сети) [1, 3, 6, 7], организацией алгоритма выбора вариантов и применением обоснованных упрощений расчета режима (идеализацией сети моделью постоянного тока на определенных этапах в [2, 3, 6, 7], решением в форме баланса токов в [1, 2, 4, 5, 8], линеаризацией ограничений при решении задачи ЛП в [4—8]).

Предлагается определять не одну ПП, а множество (несколько) близких к оптимальной, т. е. наиболее короткой ПП, способной ввести режим в допустимую область за минимальное время. Такая постановка задачи обусловлена несколькими причинами, из которых выделим две. Во-первых, поиск ПП ведется по максимуму снижения перегрузки [1—5, 8] или ИС [6, 7]. В общем случае такой поиск не всегда приводит к решению, близкому к оптимальному. Во-вторых, реализация рекомендуемой ПП может быть затруднена в связи с ограничениями по управляемости элементов системы (частичное отсутствие контроля параметров режима и/или сети, неуправляемость коммутационной аппаратуры, отсутствие канала связи или дежурного персонала на подстанции и т. д.).

При более широкой постановке задачи и повышении ее сложности по сравнению с [1—8] появляются новые требования к исследованию проблемы. Необходимо учитывать порождения состояний с перегрузками, отличными от исходных. Для выбранной стратегии поиска ПП требуется определить критерий формирования (генерации и отсева) ПП. Необходим анализ эффективности алгоритма в зависимости от выбора чувствительности перегрузок к моделируемым переключениям и от глубины поиска ПП.

Эффективность поиска ПП может быть повышена оптимизацией алгоритма в нескольких направлениях. Выделим два наиболее существенных. Первое — это оптимизация наращивания дерева вариантов (генерации вариантов коммутационных состояний и исключения неперспективных вариантов). Второе — это снижение времени счета уменьшением размеров сети. Размеры сети сокращаются выделением зон с изменяющимися при переключениях параметрами режима. Отметим, что вопрос декомпозиции сети при поиске переключений одного коммутационного состояния рассмотрен в [9]. Здесь разбираются вопросы, относящиеся к первому направлению, в рамках разработки метода ВРДО переключениями ветвей сети.

Послеаварийный режим приводится к нормальному по цепочке коммутационных состояний с несколькими параметрами, находящимися между длительно и кратковременно допустимыми пределами. Состав, расположение перегружаемых элементов на схеме сети и значения перегрузок изменяются при моделировании каждого переключения.

Метод поиска дискретных УВ основан на целенаправленном моделировании коммутационных состояний системы. Варианты переключений ветвей сети наращиваются по древовидной структуре. Корневой вершиной дерева вариантов является исходное послеаварийное состояние. Ветвление дерева определяется оценкой изменения вводимых в допустимую область параметров режима. Число вершин дерева вариантов на каждом уровне выбирается по характеристикам анормальности режима (ХАР) моделируемых состояний. ПП, делающая режим допустимым, проверяется уточнением расчета режима для каждого переключения. ПП-рекомендации ранжируются по числу переключений (времени ПП), ПП с одинаковым числом переключений ранжируются по ХАР.

Параметры режима рассчитываются по широко известным из теории электрических сетей обобщенным параметрам схемы замещения: матрице узловых сопротивлений $\boldsymbol{Z}$, матрице коэффициентов распределения тока $\boldsymbol{C}$, матрице собственных и взаимных проводимостей $\boldsymbol{Y}_{ij}$, матрице коэффициентов распределения напряжения $\boldsymbol{D}$ (последние три матрицы формируются на основе матрицы $\boldsymbol{Z}$).

Широкое использование обобщенных параметров (например, в [1, 2, 4, 5, 8—12]) обусловлено возможностью непосредственного определения дискретных изменений параметров режима [1, 2, 9—11] и/или определения чувствительности параметров режима к применяемому УВ, как непрерывного так и дискретного характера [1, 9]. Режим рассчитывается в форме баланса комплексных значений токов. Если задающие токи и напряжения в узлах сети при моделировании переключений меняются значительно, то итеративная корректировка параметров режима по известным мощностям узлов не составляет затруднений.

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

Трудности могут возникнуть при моделировании переключений задающими токами в узлах ветвей, отключаемых относительно базового состояния сети, и обобщенными параметрами этого состояния [4, 5, 8]. Это доказывает целесообразность расчета (пересчета) параметров схемы сети для моделируемого коммутационного состояния [9—12].

При отключении v (включении s) элементов сети, например линий, напряжения узлов сети определяются по выражениям [10, 11]:

$$\boldsymbol{U}^{(r)}=\boldsymbol{U}+\boldsymbol{g}_v^{(r)}\boldsymbol{U}_r;\ \boldsymbol{U}^{(s)}=\boldsymbol{U}+\boldsymbol{g}_v^{(s)}\boldsymbol{U}_s,$$

где $\boldsymbol{U}$ — напряжения узлов в предшествующем переключению режиме; $\boldsymbol{U}^{(s)}$, $\boldsymbol{U}^{(r)}$ — напряжения узлов в моделируемых режимах соответственно после включения s и отключения r элементов; $\boldsymbol{U}_{r(s)}$ — разности напряжений узлов, инцидентных s включаемым и r отключаемым ветвям;

$$\boldsymbol{g}_v^{(r)}=\boldsymbol{Z}_r^t(-\boldsymbol{Z}_{\text{н.н}}^{(r)}-\boldsymbol{Z}_{\text{к.к}}^{(r)}+\boldsymbol{Z}_{\text{н.к}}^{(r)}+\boldsymbol{Z}_{\text{к.н}}^{(r)}+\boldsymbol{Y}_r^{(-1)})^{-1};$$
$$\boldsymbol{g}_v^{(s)}=\boldsymbol{Z}_s^t(-\boldsymbol{Z}_{\text{н.н}}^{(s)}-\boldsymbol{Z}_{\text{к.к}}^{(s)}+\boldsymbol{Z}_{\text{н.к}}^{(s)}+\boldsymbol{Z}_{\text{к.н}}^{(s)}-\boldsymbol{Y}_s^{-1})^{-1};$$
$$\boldsymbol{Z}_{r(s)}=\boldsymbol{Z}_{\text{н}}-\boldsymbol{Z}_{\text{к}};$$

$\boldsymbol{Z}_{\text{н}}$ и $\boldsymbol{Z}_{\text{к}}$ — подматрицы матрицы $\boldsymbol{Z}$ размерностью $r\times n$, отражающие влияние задающих токов всех n узлов на напряжения соответственно начальных и конечных узлов r отключаемых или s включаемых ветвей; $\boldsymbol{Z}_{\text{н.н}}$, $\boldsymbol{Z}_{\text{к.к}}$, $\boldsymbol{Z}_{\text{н.к}}$, $\boldsymbol{Z}_{\text{к.н}}$ — подматрицы матрицы $\boldsymbol{Z}$ размерностью $r\times r$ (или $s\times s$), отражающие взаимное влияние нагрузок начальных и конечных узлов, инцидентных ветвям r (s); $\boldsymbol{Y}_{r(s)}$ — диагональная матрица проводимостей $r(s)$ ветвей.

Элементы матрицы $\boldsymbol{Z}$ после переключений определяются по формулам:

$$\boldsymbol{Z}^{(r)}=\boldsymbol{Z}+\boldsymbol{g}_v^{(r)}\boldsymbol{Z}_r;$$
$$\boldsymbol{Z}^{(s)}=\boldsymbol{Z}+\boldsymbol{g}_v^{(s)}\boldsymbol{Z}_s.$$

Токи ветвей после переключений определяются по закону Ома для участка цепи, содержащего э. д. с.:

$$\boldsymbol{I}^{(r)}=\boldsymbol{Y}^{(r)}(\boldsymbol{U}_{Bz}^{(r)}+\boldsymbol{E}^{(r)});$$
$$\boldsymbol{I}^{(s)}=\boldsymbol{Y}^{(s)}(\boldsymbol{U}_{Bz}^{(s)}+\boldsymbol{E}^{(s)}),$$

где $\boldsymbol{Y}^{(r)}$, $\boldsymbol{Y}^{(s)}$ — диагональные матрицы проводимостей; $\boldsymbol{U}_{Bz}^{(r)}$, $\boldsymbol{U}_{Bz}^{(s)}$ — падения напряжений в ветвях схемы замещения; $\boldsymbol{E}^{(r)}$, $\boldsymbol{E}^{(s)}$ — э. д. с. в этих ветвях. Все параметры в последних двух формулах соответствуют моделируемым состояниям включения s и отключения r ветвей.

