

ISSN 0013-5380



ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

1991

·ЭНЕРГОАТОМИЗДАТ·

6

или

$$A_{21} = 2(3,25 - 0,25 \cdot 5) = 4.$$

Ответ.

$$x(t) = 2e^{2t} + (3 + 4t + 5t^2) \cdot 1(t). \quad (39)$$

Примечание. При неединичном значении кратного полюса $\lambda_k \neq 1$ полином в круглых скобках умножается на $e^{k t}$, где $\lambda_k = \frac{1}{T_0} \ln \lambda_k$.

Пример № 5. Проверить правило восстановления числителя зет-изображения по известному знаменателю

$$Q[z] = (z - e)(z - 1)^3 = z^4 - (3 + e)z^3 + 3(1 + e)z^2 - (3e + 1)z + e \quad (40)$$

и четырьмя начальными дискретам, получаемым по огибающей

$$x(t) = 2e^{2t} + 3 + 4t + 5t^2 \quad (41)$$

через $T_0 = 0,5$ с (данные предыдущего примера).

Решение. Определяем начальные дискреты по (41):

$$x(0) = 2e^0 + 3 = 5;$$

$$x(T_0) = x(0,5) = 2 \cdot 2,71283 + 3 + 2 + 1,25 = 11,675;$$

$$x(2T_0) = x(1) = 2 \cdot 7,389 + 3 + 4 + 5 = 26,778;$$

$$x(3T_0) = x(1,5) = 2 \cdot 20,086 + 3 + 6 + 11,25 = 60,422.$$

Записываем (40) в форме полинома и умножаем его на ряд по отрицательным степеням z^{-1} :

$$(z^4 - 5,71283z^3 + 11,1385z^2 - 8,1385z + 2,71283) \cdot (\cdot) + (5 + 11,675/z + 26,778/z^2 + 60,422/z^3 = z(5z^3 - 16,9z^2 + 15,7z - 8,1).$$

Ответ. Решение совпадает с заданным в предыдущем примере полиномом $\mathcal{P}[z]$.

Выводы. 1. Проведенная систематизация преобразований сигналов их спектров и изображений, подчиненная принципам инвариантности, дает возможность отобразить все многообразие процедур в компактной форме.

2. Приведенные примеры показывают, что многие преобразования изображений сигналов удобнее проводить предлагаемыми нетривиальными методами.

3. Разработанные модели сигналов в фазовом и рекуррентном пространствах состояний (см. рисунки) наглядно иллюстрируют роль матрицы связей и начальных значений в формировании непрерывных и дискретизированных сигналов.

4. Область применения метода лямбда-оператора не ограничивается кругом задач данной статьи. Он эффективен при спектральном анализе сложных коммутируемых процессов на основе преобразования Фурье [3], преобразования Хартли [5] и других интегральных линейных операций.

5. Предлагаемая таблица переходов после замены ее ячеек формулами, приведенными в тексте статьи, может послужить хорошим методическим и справочным пособием.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шаталов А. С. Отображение процессов управления в пространствах состояний. — М.: Энергоатомиздат, 1986.
2. Шаталов А. С. Модальное пространство состояний электрических цепей с накопителями энергии. — Электричество, 1988, № 9.
3. Шаталов А. С. Дискретные и непрерывные спектры периодических коммутационных процессов. — Электричество, 1985, № 9.
4. Шаталов А. С. Преобразования сигналов и изображений их функций обобщенными линейными системами. — М.: Энергия, 1965.
5. Брейсуэлл Р. Преобразования Хартли. — М.: Мир, 1990.

[20.12.90]

Сообщения

УДК 621.316.37.014.36.001.24

К определению допустимых рабочих токов шин с болтовыми соединениями

ДОЛИН А. П., канд. техн. наук,
ПЛИС А. И., канд. физ.-мат. наук,
БЕССОНОВ С. А., инж.

Московский энергетический институт

В соответствии с ГОСТ 8024-84 [1] длительно допустимая температура $\theta_{\text{дол}}$ неизолированных проводников (шин) установлена равной 120 °С, а контактных соединений (например, болтовых) из алюминия или меди $\theta_{\text{доп.к}} = 90$ °С. Нормированное значение температуры окружающего воздуха θ_a принято равным 35 °С. Таким образом, расчетные перепады температур Θ между шиной и воздухом составляют: при отсутствии контактных соединений 85 °С, а при наличии контактов 55 °С.

Следует отметить, что в ПУЭ для всех неизолированных проводников принята единая допустимая температура 70 °С при температуре воздуха 25 °С и, следовательно, расчетный перепад температур 45 °С. Вместе с тем опыт эксплуатации шинных конструкций и токопроводов заводского изготовления, экспериментальные исследования и типовые испытания подтверждают их успешную работоспособность при расчетных перепадах температур и предельно допустимых значениях нагрева шин и контактов, установленных ГОСТ 8024-84.

