

Министерство образования Республики Беларусь  
БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

---

Кафедра «Электрические станции»

САМОЗАПУСК ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ МЕХАНИЗМОВ  
СОБСТВЕННЫХ НУЖД ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Лабораторные работы (практикум)  
по дисциплине  
«Эксплуатация электрооборудования  
электрических станций и подстанций»  
для студентов специальностей  
1-43 01 01 «Электрические станции»,  
1-53 01 04 «Автоматизация и управление  
энергетическими процессами»

Минск  
БНТУ  
2010

УДК 621.311.2.002.5.004 (076.5)

ББК 31.277.7

С 17

С о с т а в и т е л и :

*И.И. Сергей, Е.В. Глинский,  
П.И. Климкович, Е.Г. Пономаренко*

Р е ц е н з е н т ы :

*В.А. Анищенко, И.В. Новаш*

С 17 Самозапуск электродвигателей механизмов собственных нужд электростанций: лабораторные работы (практикум) по дисциплине «Эксплуатация электрооборудования электрических станций и подстанций» для студентов специальностей 1-43 01 01 «Электрические станции», 1-53 01 04 «Автоматизация и управление энергетическими процессами» / сост. И.И. Сергей [и др.]. – Минск: БНТУ, 2010. – 61 с.

В практикуме приводятся лабораторные работы, являющиеся результатом внедрения в учебный процесс научных исследований кафедры по вопросам самозапуска электродвигателей электростанций. Подробно описывается математическая модель, алгоритм и компьютерная программа расчета режимов самозапуска электродвигателей электростанций. Студенты смогут изучить физические процессы на различных стадиях самозапуска, построить механические характеристики рабочих машин и электродвигателей собственных нужд и исследовать с помощью компьютерной программы влияние различных параметров сети на успешность самозапуска электродвигателей.

*Лабораторная работа № 1*  
**АЛГОРИТМ РАСЧЕТА САМОЗАПУСКА  
ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ СОБСТВЕННЫХ НУЖД ТЭС**

*Цель работы:* изучение математической модели расчета режимов самозапуска электродвигателей собственных нужд.

*Теоретические сведения*

**1. Характеристика физических процессов  
на различных стадиях самозапуска**

Самозапуск (СЗ) группы электродвигателей (Д) возникает после кратковременного перерыва питания секции, вызываемого, как правило, коротким замыканием (КЗ) на одном из присоединений, на шинах секции или в цепи источника питания. Наиболее тяжелые последствия вызывают КЗ на шинах или в цепи питания, ликвидация которых сопровождается отключением основного источника и последующим включением резервного источника. В результате перерыва питания Д затормаживаются, а после его восстановления потребляют повышенный ток. Напряжение на шинах секции остается значительно ниже  $U_{ном}$ , Д могут не развернуться до нормальной скорости. Поэтому необходимо расчетным путем решить вопрос о возможности разворота Д до номинальной частоты вращения, определить длительность этого процесса, уровни напряжения на шинах секции, токи Д и ряд других параметров режима на различных стадиях СЗ для данного состава Д и их предшествующего режима.

Расчет самозапуска электродвигателей производится согласно расчетной схеме, показанной на рис. 1.1. Она составлена в соответствии с указаниями нормативных документов.

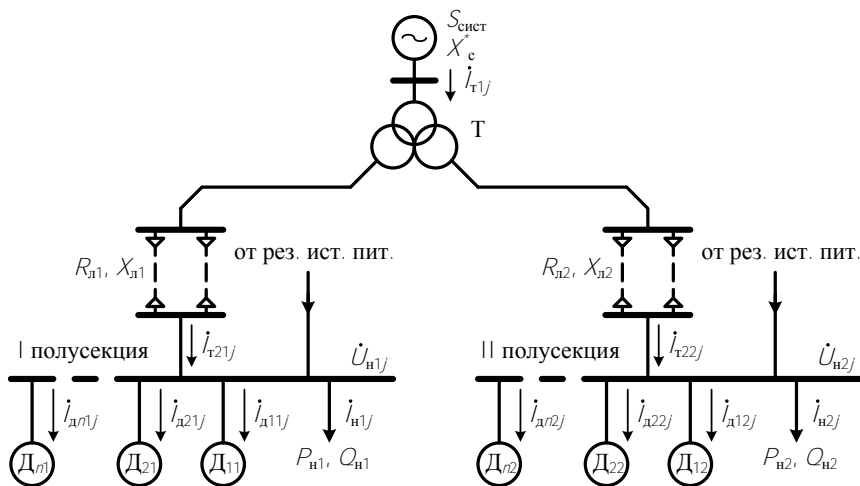


Рис. 1.1. Расчетная схема исходного режима работы

В режиме СЗ выделяются следующие стадии: исходный режим, короткое замыкание, отключение КЗ, восстановление питания.