Варианты переключений следующего уровня дерева вариантов генерируются с учетом всех возможных коммутаций за исключением состояний с потерей связности узлов сети и ПП, содержащие уже найденные ПП-кандидаты.

Изменения вводимых в допустимую область параметров режима оцениваются по чувствительности к моделируемым переключениям. В качестве критерия оценки i-го параметра (Π_i) к УВ принято выражение [12]:

$$l=|\Pi_i-\Pi_i'|(|\Pi_i|-K_{\text{доп}\,i}\Pi_{\text{доп}\,i})^{-1},\qquad(1)$$

где Π_i', $\Pi_{\text{доп}\,i}$ — значения i-го параметра после переключения и допустимое; $K_{\text{доп}\,i}$ — коэффициент изменения допустимости i-го параметра, позволяющий искать снижение искомого (повышение тяжести нормального) режима.

Так как l — это относительное изменение превышения параметром режима допустимого значения, по (1) можно сделать вывод о чувствительности ветви с перегрузкой или узла с недопустимым напряжением к моделируемому переключению любой ветви.

В зону влияния на параметр режима, превышающий допустимый предел, входит множество ветвей сети, выбранных по превышению порога чувствительности (ПЧ). Если параметров с превышением допустимого предела несколько, тогда получаем соответственное число зон влияния. Объединением зон влияния и множеств входящих в них элементов получаем множество предполагаемых кандидатов (ПК) на переключение. Исследования на участке энергосистемы (рис. 1) показали, что зоны влияния могут пересекаться частично или не пересекаться.

Действительные кандидаты на переключение (ДК) отбираются из ПК проверкой последних на допустимость параметров режима и изменение ХАР. Анормальность режима характеризует совокупность элементов и соответствующие им параметры режима, превышающие допустимые пределы. Если число параметров режима, превышающих допустимые пределы, в исходном послеаварийном или моделируемом состоянии равно единице, например, перегружается только одна ветвь, то ХАР для этого режима будет численно равна нагрузке в этой ветви относительно своего длительно допустимого значения.

Для нескольких ветвей (в экспериментах для 3—6) в качестве предельного допускается наименьшее из двух значений — кратковременно допустимого тока или тока срабатывания релейной защиты. Моделируемый режим характеризуется, как и в [6, 7], суммой превышений параметрами режима допустимых пределов. Но в данной разработке суммируются относительные значения. Это расширяет возможности поиска решения, позволяя снижать анормальность режима одновременно по всем недопустимым параметрам, например, токам и напряжениям. Все параметры выравниваются по своей значимости по отношению к ХАР приведением диапазонов допустимости изменения параметров (разности кратковременно и длительно допустимых пределов) к среднему диапазону, например, токовому. Более того, значимость недопустимого параметра в ХАР может быть взвешена, например, по приближению к верхнему пределу допустимости.

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

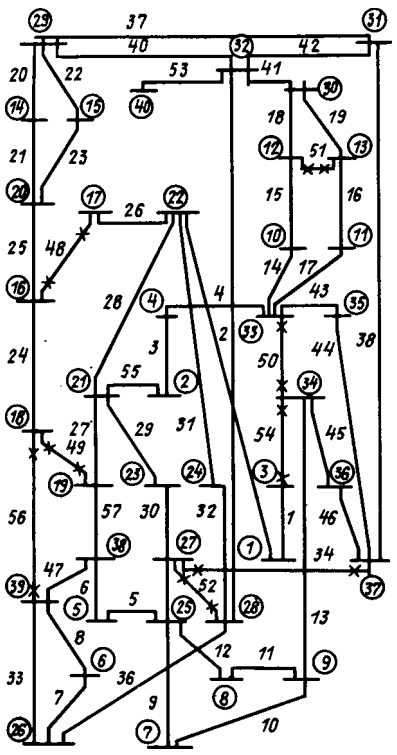

Рис. 1. Схема сети участка энергосистемы 110—500 кВ

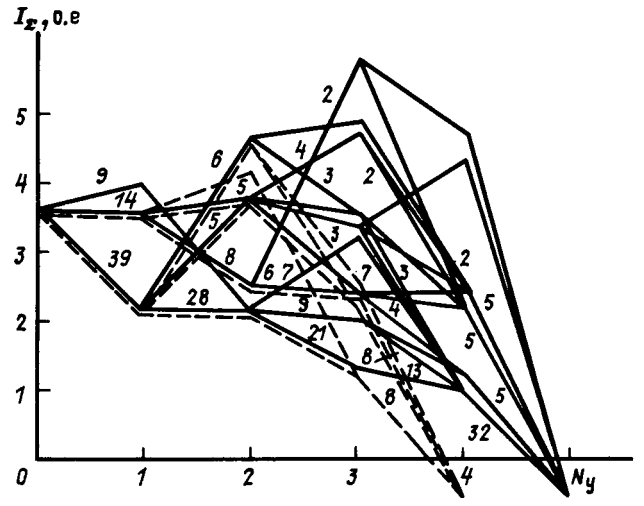

Рис. 2. Траектории сумм относительных нагрузок I_Σ в перегружаемых ветвях моделируемых коммутационных состояний рекомендуемых кандидатов в зависимости от номера уровня дерева вариантов N_y. Сплошной линией изображены траектории на 5 переключений, пунктирной — на 4. Цифрами отмечено число траекторий

На каждом уровне наращиваемого дерева вариантов ПП-ДК оцениваются по изменению траекторий ХАР. Траектории ХАР исследовались для фрагмента энергосистемы (рис. 1). Расчеты проводились с различными исходными коммутационными состояниями и тяжестью режима. Максимальное число переключений в ПП равно 5. Этого, как правило, достаточно для снижения перегрузок в реальной энергосистеме. Порог чувствительности (ПЧ) принимался одинаковым для всех уровней дерева вариантов. В допустимую область вводились токи ветвей, напряжения ограничивались допустимыми пределами. ХАР представлена как сумма нагрузок относительно длительно допустимых пределов в перегружаемых ветвях. На рис. 2 для одного из расчетов приведены траектории ХАР коммутационных состояний ПП с 4 и 5 переключениями. Показатели изменений траекторий рекомендаций — кандидатов (РК), устраняющих перегрузки, приведены в табл. 1. Число РК для ПП с длиной в 4—5 переключений определяется числом траекторий не более, чем с однократным ростом ХАР. Более половины всех траекторий не возрастает.

Результаты исследования вероятностных характеристик траекторий приведены в табл. 2. Сред-

Таблица 1

Число переключений в последовательности	Число траекторий			
	Всех	Без роста I_Σ	С ростом I_Σ	
			однажды	дважды
4	11	8	3	0
5	51	24	21	6
Σ	62	32	24	6

Таблица 2

Число переключений	1	2		3			4			
Номер переключения в ПП	1	1	2	1	2	3	1	2	3	4
Математическое ожидание, о. е.	0 / 3,54	4,67 / 3,40	0 / 3,07	2,60 / 3,33	1,65 / 3,11	0 / 2,84	3,18 / 3,34	2,34 / 3,11	1,56 / 2,92	0 / 2,70
Среднеквадратическое отклонение, о. е.	0 / 0,96	0 / 0,91	0 / 1,16	0,72 / 0,89	0,94 / 1,01	0 / 1,13	1,05 / 0,90	0,93 / 0,95	0,87 / 1,01	0 / 1,14
Коэффициент вариации	0 / 0,27	0 / 0,27	0 / 0,38	0,28 / 0,27	0,57 / 0,33	0 / 0,40	0,33 / 0,27	0,40 / 0,31	0,56 / 0,35	0 / 0,42
Число траекторий	0/15	1/162		31/1594			58/14964			

Примечание. В числителе приведены характеристики ПП — РК, в знаменателе — ПП — ДК.