В распределительных устройствах (РУ) сборные шины обычно имеют сварные соединения и только на ответвлениях для подключения к выводам аппаратов используют разъемные (болтовые) контакты. Поэтому целесообразно установить разную допустимую температуру ошиновки: для сборных шин — 120 °С, а для ответвлений — 90 °С вблизи болтовых контактов, но не более 120 °С в наиболее нагретых точках (у сборной шины). Такое решение позволяет повысить экономичность токопроводов и снизить расход цветных металлов. Вместе с тем при расчете нагрузочной способности токопроводов необходимо учитывать распределение температуры по длине ответвления.

Тепловые процессы в контактных соединениях, пути повышения допустимой температуры контактов рассматривались, например, в [2], вопросы нагрузочной способности шин — в [3, 4]; приближенные оценки распределения температуры по длине ответвления приведены в [5]. Ниже описана методика расчета профиля температуры ответвления в закрытых и открытых РУ, а также предлагается инженерная методика расчета нагрузочной способности токопроводов с ответвлениями.

Стационарное распределение температуры по длине шины удовлетворяет следующему дифференциальному уравнению

$$S \frac{d}{dx} (\lambda(\theta) \frac{d\theta}{dx}) = Q(\theta) - I^2 R_a(\theta), \quad (1)$$

где $\theta = \theta - \theta_a$ — перепад температур между шиной и воздухом, °С; θ — температура шины, °С; S — площадь поперечного сечения шины, м²; λ — теплопроводность материала шины, Вт/(м·°С); Q — тепловой поток с поверхности 1 м длины шины, Вт; I — действующее значение тока, А; R_a — активное сопротивление шины на единицу длины, Ом; x — координата вдоль шины, м.

Для упрощения расчета (без существенной погрешности) можно не учитывать влияние теплоотдачи с поверхности сборной шины и болтового соединения на тепловой поток ответвления, который можно представить в виде

$$Q = Q_k + Q_a - Q_c, \quad (2)$$

где Q_k и Q_a — тепловые потоки, обусловленные конвекцией и излучением (лучеиспусканием); Q_c — тепловой поток, поглощаемый шиной при солнечной радиации.

Для обобщенных характеристик теплоотдачи конвекцией в воздухе используются критериальные зависимости вида $Nu = f(Gr, Re)$, где Nu — число Нуссельта; Gr, Re — числа Грасгофа и Рейнольдса [6, 7].

Тепловой поток конвекцией определяется выражением

$$Q_k = Nu \lambda_a F_k \Theta / D,$$

где λ_a — удельная теплопроводность воздуха, Вт/(м·°С); D — характерный размер (например, внешний диаметр), м; F_k — площадь конвектирующей поверхности, м².

Например, для трубчатых (круглых) шин тепловые потоки (на 1 м длины) приводятся к виду [4, 6—8]:

при свободной конвекции в закрытом РУ (ЗРУ)

$$Q_k = 0,46 \pi \lambda_a \left(\frac{g}{T_a \nu^2} \right)^{0,25} D^{0,75} \Theta^{1,2}; \quad (3a)$$

в открытом РУ (ОРУ) с учетом вынужденной конвекции при скорости ветра, близкой к нулю (штиль)

$$Q_k = 1,61\pi D^{0,75} \theta^{1,3}, \quad (36)$$

в ОРУ при вынужденной конвекции и скорости ветра (направленной перпендикулярно шине) свыше 0,6–2 м/с

$$Q_k = 0,281\pi (VD/v)^{0,6} \lambda_a \theta, \quad (37)$$

Здесь g — ускорение свободного падения, м/с²; $T_a = \theta_a + 273$ — термодинамическая температура воздуха, К; ν — кинематическая вязкость воздуха, м²/с; V — скорость ветра, м/с.

Теплоотдача излучением равна

$$Q_a = \epsilon c_0 [(T/100)^4 - (T_a/100)^4] F_a, \quad (4)$$

где ϵ — степень черноты поверхности шины; $c_0 = 5,67$ — излучающая способность абсолютно черного тела, Вт/(м²·К⁴); $T = \theta + 273$ — термодинамическая температура шины, К; F_a — площадь излучающей поверхности, м². Для круглых шин $F_a = \pi D$ (на 1 м длины).

Поток, поглощаемый цилиндрической поверхностью при солнечной радиации, составляет

$$Q_c = a_c q_s D, \quad (5)$$

где a_c — коэффициент поглощения солнечной радиации; q_s — интенсивность радиации, Вт/м².

Коэффициенты ϵ и a_c зависят от материала шин и состояния их поверхности. Они существенно изменяются при окислении поверхности и окраске шины. Значения ϵ и a_c приводятся, например, в [4, 8]. Интенсивность солнечной радиации зависит от широты местности, времени года, суток, состояния атмосферы. Наибольшие значения q_s на территории страны достигают 900–950 Вт/м².

Активное сопротивление шины, Ом, на один метр длины определяется по формуле

$$R_a = k_a R = k_a \frac{\rho_0}{\gamma} [1 + \alpha_p (\theta - \theta_0)], \quad (6)$$

где k_p — коэффициент поверхностного эффекта; R — сопротивление шины постоянному току при температуре θ , Ом; ρ_0 — удельное электрическое сопротивление при температуре θ_0 , Ом·м; α_p — температурный коэффициент электрического сопротивления в интервале температур от θ_0 до $\theta_{доп}$, 1/°С.