*Исходный режим.* Это установившийся режим, в котором роторы  $D$  имеют неизменные частоты вращения, близкие к номинальным. Токи статора – синусоидальные с частотой источника питания, токи контуров ротора – медленно изменяющиеся (с частотами, равными скольжениям) знакопеременные токи. Электромагнитные моменты  $D$  являются неизменными величинами, равными моментам сопротивления механизмов. Исходный режим характеризуется заданными величинами напряжений на шинах полусекций и коэффициентов загрузки  $D$ , активными и реактивными мощностями стационарных нагрузок полусекций. Расчет исходного режима содержит определение величин токов в статоре и роторе  $D$ , скольжений  $D$ , токов в ветвях источника питания, ЭДС источника.

*Короткое замыкание.* Расчетным видом повреждения является трехфазное КЗ на шинах полусекции. В этом режиме

напряжения на выводах Д равны нулю. В обмотках Д возникают затухающие переменные составляющие токов, величины которых значительно превосходят токи нормального режима. Токи статоров подпитывают точку КЗ. Роторные токи, взаимодействуя с токами статоров, обуславливают значительные знакопеременные моменты, средние значения которых намного меньше сопротивления механизмов. Происходит интенсивное торможение Д. Через 0,5–1,0 с электромагнитные моменты практически исчезают и движение роторов обусловлено только их индивидуальным выбегом.

*Отключение КЗ.* Если отключение КЗ происходит до полного затухания токов в контурах роторов Д, на их выводах и на шинах секции появляется затухающее переменное напряжение. При отключении питания в нормальном режиме начальная величина  $U$  составляет  $(0,8-0,85) U_{\text{ном}}$ , при длительности КЗ 0,1–0,2 с оно снижается до  $(0,2-0,4) U_{\text{ном}}$ . Скорость затухания токов ротора в режиме без КЗ меньше, чем в режиме КЗ, процесс затухания токов Д и  $U$  на выводах длится до 1–2 с. В этом режиме (групповой выбег) Д, обладающие большей механической инерционностью, подпитывают менее инерционные Д, их средний электромагнитный момент становится отрицательным, создавая дополнительное торможение. Менее инерционные Д имеют момент положительного знака, их торможение происходит медленнее. После затухания токов Д их взаимное влияние прекращается, происходит только инерционное движение роторов и их торможение под действием моментов сопротивления механизмов (индивидуальный выбег).

*Восстановление питания.* Подача питания на частично или полностью заторможенные Д приводит к потреблению ими повышенных токов. Напряжение на шинах полусекций составляет в этот момент  $(0,5-0,7) U_{\text{ном}}$ . Если к моменту восстановления питания токи Д еще не затухли, возникает переходный режим, обусловленный несовпадением фаз и частот

напряжений  $D$  и источника питания. Токи и моменты этого переходного процесса в 10–15 раз превышают номинальные параметры  $D$ . При подаче питания токи и моменты переходного процесса для  $D$  с затухшими токами уменьшаются.

После затухания переходных процессов, длящихся 1–2 с, устанавливается режим с синусоидальными токами промышленной частоты в статоре и изменяющимися с частотой скольжения токами роторов. Движение роторов определяется соотношением электромагнитных моментов и моментов сопротивления механизмов. При успешном СЗ этот режим длится обычно 5–10 с. Однако для получения более достоверного результата расчет рекомендуется вести до 20–40 с.

## **2. Математический аппарат для расчета переходных процессов на различных стадиях СЗ**

Определяющими параметрами, по которым можно судить об успешности или неуспешности СЗ, являются частота вращения или скольжение  $D$  и длительность процесса их установления на близких к номинальным уровнях. Эти величины определяются на всех стадиях СЗ путем решения дифференциальных уравнений движения роторов относительно скольжения каждого  $D$ . Число этих уравнений равно числу  $D$ , участвующих в СЗ. Для их решения необходимы электромагнитные моменты  $D$  и моменты сопротивления механизмов в функции времени.

В режиме КЗ, группового выбега, начальной стадии СЗ электромагнитный момент содержит знакопеременную составляющую. Расчет этого динамического момента должен производиться по мгновенным значениям тока и потокосцеплений контуров  $D$ . Для определения мгновенных значений потокосцеплений используются дифференциальные уравнения. Трехфазный асинхронный двигатель (АД) с короткозамкнутым ротором имеет два независимых контура статора и два эквивалентных контура ро-

тора. Потокосцепления указанных моментов зависят от их расположения друг относительно друга. Поэтому необходимо решать дифференциальное уравнение положения оси ротора относительно оси обмотки фазы  $A$  статора. С учетом сказанного каждый  $D$  описывается следующими дифференциальными уравнениями:

$$\frac{d\psi_{\alpha}}{dt} = u_A - i_A \cdot R_a;$$

$$\frac{d\psi_{\beta}}{dt} = \frac{1}{\sqrt{3}}(u_B - u_C) - \frac{1}{\sqrt{3}} R_a (i_B - i_C);$$

$$\frac{d\psi_{\alpha d^*}}{dt} = -\omega_0 \cdot R_{r^*} \cdot i_{\alpha d^*};$$

$$\frac{d\psi_{\alpha q^*}}{dt} = -\omega_0 \cdot R_{r^*} \cdot i_{\alpha q^*};$$

$$\frac{d\gamma}{dt} = \omega_0 (1 + s);$$

$$\frac{ds}{dt} = \frac{1}{T_j} \left( M_{\text{мех}} - \frac{M_{\text{эл}}}{M_{\text{ном}}} \right). \quad (1)$$