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

ний предел перегрузки равен 1,45 о. е., наибольшее число перегрузок равно 4, ПЧ равен 0,3. Крутизна траектории математических ожиданий (МО) ХАР ПК значительно меньше крутизны траекторий МО ХАР РК. Отсев ПП по траекториям МО ХАР РК (см. табл. 3) позволяет многократно экономить время счета при потере только половины РК на четвертом уровне и 9,7 % РК на третьем. Заметим, что все недополученные РК имеют максимальные ХАР и количество (время) переключений. ПЧ взят равным 1,1 (кроме уровня 4, где он равен 1,0). Исходный послеаварийный режим для сети, представленной на рис. 1, характеризуется перегрузкой ветвей 3,4 и 13, нагрузка которых составляет соответственно 1,03, 1,35 и 1,26 о. е. В результате проведения расчета с максимальным числом переключений в ПП, равным 4, найден один РК на 2 переключения (отключение ветви 42, включение ветви 52), 31 РК на 3 переключения и 44 на 4. В табл. 4 перечислены номера переключаемых ветвей каждого из указанных РК на 3 и 4 переключения. Включение или отключение ветви однозначно определяется по ее состоянию в исходной схеме (алгоритм допускает только однократное переключение ветви). Номера переключаемых ветвей в РК отсортированы по возрастанию.

Таблица 3

№	Число кандидатов по уровням					Время счета, о. е.
	1	2	3	4	Σ	
1	0/11	1/65	31/303	44/0	76/379	6,3
2	0/5	1/22	28/38	23/0	52/65	1,0

Примечание. В числителе данные по РК, в знаменателе по ДК

Траектории второго расчета отсеивались по полученным в первом расчете траекториям МО ХАР РК: 3,24 о. е.— для 1-го уровня, 2,65 о. е.— для 2-го, 1,36 о. е.— для 3-го. Результаты показывают, что близкие к оптимальным РК можно искать отсевом ПК по МО ХАР РК, траектория которых приближенно аппроксимируется прямой. Начальная ордината прямой определяется по МО ХАР ПК/ДК на 1—2 переключения из послеаварийного состояния. Конечная ордината, соответствующая максимальному числу переключений в ПП, например 5, меньше или равна единице.

Эффективность алгоритма определяется значением ПЧ. Для оптимального ПЧ при наименьших вычислительных затратах можно получить наибольшее количество РК. Результаты исследования эффективности алгоритма при одинаковом на всех уровнях ПЧ показаны на рис. 3. Эффективность алгоритма определялась по выражению

$$Э = \sum_{i=1}^{N_у} \frac{N_{рi} K_i}{(N_{кi} + N_{рi}) K_i} \sum_{i=1}^{N_у} \frac{N_{рi} K_i}{N_{р\,max\,i} K_i}, \qquad (2)$$

где $N_у$ — число уровней перебора; $N_р$, $N_к$ — соответственно число РК и ПК; $N_{р\,max}$ — максимальное количество РК (при ПЧ→0); K — коэффициент значимости реализаций для энергосистемы, обратно пропорциональный среднему времени производства всех переключений в последовательности; i — индекс, равный номеру уровня дерева вариантов; K_i принимает значения 1,0, 0,5, 0,33, 0,25 соответственно для 1-го, 2-го, 3-го, 4-го уровней.

Левый сомножитель в (2) отражает эффективность алгоритма, правый корректирует ее по отношению к достижимому максимуму числа РК (взвешивает по этому максимуму).

Таблица 4

№ РК	Номера ветвей ПП РК для числа переключений							№ РК	Номера ветвей ПП РК для числа переключений						
	3			4					3			4			
1	3	34	45	4	15	34	54	23	5	52	54	17	18	38	52
2	3	34	46	15	17	34	45	24	6	52	54	17	18	46	52
3	34	43	50	15	16	46	52	25	10	52	54	17	18	50	52
4	34	44	45	15	16	50	52	26	11	52	54	17	18	52	54
5	34	44	46	15	16	52	54	27	40	52	54	4	19	46	52
6	34	45	50	15	17	38	52	28	44	52	54	14	19	38	52
7	34	45	55	15	17	46	52	29	52	54	55	14	19	46	52
8	34	46	55	15	17	52	54	30	3	34	54	14	19	50	52
9	44	46	52	15	51	52	54	31	34	43	54	14	19	52	54
10	3	38	52	4	16	34	54	32				14	17	38	52
11	3	46	52	14	16	34	45	33				4	41	46	52
12	3	52	54	14	16	38	52	34				45	50	52	54
13	28	46	52	14	16	46	52	35				4	43	46	52
14	28	52	54	14	16	52	54	36				29	50	52	54
15	4	38	52	16	51	52	54	37				30	50	52	54
16	38	52	55	34	40	45	48	38				31	50	52	54
17	41	50	52	34	40	46	48	39				32	50	52	54
18	41	52	54	28	38	44	52	40				46	50	52	54
19	43	52	54	40	46	48	52	41				5	45	52	55
20	46	52	55	3	5	45	52	42				6	45	52	55
21	2	52	54	3	6	45	52	43				5	34	54	55
22	4	52	54	4	18	46	52	44				6	34	54	55

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

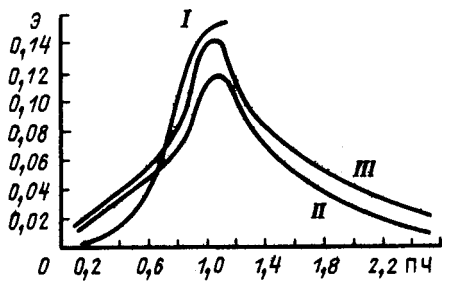

Рис. 3. Зависимость эффективности поиска последовательностей переключений $Э$ с глубиной в два (I), три (II) и четыре (III) уровня от порога чувствительности отбора предполагаемых кандидатов ПЧ

Кривые эффективности поиска ПП (рис. 3) построены для исходного состояния участка сети энергосистемы (рис. 1) с вышеуказанными параметрами начального режима и алгоритма и соответствуют глубине перебора на 2, 3, 4 переключения. При ПЧ→0 доминирует левый сомножитель в (2), при ПЧ→$ПЧ_{max}$ — правый. $ПЧ_{max}$ — максимальный порог, при котором еще можно получить хотя бы одно решение. Для двухуровнего перебора $ПЧ_{max}=1{,}2$; для трех- и четырехуровнего — 6,2.

Обобщая полученные результаты, можно заключить, что оптимальный по эффективности ПЧ или зона его оптимальности существуют для каждого уровня дерева вариантов, и эти зоны пересекаются в значительной степени. Это обстоятельство позволяет искать переключения по порогу, близкому к оптимальному ПЧ, определяемому на первых уровнях и корректируемому на последующих уровнях дерева вариантов. Поиск ПП с оптимальным ПЧ или ПЧ из зоны оптимальности позволяет в условиях послеаварийного режима наиболее эффективно определять РК, близкие к оптимальным.

Выводы. 1. Методами ввода режима в допустимую область путем изменения коммутационных состояний сети, предложенными в [1—8], можно получить в лучшем случае одну последовательность переключений, а методом, предложенным в данной статье,— несколько последовательностей, близких к оптимальной.

2. Последовательности переключений предлагается формировать по аппроксимации траекторий математических ожиданий характеристик анормальности режима коммутационных состояний.

3. Порог чувствительности параметров режима, превышающих допустимые пределы, к переключениям определяется эффективностью поиска и выбирается в зависимости от глубины дерева вариантов.