Коэффициент поверхностного эффекта зависит от формы и основных размеров поперечного сечения шины. Например, для трубчатых шин этот коэффициент примерно равен [9]

$$k_p \approx 1 + 3,3 \cdot 10^{-10} \left(\frac{t}{DR}\right)^2, \quad (7)$$

где t — толщина стенки шины, м.

Зависимость удельной теплопроводности материала шины от температуры приближенно описывается следующей формулой:

$$\lambda \approx \lambda_0 [1 + \gamma (\theta - \theta_0)], \quad (8)$$

где λ_0 — удельная теплопроводность при температуре θ_0 ; γ — температурный коэффициент теплопроводности, 1/°С.

Коэффициент γ алюминиевых сплавов, используемых для изготовления шин, лежит в пределах $\pm 0,0004$ [8]. Следовательно, удельная теплопроводность изменяется по длине отведения (при температурах по концам проводника, равных 120 и 90 °С) менее чем на 1,5 %. Поэтому при решении уравнения (1) удельную теплопроводность шины целесообразно принять постоянной, не зависящей от температуры.

Для расчета профилей распределения температуры вдоль шины уравнение (1) необходимо дополнить граничными условиями. В месте контакта отведения и сборной шины ($x=0$) температура проводника задается своим максимальным значением θ_{max} (равным 120 °С), так что граничное условие при $x=0$ принимает вид

$$\theta|_{x=0} = \theta_0 = \theta_{max} - \theta_b, \quad (9)$$

Граничное условие на правом конце шины (отведения) зададим исходя из следующих соображений. Если шина достаточно длинная, то распределение температуры в точках, далеких от узла крепления к сборной шине, практически не зависит от координаты x и, следовательно, определяется как решение трансцендентного уравнения

$$Q(\theta) = I^2 R(\theta), \quad (10)$$

Обозначая эту температуру θ_∞ , запишем второе граничное условие для уравнения (1) в виде

$$\theta|_{x=\infty} = \theta_\infty. \quad (11)$$

Остановимся подробнее на уравнении (1). Теплопроводность материала, как указывалось выше, можно принять не зависящей от температуры. Зависимость удельного сопротивления от температуры в рассматриваемом диапазоне θ носит линейный характер и поэтому легко может быть учтена в расчетах. Гораздо сложнее учет слагаемого $Q(\theta)$, описывающего тепловой поток шины. Это слагаемое существенно нелинейно, что не позволяет надеяться на получение точного аналитического решения.

Решение нелинейной краевой задачи (1), (9), (11) в достаточно широком диапазоне параметров шины можно провести численным методом, основанным на разностной схеме

$$\frac{\theta_{i-1} - 2\theta_i + \theta_{i+1}}{h^2} = Q(\theta_i) - I^2 R_a(\theta_i),$$

где h — шаг равномерной сетки $x_i = h(i-1)$.

Решение нелинейного разностного уравнения проводилось методом Ньютона (линеаризации). Для величины поправки $\Delta\theta_i$ в каждой точке сетки получаем следующую систему разностных уравнений

$$\begin{aligned} \Delta\theta_i^{j+1} - (2 + h^2 \frac{d^2 Q}{d\theta^2}) \Delta\theta_i^j + \Delta\theta_{i+1}^j = \\ = -h^2 \frac{d^2 Q}{d\theta^2} \Delta\theta_i^j, \quad i=2, \dots, N-1, \end{aligned} \quad (12)$$

где $\theta_1 = 0$; $\Delta\theta_N = 0$; $j = Q(\theta_i) - I^2 R_a(\theta_i)$.

Система уравнений (12) на каждой итерации s решается стандартным методом прогонки. В вы-

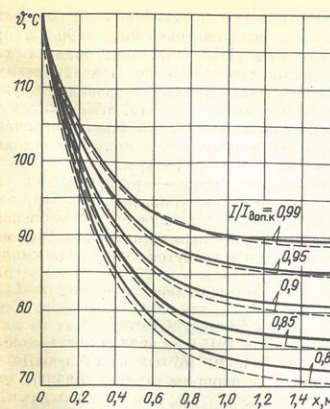


Рис. 1. Зависимость температуры нагрева неокрашенных шин из сплава 1915Т диаметром 100/90 мм от расстояния до точки отведения в ЗРУ

полненных расчетах за счет удачно выбранного начального приближения число итераций не превышало 20.

В качестве примера на рис. 1 и 2 (сплошные линии) приведены зависимости температуры нагрева неокрашенных шин из сплава 1915Т диаметром 100/90 мм от расстояния до точки отведения при различных отношениях рабочего тока I к току при допустимой температуре контактных соединений $I_{доп.к}$, полученные в результате расчетов на ПЭВМ ИВМ РС. Кривые построены для шин ЗРУ (рис. 1) и ОРУ при штиле с учетом солнечной радиации (рис. 2).

В расчетах были приняты следующие параметры шин: удельное электрическое сопротивление при 20 °С $\rho_0 = 0,0517$ Ом·м; температурный коэффициент сопротивления $\alpha_p = 0,004$ 1/°С; удельная теплопроводность $\lambda = 154$ Вт/(м·К); степень черноты поверхности шины $\epsilon = 0,11$; коэффициент поглощения $a_c = 0,6$. Параметры окружающей среды: $\theta_a = 35$ °С; $\lambda_a = 0,0271$ Вт/(м·К); $\nu = 0,1648 \times 10^{-4}$ м²/с.

Допустимые значения токов при температуре 120 °С составили в ЗРУ 2107 А, в ОРУ — 2337 А, а при температуре 90 °С соответственно 1675 А и 1692 А. Таким образом, повышение допустимой температуры на 30 °С позволяет поднять рабочий ток шин на 25–38 %.

Расчеты показали, что температура проводника при отношении $I/I_{доп.к}$ меньше 1 быстро спадает от 120 до 90 °С. Если рабочий ток ответвлений всего на 1 % меньше допустимого тока шины, то на расстоянии, равном 1,0–1,1 м, температура отведения оказывается ниже 90 °С.

Если ввести ряд допущений, можно найти приближенное аналитическое решение уравнения (1), удобное для практических инженерных расче-

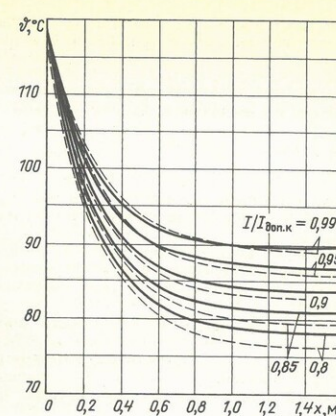


Рис. 2. Зависимость температуры нагрева неокрашенных шин из сплава 1915Т диаметром 100/90 мм от расстояния до точки отведения в ОРУ

тов. Примем тепловые потоки конвекцией и излучением пропорциональными перепаду температуры между шиной и воздухом, т. е. $Q_k + Q_a = w\theta$. Результирующий коэффициент теплопередачи w в этом случае остается постоянным по длине отведения (шины). Значения w целесообразно определять при допустимой температуре контактов $\theta_{доп.к}$.

При известном расчетном или экспериментальном значении допустимого тока единичной шины $I_{доп.к}$ (при температуре $\theta_{доп.к}$) коэффициент теплопередачи, Вт/°С, в соответствии с принятым допущением определяется по формуле

$$w = (Q_c + I_{доп.к}^2 R_{a,к}) / \theta_{доп.к}, \quad (13)$$

где $R_{a,к}$ — активное сопротивление шины при температуре $\theta_{доп.к}$, Ом.

Далее расчет можно упростить, если активное сопротивление шины принять по ее длине постоянным, равным, например, $R_{a,к}$. Первое допущение приводит к повышению расчетных значений перепада температур θ , второе — к их снижению.

В результате уравнение (1) приводится к виду

$$\frac{d^2 \theta}{dx^2} - m^2 \theta = -A, \quad (14)$$

где

$$m^2 = w / (\lambda S); \quad (15)$$

$$A = (Q_c + I^2 R_{a,к}) / (\lambda S). \quad (16)$$

Решение уравнения (14) при граничных условиях (9) и (11) приводится к виду [5, 7]

$$\theta = \theta_\infty + (\theta_0 - \theta_\infty) e^{-mx}$$

или

$$\Theta = A/m^2 + (\Theta_0 - A/m^2)e^{-mx}. \quad (17)$$

В соответствии с (13), (15) и (16) перепад температуры при значительном удалении от точки ответвления шины равен

$$\Theta_{\infty} = A/m^2 = (Q_c + I^2 R_{a,к})/\omega = \beta\Theta_{\text{доп.к}}, \quad (18)$$

где

$$\beta = \frac{Q_c + I^2 R_{a,к}}{Q_c + I_{\text{доп.к}}^2 R_{a,к}}. \quad (19a)$$

При отсутствии солнечной радиации коэффициент β равен квадрату отношения рабочего тока к допустимому току шины (при допустимой температуре контакта):

$$\beta = (I/I_{\text{доп.к}})^2. \quad (19б)$$

Подставляя (18) в (17), получим

$$\Theta = \beta\Theta_{\text{доп.к}} + (\Theta_0 - \beta\Theta_{\text{доп.к}})e^{-mx} + \Theta_a. \quad (20)$$

Профили температуры ответвления неокрашенных шин из сплава 1915Т диаметром 100/90 мм, вычисленные по (20), приведены на рис. 1 и 2 (пунктирные кривые). Сопоставление результатов расчета температур ответвлений, определенных по формуле (20), с решением уравнения (1) говорит о достаточно высокой точности приближенного аналитического решения. Наибольшая погрешность расчета Φ при отношениях $I/I_{\text{доп.к}}$, равных 0,8—1,0, составляет 0,5—3%, а в области температур, близких к 90 °С, не превышает 1%. При рабочих токах, близких к допустимому току ($I/I_{\text{доп.к}} \approx 1$), решения уравнений (1) и (14) практически совпадают. Погрешность расчета рас-

стояний от точки ответвления до координаты шины, температура которой $\Phi_{\text{доп.к}} = 90$ °С, составляет для шин ЗРУ и ОРУ не более 4%.