Приложение. Сокращения, используемые в статье:

ВРДО — ввод режима в допустимую область; УВ — управляющие воздействия; ПП — последовательность переключений; ЛП — линейное программирование; ИС — индекс состояния; ХАР — характеристика анормальности режима; ПЧ — порог чувствительности; ПК — предполагаемый кандидат; ДК — действительный кандидат; РК — рекомендация — кандидат; МО — математическое ожидание.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Makram E. B., Thornton K. P., Brown H. E.** Selection of lines to be switched to eliminate overloaded lines using a Z-matrix method.— IEEE Trans. on Power Systems, 1989, vol. 4, N 2, pp. 653—661.

2. **Mazi A. A., Wollenberg B. F., Hesse M. H.** Corrective control of power system flows by line and bus-bar switching.— IEEE Trans. on Power Systems, 1986, vol. 1, N 3, pp. 258—265.

3. **Koglin H. J., Muller H.** Corrective switching: a new dimension in optimal load flow.— Electric Power and Energy Systems, 1982, vol. 4, N 2, pp. 142—149.

4. **Glavitch H.** Switching as means of control in the power system.— Electric Power and Energy Systems, 1985, vol. 7, N 2.

5. **Glavitch H., Bacher R.** Network topology optimization with security constraints.— IEEE Trans. on Power System, 1986, vol. 1, N 4, pp. 103—111.

6. **Bakirtzis A. J., Sakis Meliopoulos A. P.** Incorporation of switching operations in power system corrective control computations.— IEEE Trans. on Power Systems, 1987, vol. 2, N 3, pp. 669—676.

7. **Power** system remedial action methodology / A. P. Sakis Meliopoulos, G. Contaxis, R. R. Kovacs et al.— IEEE Trans. on Power Systems 1988, vol. 3, N 2, pp. 500—509.

8. **Bacher R., Glavitch H.** Loss reduction by network switching.— IEEE Trans. on Power Systems, 1988, vol. 3, N 2, pp. 447—454.

9. **Фокин Ю. А., Хозяинов М. А.** Разработка алгоритма оперативных переключений в электрических системах с использованием ЭВМ.— Изв. вузов. Электромеханика, 1988, № 9.

10. **Фокин Ю. А.** Вероятностно-статистические методы в расчетах систем электроснабжения.— М.: Энергоатомиздат, 1985.

11. **Фокин Ю. А., Хозяинов М. А.** Повышение надежности и живучести сложных сетей электрических систем введением ЭВМ в цикл оперативных мероприятий, предотвращающих развитие аварии.— В сб.: Экономия электроэнергии в электроэнергетических системах. М., МЭИ, 1988, вып. 187.

12. **Фокин Ю. А., Хозяинов М. А.** Метод поиска целесообразной топологии при планировании режимов распределительных сетей.— Тр. / Моск. энерг. ин-т, 1989.

[18.05.90]

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

Автор и название статьи	№ журнала	Стр.
при численном интегрировании дифференциальных уравнений линейных электрических цепей	11	49
Ким К. К. Регулирование питающего напряжения индукционного ускорителя при минимизации его длины и времени разгона	11	59
Петленко Б. И., Дергачев А. Е. Оптимизация комбинированного электромагнитного экрана по массе	11	62
Власов С. П. К вопросу определения мощности потерь в активном многополюснике, обусловленной токами нагрузочных ветвей	11	65
Исхаков А. С., Обухов С. Г., Ушаков А. В. Управление внешней характеристикой источника электропитания	11	67
Миронов В. Г., Стахив П. Г. Перспективы использования диакоптического подхода при анализе динамических режимов электрических цепей	12	50
Кудряшева Ж. Н., Никонов А. И. Численное решение задачи магнитостатики для области с профилированным магнитопроводом и подвижным элементом	12	75
Головлева В. К., Редькин Г. А. Математическая модель поля электродегидратора	12	76
ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ		
Тареев Б. М., Месенжник Я. З., Прут Л. Я., Старков С. Т. Влияние длительной эксплуатации полимидно-фторопластовой изоляции в термобарических условиях на ее электрическую прочность	4	74
Соловьев Ю. А., Сорокин С. Б. Радиационно-стимулированный акустический отклик электроизоляционных материалов	5	76
Казанчян Г. П., Ликах С. Ф. Барьеры с повышенной диэлектрической проницаемостью в полимерной монолитной электрической изоляции	6	65
Панькин В. М. Аппроксимация усредненной кривой намагничивания электротехнической холоднонакатанной анизотропной стали	6	68
Ершов Р. Е. Зависимость потерь на гистерезис в ферромагнетике от амплитуды магнитной индукции	8	74
Ермуратский П. В., Тареев Б. М. Взаимно-матричные модели неоднородных структур	8	77
Маслов В. В., Ртищев О. Ю., Строганов А. А. Расчет поглощенной энергии при взаимодействии электромагнитного излучения в диапазоне 0,01—10,0 МэВ с электроизоляционным материалом	9	57
Божко И. В., Примак А. В., Фальковский Н. И., Троицкий С. Р. Поверхностная электрическая прочность твердых диэлектриков при высоких температурах	9	76
Месенжник Я. З., Прут Л. Я., Гнедин А. А., Бугрова Л. Д. Исследование аварийно-профилактических ремонтов изоляции электропогружных установок для добычи нефти в условиях Западной Сибири	10	84
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА		
Баринов В. А., Совалов С. А. Развитие методов управления режимами электроэнергетических систем	1	1
Джагаров Н. Ф. Расчет переходных процессов в электрических системах со сложной структурой сети	1	9
Гуревич Ю. Е., Файбисович Д. Л., Хвощинская З. Г. Особенности электроснабжения промышленных предприятий с непрерывными технологическими процессами	1	16
Ольшванг М. В., Рычков Е. В., Ананиашвили К. Е., Чуприков В. С. Фильтрокомпенсирующие цепи статических компенсаторов	1	23
Вещиков В. А., Асамбаев С. Н., Маналь Заки. Разработка показателей быстрых оценок динамической устойчивости электрических систем	1	55
Левиуш А. И., Катунян В. И. Исследование на математической модели параметрического резонанса на второй гармонике для анализа релейной защиты ВЛ	1	57
Шевченко А. Т. Обоснование схемы выдачи мощности электростанций	2	14
Наймарк Г. В. Коммутация разрядника с искажением поля	2	55
Шумский А. Л. Упрощенные дифференциальные защиты с магнитодиэлектрическими трансреакторами для автономных электроустановок	2	58
Левиуш А. И., Катунян В. И., Травина Ю. Я. Физическое моделирование параметрического резонанса на второй гармонике для анализа работы релейной защиты ВЛ	2	64
Преображенский А. С., Сариев И. С., Топельберг В. В. Анализ пусковых режимов работы электропередачи постоянного тока с автономным инвертором напряжения	2	67
Глазунов А. А., Таслимов А. Д. Унификация сечений токоведущих жил кабелей городских распределительных электрических сетей	3	1
Левиуш А. И., Ужегов В. Т., Катунян В. И. Математическое моделирование реле направления мощности обратной последовательности для исследования его поведения при параметрическом резонансе в сети СВН	3	6