В соответствии с (13), (15) и (20) наименьшая (допустимая) длина ответвления от сборной шины до болтового контакта, температура которого не должна превышать $\Phi_{\text{доп.к}}$, определяется по формуле

$$L_{\text{доп}} = \sqrt{\frac{\lambda S \Theta_{\text{доп.к}}}{Q_c + I_{\text{доп.к}}^2 R_{a,к}}} \ln \frac{\Theta_0 - \beta\Theta_{\text{доп.к}}}{\Theta_{\text{доп.к}}(1 - \beta)}, \quad (21)$$

где $\Theta_0 = \Phi_0 - \Phi_a$ — перепад температуры между сборной шиной и воздухом.

На рис. 3 приведены зависимости $L_{\text{доп}}$ от отношения $I/I_{\text{доп.к}}$ для шин различного диаметра и толщины стенки, изготовленных из алюминиевых сплавов 1915Т (нашедшего широкого применение в РУ 110 кВ и выше) и АДО (используемого в токопроводах 0,4—10 кВ).

Расчеты показывают, что допустимая длина ответвлений трубчатых шин из сплава 1915Т в ОРУ и ЗРУ составляет не более 1 м при рабочем токе всего на 1—2% меньше $I_{\text{доп.к}}$. Для шин из меди и алюминиевых сплавов (например, АДО, АДЗ1Т, АДЗ1Т1) с более высокой тепло- и электропроводностью $L_{\text{доп}}$ незначительно выше. Следует отметить, что расстояние от точки ответвления до болтовых контактов в РУ 110 кВ и выше превышает 1 м, а в РУ до 35 кВ могут быть менее метра.

Таким образом, температура токопровода в рабочих режимах не превышает допустимых значений, если выполняются условия:

$$I_{\text{раб.нб.ш}} \leq I_{\text{доп}}; \quad (22a)$$

для ответвлений

$$I_{\text{раб.нб.от}} < I_{\text{доп.к}}; \quad (22б)$$

$$L \geq L_{\text{доп}}, \quad (22в)$$

где $I_{\text{раб.нб.ш}}$ и $I_{\text{раб.нб.от}}$ — наибольшие рабочие токи (утяжеленного режима) сборных шин и ответвлений; $I_{\text{доп}}$ и $I_{\text{доп.к}}$ — допустимые токи проводников при температурах 120 и 90 °С; L — длина ответвления.

Допустимая длина ответвления $L_{\text{доп}}$ определяется по формуле (21), справедливой как для жестких, так и для гибких шин ЗРУ и ОРУ. Допустимые токи шин устанавливаются в результате испытаний или аналитических расчетов [3—5].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- ГОСТ 8024-84. Аппараты и электрические устройства переменного тока на напряжение свыше 1000 В (норма нагрева при продолжительном режиме работы и методы испытаний).
- Дзекер Н. Н., Висленев Ю. С. Многослойные контактные соединения.— Л.: Энергия, 1987.
- Петрущенко В. А., Филиппов Ю. А. Свободноконтактный теплообмен в протяженных тонкостенных распределенных элементах токоведущих систем.— Электричество, 1989, № 3.

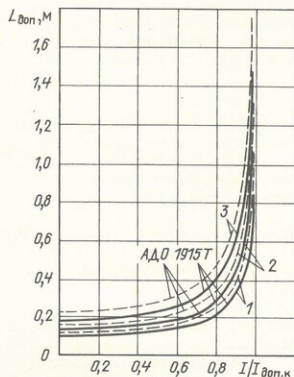


Рис. 3. Зависимости допустимой длины ответвления от отношения токов $I/I_{\text{доп.к}}$ для шин, изготовленных из сплава 1915Т (сплошные кривые) и АДО (пунктирные кривые): 1 — шины диаметром 80/76 мм; 2 — 100/90 мм; 3 — 100/80 мм

4. Долин А. П., Бессонов С. А. Расчет длительно допустимых рабочих токов трубчатых шин ЗРУ и ОРУ.— Электрические станции, 1988, № 4.

5. Трельяк Г. Т., Лысов Н. Е. Основы тепловых расчетов электрических аппаратов.— М.— Л.: ОНТИ НКТП, 1935.

6. Михеев М. А., Михеева И. М. Основы теплопередачи.— М.: Энергия, 1977.

7. Исаченко В. П., Осипова В. А., Сукомел А. С. Теплопередача.— М.: Энергоиздат, 1981.

8. Долин А. П., Шонгин Г. Ф. Открытые распределительные устройства с жесткой ошиной.— М.: Энергоатомиздат, 1988.

9. Залесский А. М., Кукеков Г. А. Тепловые расчеты электрических аппаратов.— М.: Энергия, 1967.

[11.06.90]

УДК 62-83.52

Некоторые возможности систем управления и автоматизированного электропривода

ПЕТРОВ Ю. П., проф.

Ленинград

Возможность существенного повышения эффективности работы очень многих систем управления и автоматизированного электропривода связана с новыми алгоритмами управления, использующими частичный прогноз возмущающих воздействий, отслеживаемых сигналов и погрешностей измерительных приборов.

Известно, что большинство современных систем управления работают в режиме отслеживания заранее не известных сигналов управления при воздействии заранее не известных возмущающих сил случайного характера. Частным случаем режима слежения является стабилизация, когда отслеживаемый сигнал известен (как правило, эталонным является режим поддержания постоянства регулируемой величины), но внешние воздействия не полностью предсказуемы, случайны. Характерные примеры: электроприводы следящих систем; электроприводы рулевых установок судов, движущихся в условиях нерегулярного морского волнения; системы возбуждения синхронных машин при переменной нагрузке и т. п.

Традиционные методы теории автоматического управления рекомендуют в этих случаях использовать регуляторы, обеспечивающие хорошее протекание переходных процессов в замкнутых системах. Стремятся к тому, чтобы переходные процессы имели быстрое затухание и малое перерегулирование; этого можно добиться, используя традиционные методы синтеза по логарифмическим амплитудно-частотным характеристикам (ЛАХ и ЛАХЧ), методы модального управления и т. п. В основу проектирования систем управления традиционно закладывается допущение о том, что системы с «хорошими» переходными процессами будут хорошо работать и в реальных условиях, при отслеживании заранее не известных сигналов и воздействий случайных возмущающих сил.

На деле это совсем не так. Еще в 60-е годы

было показано, что значительное улучшение качества управления может быть достигнуто при правильном учете легко получаемых статистических характеристик отслеживаемых сигналов и возмущающих воздействий (см. [1, 2]). Однако на пути практической реализации методов синтеза, основанных на учете статистических характеристик отслеживаемых сигналов и возмущающих воздействий, стояли серьезные трудности, которые долгие годы не удавалось преодолеть. Первая трудность состояла в том, что методы синтеза, излагаемые в [1, 2] и в более поздних работах [3, 4] и др., позволяли улучшить точность стабилизации и слежения, оценивая по среднеквадратичным критериям, но не обладали гибкостью (возможностью учета реального комплекса требований к системе управления), в то время как традиционные методы синтеза, основанные на ЛАХ и ЛАХЧ, такой гибкостью обладали. В частности, выяснилось, что методы синтеза, изложенные в [1—4], не позволяли учесть даже такое важнейшее требование, как сохранение качества или хотя бы устойчивости при неизбежных на практике малых отклонениях параметров объекта управления от расчетных значений.

После того, как в 70-х годах было обнаружено, что многие системы управления, синтезированные на основе методик, изложенных в [1, 2], способны терять устойчивость даже при сколь угодно малом отклонении параметров объекта управления от расчетных значений (для не оптимальных систем это было известно и ранее), доверие к практической применимости новых методов было окончательно подорвано (см. [5] и возникшую затем дискуссию). Новые методы стали рассматриваться лишь как источник сугубо теоретических оценок предельных возможностей управления.

Между тем еще в 1973 г. в [6] было пока-

Системе автоматизированного проектирования (САПР) вакуумной и элегазовой аппаратуры посвящен доклад М. Е. Данилова, А. А. Филиппова, Н. В. Шмыровой (ВЭИ). Программное обеспечение САПР содержит подсистему научных исследований, подсистему инженерно-конструкторского проектирования, подсистему технологической подготовки производства и справочно-информационную подсистему.

Изоляционные вакуумные аппараты представлены докладом В. Г. Дегтяря, А. В. Иванова, В. А. Леонова, Л. И. Костенковой и др. (МЭИ, ИПМ), в котором изложены результаты испытаний выключателей с жидкометаллическими контактами на базе пористых каркасов из тугоплавкого металла.

Проблемы создания полупроводниковых выключателей рассмотрены в докладах В. П. Лунина, К. Н. Вагерина, В. В. Орлова.

Ряд докладов был посвящен проблемам, связанным с созданием генераторных коммутационных аппаратов, в частности, дугогасительным токоведущим системам, особенно на большие номинальные токи, новым решениям тонкостеннопрофильных токоведущих систем, контактов, применяемых материалов. Отмечена необходимость всемерного ускорения работ по созданию и освоению в производстве силовых генераторных выключателей на номинальные токи 16 000 А и токи отключения 100, 160 и 230 кА.

Режимы работы выключателей, методы их испытаний и оборудование для испытаний КРУЭ обсуждены в четырех докладах. Так, в докладе Г. А. Дорфа (ВНИИЭ) анализируются режимы работы генераторных выключателей в схемах мощных генератор-трансформаторных блоков. Доклад Н. В. Шилина (ВНИИЭ) посвящен особенностям методов испытаний высоковольтных аппаратов, предназначенных для электросетей с медленно затухающими апериодическими составляющими в токе к. з. В докладах Е. Д. Гарбара, В. В. Степенкова, В. Д. Сыромятникова (Лен ПО «Электроаппарат») рассказано о работе по созданию герметизированных элегазовых установок для высоковольтных испытаний КРУЭ и их роли в обеспечении надежности КРУЭ, в выявлении дефектов в процессе производства КРУЭ.

На секции аппаратов сверхвысоких напряжений, ограничения перенапряжений и методов испытаний аппаратов обсуждены следующие проблемы.

В докладах ученых ВЭИ, ЛГТУ и ВЗВА подробно рассмотрены проблемы разработки и совершенствования изоляционных конструкций аппаратов высших классов напряжения. Обоснована целесообразность применения полимерных изоляторов, позволяющих наиболее полно реализовать эффект глубокого ограничения коммутационных перенапряжений.