Волгоградская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

Автор и название статьи	№ журнала	Стр.
Богатырев Л. Л., Паздерин А. В. Применение метода наименьших квадратов для решения задач АСДУ энергосистемами	3	11
Кириевский Е. В., Михайлов В. В., Ханжиев А. С. Перспективы построения гибких релейных защит с перестраиваемой архитектурой для автономных энергосистем	3	18
Азизов Э. А., Лотоцкий А. П. Структура и оптимальные параметры секционированных индуктивных накопителей для импульсного питания больших магнитов	3	25
Абдул-заде В. М., Алиев Д. Г., Гусейнов А. М. Выбор настроек АРВ генераторов по результатам анализа статической устойчивости энергосистемы	3	54
Смирнов К. А. Упрощенный метод расчета статической устойчивости сложных электроэнергетических систем	3	58
Жуков В. В. Учет комплексной нагрузки при расчете токов коротких замыканий в электроустановках высокого напряжения	3	63
Чуприков В. С. Управление статическим тиристорным компенсатором для линий электропередач	4	1
Саушев А. В. Метод построения границы области работоспособности электротехнических объектов	4	14
Азизов Э. А., Иванов И. А., Лотоцкий А. П. Каскадные системы с индуктивными накопителями	4	35
Захаркин О. В., Путилова А. Т. Экспресс-оценка статической устойчивости линий в сложной электроэнергетической системе	4	59
Дударев Л. Е., Волошек И. В. К анализу переходных процессов в сети с изолированной нейтралью	4	61
Филиппова Т. А., Азаров В. С. Потери электроэнергии от транзитных перетоков в электрических сетях	4	64
Мусаелов В. С., Рощин Г. В., Штробель В. А. Методика расчета частотных характеристик сложных электроэнергетических систем	4	67
Богатырев Л. Л. К вопросу оценки и обеспечения надежности крупных энергообъединений	5	1
Фокин Ю. А., Харченко Т. П. Анализ функциональной надежности сложных систем электроснабжения	5	9
Тарасов В. И., Слободской А. М. Расчет установившихся режимов электроэнергетических систем методом минимизации	5	16
Пляшкевич Л. Н., Шувалов А. М., Брагин Ю. Б. Электрическое моделирование магнитокумулятивного генератора	5	21
Кушнир Г. З. Определение пунктов контроля напряжения в электрической сети	5	54
Александров Г. Н., Кадзов Г. Д., Иванов О. П. Защитные характеристики молниеотводов с развитой вершиной	6	1
Астафьев А. М., Курносов А. И. К выбору класса напряжения ВЛ УВН	6	7
Шкарин Ю. П. Метод расчета уровня радиопомех от линий низкого напряжения, имеющих пересечение с коронирующей линией высокого напряжения	6	12
Ершевич В. В., Антименко Ю. Л. Фактические темпы роста электропотребления	6	49
Потребич А. А. Расчет потерь энергии в электрических сетях с учетом графиков нагрузок	6	52
Турты М. В. Работы индуктивного накопителя на индуктивную нагрузку в схеме с рекуперацией энергии	6	63
Веников В. А., Тюханов Ю. М. Кибернетическое моделирование систем электроснабжения	7	2
Хмельник С. И. Моделирование оптимального регулирования активной мощности энергосистем с помощью электрических цепей	7	8
Строев В. А., Унгер А. П., Шаров Ю. В. Пути повышения вычислительной эффективности расчетов переходных процессов сложных электроэнергетических систем	7	13
Ожеховский Т., Родина Л. С. О регулировании реактивной мощности синхронных двигателей на промышленных предприятиях	7	61
Гусейнов А. М. Метод оперативной оценки допустимости асинхронных режимов по межсистемной связи	8	1
Бердников В. И., Бучинский А. Л., Гамм А. З., Герасимов Л. Н., Константинов Б. В. Алгоритмы достоверизации измерений и оценивания состояния электроэнергетических систем	8	12
Керезов Р. Й. Определение стационарной надежности сложных электроэнергетических систем методом Монте—Карло	8	68
Сопьяник В. Х., Силаков Е. П. Переходные и установившиеся процессы в токовых цепях устройств релейной защиты с каскадными двухступенчатыми трансформаторами тока	9	7
Гедзюн В. А., Ермолина Э. И., Ковалевская О. Г., Розин И. Т., Семенов А. И., Харитонов Е. В. Термоупругие напряжения и тепловой пробой второго рода в высоковольтных высокочастотных керамических конденсаторах	9	20
Ершевич В. В., Антименко Ю. Л. Перспективы объединения энергосистем СССР и США	9	25

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

Автор и название статьи	№ журнала	Стр.
Никитин А. А., Поляков В. Е. Повышение динамической устойчивости работы защиты конденсаторной батареи	9	62
Винославский В. Н., Почтарь Г. М. Выбор экономических сечений проводов и кабелей линий распределительных электрических сетей при ограничениях при потере напряжения	9	66
Праховник А. В., Волошко А. В. Способ определения характеристик электропотребления	9	69
Лямец Ю. Я. Обратная последовательность в трехфазной симметричной коммутируемой системе	9	88
Соколов Н. И. Влияние статических источников реактивной мощности и сверхпроводящих индуктивных накопителей на устойчивость параллельной работы генераторов в простой схеме	10	1
Сидоров А. И., Петров О. А., Ушаков И. М. Погрешности косвенного метода измерения емкостных проводимостей относительно земли в электрических сетях напряжением 6—10 кВ	10	33
Ройтельман И. Г., Чешенков А. Г., Шполянский О. Г. Оценивание состояния в электросетях напряжением 6—20 кВ	10	60
Плащанский Л. А., Артюх И. В. Рациональная структура системы электроснабжения подземных потребителей шахт с учетом надежности	10	63
Зельвянский А. Я., Мамошин Р. Р. Расчет средних потерь мощности в системе электроснабжения со стабилизатором напряжения	10	67
Баринов В. А., Гуров А. А., Корчак В. Ю., Маневич А. С., Митин Ю. В. Питание потребителей энергии с резкопеременной нагрузкой от электроэнергетических систем	11	1
Бушуев В. В., Калюжный А. Х., Кречмер Л. В., Шушуев А. А. Применение фазоповоротных устройств для упрощения потокораспределением в энергосистемах	11	6
Арутюнян А. А. Оценка потерь мощности в электросети по результатам вычислительного эксперимента	11	55
Строев В. А., Чехов В. И., Асланян С. К. Управление режимами электроэнергетических систем с помощью дискретных источников реактивной мощности	12	3
Анчарова Т. В., Тюханов Ю. М., Усихин В. Н. Оценка значений промышленных электрических нагрузок	12	9
Фокин Ю. А., Хозяинов М. А. Ввод режима электроэнергетических систем в допустимую область путем коррекции их схемы	12	14
Долин А. П., Козинова М. А. Методика расчета электродинамической стойкости жесткой ошиновки при неуспешных АПВ	12	20
Манусов В. З., Моисеев С. М. Вероятностное эквивалентирование параметров электрических систем в рамках корреляционного анализа	12	64
Сырых Н. Н. Периодичность технического обслуживания электротехнических устройств, находящихся в постоянной готовности	12	80

ТЕХНИКА ВЫСОКИХ НАПРЯЖЕНИЙ

Бургсдорф В. В. Параметры токов молнии и выбор их расчетных значений	2	19
Баранов М. И., Бондина Н. Н. Нестационарный поверхностный эффект в цилиндрических токопроводах с грозовым импульсом тока	2	61
Абрамов Н. Р., Кужекин И. П. К расчету нагрева стенок металлических объектов при воздействии на них молнии	5	56
Ярославский В. Н. О неравномерности амплитудно-частотных характеристик делителей высоких импульсных напряжений	5	59
Сухопаров Ю. Д., Сикорский В. И., Мирзабекян Г. З. Повышение эффективности электрофильтров с помощью высоковольтных вентилей	5	62
Гайворонский А. С., Ражанский И. М. Стримерные процессы при разрядах в воздухе	6	58
Базелян Э. М. Переходная характеристика короны при постоянном токе	6	60
Аджиев А. Х., Богаченко Е. М. Применение радиотехнических средств для оценки используемых в грозозащите параметров разрядов молнии	6	18
Александров Г. Н., Иванов В. Л., Афанасьев А. И. Разрядные характеристики опорных изоляционных конструкций ОРУ сверхвысокого напряжения	8	20
Немировский А. З., Поталицын Ю. Ф., Старобинец А. А. Особенности эрозии электродов при мегавольтном сильноточном разряде в элегазе	8	79
Сохранский А. С. О потерях мощности на местную корону в линиях электропередачи переменного тока	9	15
Васильев С. И., Ершов В. В., Комаров О. Л., Печерский О. П., Смирнов Л. В., Энгелько В. И. Коммутационный процесс в сильноточном двухзазорном газонаполненном разряднике с искажением поля	9	82
Набока Б. Г., Беспрозванных А. В., Гладченко В. Я. Методика измерения дифференциальных амплитудных спектров импульсов частичных разрядов	11	71
Григорьев И. Н. Выбор рациональной структуры источника питания с индуктивным накопителем энергии	12	79

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

Автор и название статьи	№ журнала	Стр.