Большой интерес вызвали доклады ВЭИ, посвященные новым разработкам нелинейных ограничителей перенапряжений, в частности, освоению производства нестарящихся варисторов, имеющих характеристики на уровне мировых образцов, соз-

данию принципиально новой конструкции ограничителей в элегазе с радиальным расположением колонок варисторов, позволяющим существенно сократить высоту ОПН.

В докладе Л. И. Дорожки и В. М. Сорокина (ЭНИН) анализировалось состояние освоения производства нового вида высоковольтного оборудования — управляемых шунтирующих реакторов. Отмечен значительный вклад МЭЗ и ЗТЗ, изготовивших опытные образцы реакторов большой мощности — 180 МВар в трехфазной группе. В дискуссии по докладу выявилось отсутствие разработок в СССР коммутационных аппаратов для таких реакторов типа выключателей нагрузки на номинальное напряжение линии.

Ряд докладов был посвящен проблемам повышения эффективности электрических и механических испытаний аппаратов.

В результате обсуждения докладов принято решение, в котором отмечается, что несмотря на определенные успехи в развитии электроаппаратостроения имеются серьезные недостатки:

1. Не удовлетворяется потребность страны в аппаратуре высокого напряжения по всей номенклатуре, ощущается острый недостаток в опасных частях к находящимся в эксплуатации аппаратам, медленно развивается производство элегазовых аппаратов открытой установки, элегазовых КРУ на классы напряжения 330—750 кВ, нелинейных ограничителей перенапряжений (ОПН).

2. Не выполняется программа освоения производства изоляторов с высокими электрическими и механическими характеристиками для аппаратов высокого и сверхвысокого напряжения.

3. Практически прекращены работы по созданию оборудования для электропередач перспективного класса напряжения 1800 кВ.

4. Медленно развертываются работы по созданию управляемых реакторов для электропередач высших классов напряжения и коммутирующего устройства для включения и отключения реакторов.

Для устранения указанных недостатков и обеспечения необходимых темпов развития высоковольтного аппаратостроения совещание считает необходимым принять ряд неотложных мер:

организовать серийное производство разработанных электротехнической промышленностью новых перспективных видов электрических аппаратов (КРУ с элегазовой изоляцией на напряжение до 1150 кВ, вакуумных выключателей на напряжение до 35 кВ, ОПН на базе современных нестарящихся варисторов на напряжение до 1150 кВ и др.);

расширить работы по созданию новых видов электрических аппаратов, соответствующих последним достижениям мирового аппаратостроения (отдельно стоящих элегазовых выключателей, КРУЭ с компоновкой трех фаз в одной оболочке, КРУЭ с вакуумными выключателями, современных генераторных выключателей, ОПН в элегазе и др.);

проводить поисковые исследования и разработ-

ки по перспективным электрическим аппаратам (создание аппаратов СВН и УВН со сниженным уровнем испытательных напряжений, создание аппаратов УВН свыше 1150 кВ, использование полупроводниковой техники, использование сверхпроводимости и др.);

для производства высоковольтных аппаратов привлечь производственные мощности и испытательные базы конверсируемой оборонной промышленности;

поручить созданной ассоциации по производству элегазовой высоковольтной аппаратуры (ЭВА) координацию всех работ по созданию новых видов элегазовой аппаратуры, ее совершенствованию, распределению заказов на ее производство, развитию и техпереворужению заводов-производителей и испытательных баз, а также по сервисному обслуживанию.

АЛЕКСАНДРОВ Г. Н., доктор техн. наук,
БЕЛКИН Г. С., доктор техн. наук

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Андерс В. И., Белкин Г. С., Бортник И. М., Борцов Ю. А., Будзко И. А., Бутырин П. А., Гельфанд Я. С., Данилевич Я. Б., Евсеев Б. Н. (зам. главного редактора), Ершев В. В., Иванов-Смоленский А. В., Ильинский Н. Ф., Иосель Ю. Я., Кожельков В. С., Костенко М. В., Лабунцов В. А. (главный редактор), Ларионов В. П., Лизунов С. Д., Мамиконянц Л. Г., Митюшкин К. Г., Михайлов О. П., Морозкин В. П., Нетушл А. В., Розанов Ю. К., Пищиков В. И., Семенов В. А., Слежановский О. В., Совалов С. А., Стров В. А., Тареев Б. М., Толстов Ю. Г., Чекурин В. Л., Шакарян Ю. Г., Шаталов А. С., Шилин Н. В.

Адреса редакции: 103012 Москва, К-12, Б. Черкасский пер. 2/10. Телефон 924-24-80
101000 Москва, Главный почтамт, абонентный ящик № 648
Адрес для телеграмм: МОСКВА, 12, ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

Научные редакторы: Б. Д. Макашкин, А. Л. Прилуцкий

Художественный редактор Т. А. Дворецкова Технический редактор Г. В. Преображенская Корректор Л. С. Тимохова

Сдано в набор 11.04.91. Подписано в печать 15.05.91. Формат 60×88¹/₈. Бумага кн.-журн. офсетная. Печать офсетная. Усл. печ. л. 10,78. Уч.-кр.-отт. 11,27. Уч.-изд. л. 11,17. Тираж 3572 экз. Заказ 5625. Цена 2 р.

Энергоатомиздат, 113114 Москва, М-114, Шлюзовая наб., 10
Ордена Трудового Красного Знамени Чеховский полиграфический комбинат ВО «Союзполиграфпром» при Госкомпечати СССР, 142300 г. Чехов Московской области

Карташев И. И., Фокин Ю. А. Методы оценки надежности сложных электрических систем . . .	1	Kartashev I. I., Fokin U. A.— Methods for Assessing the Reliability of Complex Power Systems . . .	1
Александров Г. Н., Афанасьев А. И. Разрядные характеристики воздушных промежутков экран—земля при импульсах коммутационных перенапряжений . . .	6	Alexandrov G. N., Afanasiev A. I.— Flashover Characteristics of Screen-to-Ground Air Clearances for Switching Surges . . .	6
Аксенов Ю. П., Кузнецов А. И., Сахаров А. Е., Ляпин А. Г., Филиппов А. А. Индуктивные фильтры в схемах регистрации частичных разрядов . . .	13	Aksenov U. P., Kuznetsov A. I., Sakharov A. E., Liapin A. G., Filippov A. A.— Inductive Filters in Schemes for Recording Partial Discharges . . .	13
Курбацкий В. Г., Трофимов Г. Г. Контроль несинусоидальности напряжения в электрических сетях . . .	17	Kurbatsky V. G., Trofimov G. G.— Monitoring Non—Sinusoidal Network Voltages . . .	17
Розанов В. А. Исследование эффективности тяговых сетей электрических железных дорог . . .	22	Rozanov V. A.— A Study of the Efficiency of Traction Networks for Electrified Railways . . .	22
Данцис Я. Б., Жилов Г. М., Брегман С. З., Короткин С. В. О форме кривых напряжения и тока дуги в руднотермических электропечах . . .	27	Dantsis J. B., Zhilov G. M., Bregman S. Z., Korotkin S. V.— On the Waveshapes of the Arc Voltage and Current in Ore-Smelting Electric Furnaces . . .	27
Каспаров Э. А., Фиошкин Г. А., Хачатуров А. А. Переходные процессы при включении способом самосинхронизации синхронных компенсаторов продольно-поперечного возбуждения . . .	32	Kasparov E. A., Fioshkin G. A., Khachaturov A. A.— Transients in Switching Through Self-Synchronization of Synchronous Compensators Having Direct- and Quadrature-Axis Excitation . . .	32
Кузнецов Б. И. Синтез оптимальных регуляторов многоканальных систем методами модального управления . . .	41	Kuznetsov B. I.— Synthesis of Optimum Regulators for Multi-Channel Systems Using Modal Control Techniques . . .	41
Арешян Г. Л. О корректной записи уравнений «обобщенной» двухфазной электрической машины в осях α, β . . .	43	Areshian G. L.— On Correct Formulation of the Equations for a “Generalized” Two-Phase Electrical Machine in $\alpha\beta$ Coordinates . . .	43
Колесников Э. В., Погодин А. Н. Электромагнитный расчет вольт-амперной характеристики униполярной машины с тонкостенным цилиндрическим якорем и зональным токоосъемом . . .	47	Kolesnikov E. V., Pogodin A. N.— The Electromagnetic Calculation of the Volt-Ampere Characteristic of a Unipolar Machine With a Thin-Walled Cylindrical Armature and Zonal Current Pick—Off . . .	47
Лопухина Е. М., Семенчуков Г. А., Машкин В. Г. Расчеты электромагнитных моментов и вибро-возмущающих сил несимметричных асинхронных двигателей методом индуктивных коэффициентов . . .	55	Lopukhina E. M., Semenchukov G. A., Mashkin V. G.— Calculation of Electromagnetic Torques and Vibratory Perturbations on Unsymmetrical Induction Motors by the Method of Inductive Coefficients . . .	55
Шаталов А. С. Инвариантные преобразования изображений линейных сигналов . . .	62	Shatalov A. S.— Invariant Transformations of Linear Signal Transforms . . .	62
Сообщения		REPORTS	
Долин А. П., Плис А. И., Бессонов С. А. К определению допустимых рабочих токов шин с болтовыми соединениями . . .	69	Dolin A. P., Plis A. I., Bessonov S. A.— On Finding the Allowable Load Currents on Buses With Bolted Connections . . .	69
Петров Ю. П. Некоторые возможности систем управления и автоматизированного электропривода . . .	73	Petrov U. P.— Some Possibilities of Control Systems and Automatized Electric Drives . . .	73
Фролов С. И. Определение объемной плотности электромагнитного момента в анизотропных магнитных средах . . .	77	Frolov S. I.— Finding the Volume Density of the Electromagnetic Torque in Anisotropic Media . . .	77
ДИСКУССИИ . . .	81	DISCUSSION . . .	81
ПИСЬМА В РЕДАКЦИЮ . . .	83	NOTES AND LETTERS . . .	83
ХРОНИКА . . .	84	CHRONICLE . . .	84