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ

Касилов В. П. Определение механических характеристик волновых электрических машин — 1 — 46

Джендубаев З. Р. Основные уравнения асинхронного двигателя с двумя статорными обмотками — 1 — 51

Цуканов В. И., Георгиади В. Х. Коэффициенты вытеснения тока и проводимости пазового рассеяния с учетом зазора между стержнем обмотки и пазом ротора электрической машины — 1 — 67

Чабан В. И., Харченко Е. В., Козубаш В. И. Алгоритм расчета виброактивности ротора асинхронного двигателя — 1 — 71

Арутюнян М. В. Проектирование автономных асинхронизированных генераторов на базе серийных электрических машин — 2 — 30

Бобков Ю. А. Определение параметров компенсированных схем транспозиции проводников лобовых частей стержней статорной обмотки турбогенераторов — 2 — 34

Титко А. И. Электромагнитные процессы в концевых зонах мощных турбогенераторов при различных условиях экранирования — 2 — 46

Новожилов А. Н. Применение герконов для защиты асинхронных двигателей от витковых замыканий — 2 — 52

Сипайлов Г. А., Чучалин А. И., Матвеев А. М. Математическое моделирование электромашинного генератора импульсной мощности — 3 — 70

Челухин В. А. Экспериментальное исследование емкостного электродвигателя — 3 — 73

Попов В. И. Взаимоиндуктивные связи многофазных разнополюсных обмоток совмещенного магнитопровода — 4 — 19

Хуторецкий Г. М., Данилевич Я. Б. Турбогенераторы единой унифицированной серии мощностью 160—800 МВт 3000 об/мин — 4 — 29

Карпов Г. В. Экспериментальное определение характеристик гидрогенераторов при нагрузке — 5 — 30

Абрамович Б. Н., Коновалов Ю. В. Дополнительные потери активной мощности в синхронных двигателях при их работе в режиме компенсации реактивной мощности — 5 — 34

Казарян С. Л. О выборе однослойных цепных обмоток — 5 — 66

Данилевич Я. Б., Счастливый Г. Г., Титко А. И., Федоренко Г. М. Контроль и прогнозирование нагрузочных возможностей генераторов по реактивной мощности — 6 — 17

Антипов В. Н., Луткин Е. М. Компенсационные ограничения широкорегулируемых двигателей постоянного тока — 6 — 24

Кохреидзе Т. К. Устойчивость регулируемого бесконтактного асинхронного двигателя при малых моментах сопротивления — 6 — 70

Глинка Т. Электромагнитная связь обмоток якоря и возбуждения двигателей постоянного тока в переходных режимах — 7 — 65

Гольдин Л. С., Фикс В. Ш., Рипула В. Н. Экспериментальное исследование осевых электромагнитных сил в асинхронном электродвигателе — 7 — 72

Шерстюк А. Г. Поле рассеяния между полюсами осесимметричного индуктора — 7 — 74

Иванов А. А., Лозенко В. К. Алгоритмы управления и характеристики вентильного электродвигателя в режиме динамического торможения — 8 — 38

Талышинский И. Т., Хоборкова З. Ц. Метод расчета электромагнитных полей и сил, действующих на лобовые части обмоток неявнополюсных синхронных машин — 8 — 42

Бибер Л. А., Любарский Ю. Я., Надточий В. М., Цейтлин А. С. Экспертная система вибрационного контроля гидрогенератора — 8 — 48

Фильц Р. В. Численный метод алгебраизации уравнений Максвелла при расчетах полей в электрических машинах методом конечных разностей — 9 — 29

Грюнер А. И. Влияние магнитной цепи на электрические параметры короткозамкнутого ротора с глубокими пазами — 9 — 74

Ваксер Б. Д., Коган В. О., Решко Б. А. Снижение неравномерности электрического поля в межфазных зонах статорных обмоток высоковольтных электрических машин — 9 — 85

Чучалин А. И. Использование многозазорных конструкций импульсных генераторов дискового типа — 9 — 91

Иванов А. М., Поляшов Л. И., Шакарян Ю. Г., Блоцкий Н. М., Плотникова Т. В. Свойства и характеристики асинхронной машины при наличии компенсирующего устройства в цепи ротора — 10 — 9

Лубцанов А. А. К тепловому расчету погружных двигателей постоянного тока — 10 — 14

Пивоваров Л. В. Оценка качества и проектирования модуля бесконтактной трехфазной обмотки — 10 — 19

Клецель М. Я., Мусин В. В., Симонов С. Н., Поляков В. Е. Защита электродвигателей с фазочувствительной мажоритарной схемой и функциональным диагностированием — 10 — 27

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

Автор и название статьи	№ журнала	Стр.
Цой В. Н. Основные уравнения асинхронной гидродинамической машины с аксиальным расположением роторов	10	69
Сафонов Л. Н. К решению уравнения Лапласа в зазоре с одно- и двухсторонней зубчатостью произвольной периодической формы	10	80
Караваев В. Т. Бесконтактный совмещенный синхронный генератор	11	17
Лупкин В. М. Вопросы теории и расчет высокомоментных электромагнитных тормозов	11	25
Тозони О. В. Аналитическая модель электромагнитных процессов в линейном асинхронном двигателе	11	31
Дегтев В. Г. Обобщенная структурная модель многофазных обмоток электрических машин	11	40
Беседин Д. И., Новикова Е. А. Способ определения проводимостей рассеяния магнитной системы синхронной электрической машины с когтеобразными полюсами индуктора	12	43
Зубренков Б. И., Каплин А. И., Малышев В. С., Манюков М. Ф. Расчет вибраций асинхронного двигателя при пуске	12	60
Абрамов А. Д., Куделько А. Р. Однофазный асинхронный электродвигатель с повышенным пусковым моментом	12	70
Куракин А. С. Метод расчета магнитодвижущей силы зубцов редукторных электродвигателей	12	67

ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

Автор и название статьи	№ журнала	Стр.
Глебов Б. А. Двухтактные преобразователи напряжения с магнитными накопителями энергии	1	34
Венедиктов Г. Л. Расчет статических электромагнитных преобразователей числа фаз с дискретной системой симметрирования	1	63
Гринштейн Б. И., Тимошенко А. Л., Безуглый С. Л. Воздействие сетевых перенапряжений на высоковольтный тиристорный преобразователь	2	1
Беркович Е. И. Устойчивость замкнутой системы автоматического регулирования однофазного инвертора с самовозбуждением	2	8
Мерабешвили П. Ф., Кохреидзе Г. К. Математическое моделирование электромагнитных процессов в преобразовательной системе с трехфазным автономным инвертором тока	3	31
Белов Г. А. Динамические модели инвертирующего импульсного стабилизатора напряжения	4	48
Лутидзе Ш. И., Игнатов В. Е., Карлаш И. В., Носков В. Н. Экспериментальная модель трехфазного криотронного преобразователя на 50 Гц	4	55
Зборовский И. А. Шестифазный преобразователь с многофункциональным реактором	5	39
Быков Ю. М., Холодков Г. В. Модель машинно-вентильного источника постоянного тока на основе метода эквивалентного генератора	6	31
Бут Д. А. Трансформаторно-вентильные преобразователи с индуктивными фильтрами для автономных электроэнергетических установок	7	31
Пономарев И. Г. Метод глубокого секционирования с резервированием в полупроводниковой преобразовательной технике	7	41
Чванов В. А. Многомостовая вентильная цепь как элемент динамической системы	7	46
Покрывайло А. Д. Динамические характеристики высоковольтного преобразователя с прямоугольным промежуточным напряжением	7	52
Озеров Л. А., Разнополов О. А. Штессель Ю. Б. Синтез управления импульсным стабилизатором с двухзвенным фильтром на основе скользящих режимов	7	77
Белов Г. А. Исследования колебаний в импульсном стабилизаторе напряжения вблизи границы устойчивости	9	44
Чаплыгин Е. Е. Фазовое управление вентильными преобразователями на базе восьмиразрядных микропроцессоров	9	51
Хохлов Ю. И., Розкин В. О. Квазиустановившиеся электромагнитные процессы и характеристики двадцатичетырехфазного компенсированного преобразователя	10	48

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ И ТРАНСФОРМАТОРЫ

Автор и название статьи	№ журнала	Стр.
Жуков В. В., Далла А. Расчет сопротивления открытой электрической дуги	1	29
Койков С. Н., Мезенин О. Л., Михайлов В. А. Расчет тепловых характеристик конденсаторов при несинусоидальных напряжений с учетом температурно-частотной зависимости тангенса угла потерь	1	75
Строганов Б. Г., Чунихин А. А. Влияние внешнего магнитного поля на работу трансформатора тока	3	67
Коврижных М. Л., Шлейфман И. Л. Метод математического моделирования электрической дуги отключения, учитывающий искажение тока	4	8
Шаров Е. Т. Динамика четырехтактных электромагнитных трансформаторов постоянного тока	4	40
Губарев Г. Г., Конотоп В. В. Выбор параметров генератора импульсов для испытания трансформаторов и реакторов	4	69

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

Автор и название статьи	№ журнала	Стр.
Чабан В. И., Самотый В. В. Алгоритм расчета феррорезонансных режимов трехфазных трансформаторов	4	71
Поляк Ю. Я. О тепловом расчете токоведущей системы воздушного выключателя	5	64
Круликовски Ч., Каминьска—Пранке А. Теоретическая модель дуги, стабилизированной потоком газа в плазмотроне переменного тока	7	23
Васильев А. Б., Лурье А. И. Расчет магнитного поля осесимметричных обмоток трансформаторов и реакторов в полости прямоугольного сечения	8	30
Романов Ю. В., Шилин Н. В. Электрическая прочность дугового промежутка с учетом процессов установления тока	10	40
Бошняга В. А. Расчет несимметричных режимов работы фазорегулирующего трансформатора с соединением обмоток в зигзаг	11	11

ЭЛЕКТРОПРИВОД И АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА

Лищенко А. И. Пути повышения эффективности и надежности нерегулируемого электропривода газоперекачивающих агрегатов	2	41
Петров Ю. П. Исследование устойчивости систем управления при учете погрешностей измерительных приборов	3	43
Кухаренко Н. В. Модальное управление электроприводами постоянного тока	3	48
Соколов М. М., **Ринкевичене Р. В.** Электромеханические процессы в линейном электроприводе толкателя	3	75
Воронин С. Г. Синхронизация вращения роторов вентильных двигателей	4	31
Рубашов Г. М., Федорова А. Н., Цейтлин М. Г. Алгоритм решения уравнений синхронного двигателя при действии тиристорного автоматического ввода резерва	6	40
Курбасов А. С. Перегрузочная способность и особенности работы асинхронных частотно-регулируемых двигателей	6	45
Литовченко В. В. Устранение низкочастотной модуляции тока в асинхронном тяговом двигателе	6	73
Борцов Ю. А. Разработка и перспективы широкого внедрения адаптивных электроприводов	7	56
Хашимов А. А., Петрушин А. Д. Оптимизация динамических режимов частотно-управляемого асинхронного электропривода с учетом тепловых процессов	7	68
Никитин Б. А. Система «два генератора — двигатель переменного тока» и ее свойства	8	52
Петров Ю. П., Ярв Э. А. Оптимизация электроприводов с гибкими связями с учетом трения	10	73
Боровиков М. А., Доманов В. И., Нашатыркин В. Е. Следящий вентильный электропривод с вычислителями координат по сигналам датчика положения ротора	10	76
Гусяцкий Ю. М., Жуков С. В. Алгоритмы и структуры микропроцессорных систем управления асинхронным электроприводом	12	25
Никольский А. А. Математическая модель нелинейных явлений в пьезоэлектрических двигателях и датчиках	12	33
Лебедев А. С. Динамика двухзонного электропривода постоянного тока при оптимальном управлении	12	57

ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ ТРАНСПОРТА

Артюх А. Н., Косарев Б. И., Кушнир А. И., Добровольскис Т. П. Система тягового электроснабжения для электрифицированных железных дорог на участках со скалистыми и вечномерзлыми грунтами	2	24
Косарев Б. И., Фролов А. В., Шуров А. И., Силкин В. Н. Критерий регулирования компенсирующих установок в тяговых сетях 25 кВ	5	26
Котельников А. В. Показатели оценки источников блуждающих токов	8	25
Колоколов Ю. В. Формирование принципов построения релейно-импульсных регуляторов тока тяговых двигателей постоянного тока	9	35
Андерс В. И., Грапонов В. Г., Лопатин В. А. Аналитический расчет электромагнитных процессов в тяговом приводе переменного тока	12	38

ДИСКУССИИ

Цейтлин Л. А. Ответ авторского коллектива — по статье «О пересмотре ГОСТ 19880—74 и ГОСТ 1494—77» (1989, № 5)	2	88
Смирнов С. А. — по статье Иосифьяна А. Г. (1987, № 12)	2	90
Бут Д. А. Определение электромагнитных сил в нелинейной магнитной системе по натяжениям (к дискуссии по вопросу об электромагнитных силах в магнитном поле)	3	79
Гаспарян В. Р. — по статьям: Львова Е. Л. и др.: Иванова—Смоленского А. В. и др.; Ашмарина Д. Г. и др. (1988, № 9)	3	84
Хорьков К. А. — по статьям Львова Е. Л.; Иванова—Смоленского А. В. (1987, № 10)	3	86
Данилевич Я. Б., Николаиде А. — по статьям Львова Е. И. и Иванова — Смоленского А. В. (1987, № 9)	5	78
Гончаров В. И.— по статьям Иванова—Смоленского А. В. (1985, № 7) и Синельникова Д. Е. (1988, № 9)	5	84
Арешян Г. Л., Геруни П. М., Тарханян Р. Г., Терзян А. А.— по статье Иосифьяна А. Г. (1987, № 12)	5	86

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

Автор и название статьи	№ журнала	Стр.
Рашевиц К. К., Трейманис Э. П., Шинка Я. К. — по статье Косарева Б. И. и др. (1989, № 9)	5	88
Астахов Ю. Н., Черемисин Н. М. — по статье Лоханина А. К. и др. (1988, № 10)	7	87
Абрамкин Ю. В. О различных подходах к расчету объемной плотности электромагнитных сил в нелинейной магнитной системе	11	74
Львов Е. Л. Ответ автора	11	76
Иванов-Смоленский А. В. Сопоставление формул Максвелла с другими формулами для расчета электромагнитных сил в магнитном поле	11	87
ИЗ ИСТОРИИ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ		
Крыжановский Л. Н. Электрические машины в XVIII в.	1	90
Крыжановский Л. Н. Георг Симон Ом (К 200-летию со дня рождения)	3	88
Цверава Г. К. У истоков электротерапии	8	88
Крыжановский Л. Н. Джон Робисон — первооткрыватель «закона Кулона»	8	92
Хасапов Б. Г. Первые шаги электротехники в России	10	91
БИБЛИОГРАФИЯ		
Ерохов И. В. — рецензия на книгу избранных трудов Кирхгофа Г.	7	91
Нетушил А. В. К выходу в свет русского перевода трактата Максвелла	8	85
Михайлов О. П. Новый учебник по электротехнике	8	87
Бутырин П. А. — рецензия на книгу Речки А. «Теория матроидов и ее приложения в теории электрических цепей и в статике»	11	93
ХРОНИКА		
Корташев И. И., Никитин О. А. Технология электропередач ультравысокого напряжения (заседания Рабочей группы СИГРЭ и «круглого стола»)	4	84
Куликов С. Н., Сабинин Ю. А. Всесоюзное научно-техническое совещание «Проблемы управления промышленными электромеханическими системами»	4	86
В Центральном правлении ВНТОЭ	4	87
Альтшулер Э. Б., Богатенков И. М., Халилов Ф. Х. Проблемы надежности и безопасности электроснабжения северных районов страны (заседание секции IV Научного Совета АН СССР)	5	89
Александров Г. Н. Вторая всесоюзная научно-техническая конференция «Научно-технические проблемы создания электропередач переменного тока ультравысокого напряжения»	5	93
Иванов-Смоленский А. В., Амбарцумова Т. Т. Всесоюзная научно-техническая конференция «Современные проблемы электромеханики»	6	86
Макаршин Б. Д. VEB Kombinat Automatisierungsanlagenbau на Лейпцигской весенней ярмарке 1990 г.	6	88
Поляков М. А., Путятин Е. В. Координационное совещание по межвузовской целевой научно-технической программе «Экономия электроэнергии»	7	93
Ландер Л. А. VI Пленум ЦП ВНТОЭ им. академика Г. М. Кржижановского	8	95
ЮБИЛЕИ		
Иван Федорович Бородин (К 60-летию со дня рождения)	1	94
Георгий Николаевич Александров (К 60-летию со дня рождения)	2	91
Анатолий Владимирович Нетушил (К 75-летию со дня рождения)	3	91
Евгений Львович Львов (К 70-летию со дня рождения)	3	92
Геннадий Антонович Сипайлов (К 70-летию со дня рождения)	3	93
Памяти профессора Степана Петровича Киркесали (К 100-летию со дня рождения)	3	94
Лев Гразданович Мамиконянц (К 75-летию со дня рождения)	4	89
Игорь Владимирович Жежеленко (К 60-летию со дня рождения)	4	90
Эммануил Григорьевич Файнштейн (К 70-летию со дня рождения)	4	91
Василий Николаевич Винославский (К 70-летию со дня рождения)	5	95
Андроник Гевондович Иосифьян (К 85-летию со дня рождения)	6	90
Лев Александрович Цейтлин (К 80-летию со дня рождения)	6	92
Владимир Владимирович Бургсдорф (К 80-летию со дня рождения)	6	93
Игорь Александрович Будзко (К 80-летию со дня рождения)	6	94
Иван Николаевич Богаенко (К 60-летию со дня рождения)	7	95
Иван Михайлович Бортник (К 50-летию со дня рождения)	8	94
Рудольф Николаевич Карякин (К 60-летию со дня рождения)	9	94
Борис Григорьевич Меньшов (К 60-летию со дня рождения)	10	94
Савелий Романович Глинтерник (К 70-летию со дня рождения)	10	95
Памяти Степана Ивановича Тельного (К 100-летию со дня рождения)	11	95
НЕКРОЛОГИ		
Алексей Михайлович Федосеев	9	95

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru

СОДЕРЖАНИЕ

Юбилей МЭИ 1

Строев В. А., Чехов В. И., Асланян С. К. Управление режимами электроэнергетических систем с помощью дискретных источников реактивной мощности . . . 3

Анчарова Т. В., Тюханов Ю. М., Усихин В. Н. Оценка значений промышленных электрических нагрузок 9

Фокин Ю. А., Хозяинов М. А. Ввод режима электроэнергетических систем в допустимую область путем коррекции их схемы 14

Долин А. П., Козинова М. А. Методика расчета электродинамической стойкости жесткой ошиновки при неуспешных АПВ 20

Гусяцкий Ю. М., Жуков С. В. Алгоритмы и структуры микропроцессорных систем управления асинхронным электроприводом 25

Никольский А. А. Математическая модель нелинейных явлений в пьезоэлектрических двигателях и датчиках 33

Андерс В. И., Грапонов В. Г., Лопатин В. А. Аналитический расчет электромагнитных процессов в тяговом приводе переменного тока 38

Беседин Д. И., Новикова Е. А. Способ определения проводимостей рассеяния магнитной системы синхронной электрической машины с когтеобразными полюсами индуктора 43

Миронов В. Г., Стахив П. Г. Перспективы использования диакоптического подхода при анализе динамических режимов электрических цепей . . . 50

СООБЩЕНИЯ

Лебедев А. С. Динамика двухзонного электропривода постоянного тока при оптимальном управлении 57

Зубренков Б. И., Каплин А. И., Малышев В. С., Манюков М. Ф. Расчет вибраций асинхронного двигателя при пуске 60

Манусов В. З., Моисеев С. М. Вероятностное эквивалентирование параметров электрических систем в рамках корреляционного анализа 64

Абрамов А. Д., Куделько А. Р. Однофазный асинхронный электродвигатель с повышенным пусковым моментом 67

Куракин А. С. Метод расчета магнитодвижущей силы зубцов редукторных электродвигателей 70

Кудряшева Ж. Н., Никонов А. И. Численное решение задачи магнитостатики для области с профилированным магнитопроводом и подвижным элементом 75

Головлева В. К., Редькин Г. А. Математическая модель поля электродегидратора 76

Григорьев И. Н. Выбор рациональной структуры источника питания с индуктивным накопителем энергии 79

Сырых Н. Н. Периодичность технического обслуживания электротехнических устройств, находящихся в постоянной готовности 80

Указатель материалов, помещенных в журнале «Электричество» в 1990 г. 85

Алфавитный указатель авторов статей 93

CONTENTS

The Jubilee of the Moscow Power Institute 1

Stroyev V. A., Chekhov V. I., Aslanian S. K.— Control of Power System Operating Conditions Using Discrete Reactive Power Sources 3

Ancharova T. V., Tikhanov U. M., Usikhin V. N.— Estimation of Industrial Electrical Loads 9

Fokin U. A., Khosainov M. A.— Bringing Operating Conditions of Power System Into a Region of Permissible Values Through Correction of Their Scheme 14

Dolin A. P., Kozinova M. A.— A Way for Calculating the Electrodynamical Withstand of Rigid Buswork for Unsuccessful Automatic Reclosure Attempts 20

Gusiatsky U. M., Zhukov S. V.— Algorithms and Structures of Microprocesser Systems for Controlling an Asynchronous Drive 25

Nikolsky A. A.— A Mathematical Model for Non-Linear Phenomena in Piezo-Electric Motors and Sensors 33

Anders V. I., Graponov V. G., Lopatin V. A.— Analysis of Electromagnetic Processes in an AC Traction Drive 38

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 43

Mironov V. G., Stakhiv P. G.— Prospects for Employing the Diakoptic Approach in Analyzing Electric Circuit Dynamics 50

REPORTS

Lebedev A. S.— Dynamics of a Two-Zone DC Drive With Optimum Control 57

Zubrenkov B. I., Kaplin A. I., Malishev V. S., Maniukov M. F.— Calculation of Vibrations in an Induction Motor When Starting 60

Manusov V. Z., Moiseyev S. M.— Statistical Equivalence of Power System Parameters Within the Scope of Correlational Analysis 64

Abramov A. D., Kudelko A. R.— A Single-Phase Induction Motor With a High Starting Torque 67

Kurakin A. S.— A Method for Calculating the MMF of the Teeth in Reducer Motors 70

Kudriasheva Z. N., Nikonov A. I.— A Numerical Solution to the Magnetostatic Problem for an Area With a Profiled Magnetic Circuit and a Moving Element 75

Golovleva V. K., Redkin G. A.— A Mathematical Model for the Field in an Electric Dehydrator 76

Grigoriev I. N.— Selection of an Effective Structure for a Supply Source With an Inductive Energy Store 79

Syrikh N. N.— Maintenance Intervals for Electrical Apparatus Always Available for Service 80

Contents of the Journal "Electrichestvo" for 1990 . . . 85

Alphabetic List of Authors 93

Вологодская областная универсальная научная библиотека
www.booksite.ru