где  $R_a$  – активное сопротивление обмотки статора;

$R_{r^*}$  – активное сопротивление эквивалентного контура ротора;

$T_j$  – механическая постоянная инерции агрегата, определяемая по суммарному моменту инерции роторов  $D$  и приводимого механизма.

В этих уравнениях потокосцепления связаны с токами соответствующих контуров алгебраическими соотношениями:

$$\begin{aligned}\Psi_{\alpha} &= L_d \cdot i_A + X_{ad^*} \cdot \Psi_{\beta} \cdot (i_{\beta d^*} \cdot \cos \gamma - i_{\beta q^*} \cdot \sin \gamma); \\ \Psi_{\beta} &= \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot L_d \cdot (i_B - i_C) + X_{ad^*} \cdot \Psi_{\alpha} \cdot (i_{\beta d^*} \cdot \cos \gamma + i_{\beta q^*} \cdot \sin \gamma); \\ \Psi_{\beta d^*} &= \frac{X_{ad^*}}{I_{\beta}} \cdot \left[ i_A \cdot \cos \gamma + \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot (i_B - i_C) \cdot \sin \gamma \right] + X_{r^*} \cdot i_{\beta d^*}; \\ \Psi_{\beta q^*} &= \frac{X_{ad^*}}{I_{\beta}} \cdot \left[ -i_A \cdot \sin \gamma + \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot (i_B - i_C) \cdot \cos \gamma \right] + X_{r^*} \cdot i_{\beta q^*},\end{aligned}\quad (2)$$

где  $L_d = L_{\sigma a} + L_{ad}$  – индуктивность обмотки статора;

$L_{\sigma a}$  – индуктивность рассеяния обмотки статора;

$L_{ad}$  – индуктивность ветви намагничивания схемы замещения АД;

$X_{ad^*}$  – индуктивное сопротивление ветви намагничивания;

$X_{r^*} = X_{\sigma r^*} + X_{ad^*}$  – индуктивное сопротивление эквивалентного контура ротора;

$X_{\sigma r^*}$  – индуктивное сопротивление рассеяния эквивалентного контура ротора;

$I_{\beta}$ ,  $\Psi_{\beta}$  – базисные токи и потокосцепление контуров статора;

$\gamma$  – угол положения ротора.

Электромагнитный момент двигателя

$$M_{эл} = -1,5 \cdot \Psi_{\beta} \cdot i_A + 0,5 \cdot \sqrt{3} \cdot \Psi_{\alpha} \cdot (i_B - i_C).$$



Активное и индуктивное сопротивления рассеяния контуров ротора зависят от частоты тока в них и определяются выражениями:

$$R_{r*} = R_{r0*}(a_R + b_R k_{R\delta}); \quad (3)$$

$$X_{r*} = X_{r0*}(a_X + b_X k_{X\delta}), \quad (4)$$

где  $R_{r0*}$  и  $X_{r0*}$  – активное сопротивление и индуктивное сопротивление контуров ротора при  $s=0$ ;

$a_R, b_R, a_X, b_X$  – коэффициенты, определяющие части сопротивлений  $R_{r*}$  и  $X_{r*}$ , соответственно зависящие и не зависящие от частоты;

$k_{R\delta} = f_{R\delta}(s)$ ,  $k_{X\delta} = f_{X\delta}(s)$  – коэффициенты, учитывающие изменение сопротивлений контуров ротора из-за вытеснения тока при различных скольжениях  $S$ .

Параметры  $D$ , входящие в уравнения (1) и (2), определяются через каталожные параметры в соответствии с нормативной методикой. В режимах с затухшими свободными токами в контурах ротора решается только последнее уравнение системы (1) – дифференциальное уравнение скольжения. В каждом режиме и в конечной стадии СЗ электромагнитный момент определяется на каждом шаге интегрирования по формуле

$$M_{эл*} = I_{D*}^2 (R_{вх} - R_a) \frac{1 - s_n}{\eta_n \cos \varphi_n}, \quad (5)$$

где  $I_{D*}$  – ток статора, определяемый из электрического расчета схемы замещения (рис. 1.2) при скольжении  $S$  на шаге интегрирования;

$R_{вх}$  – входное активное сопротивление  $D$  при скольжении  $S$ ;

$s_n, \eta_n, \cos \varphi_n$  – номинальные значения скольжения, коэффициента полезного действия и коэффициента мощности  $D$ .

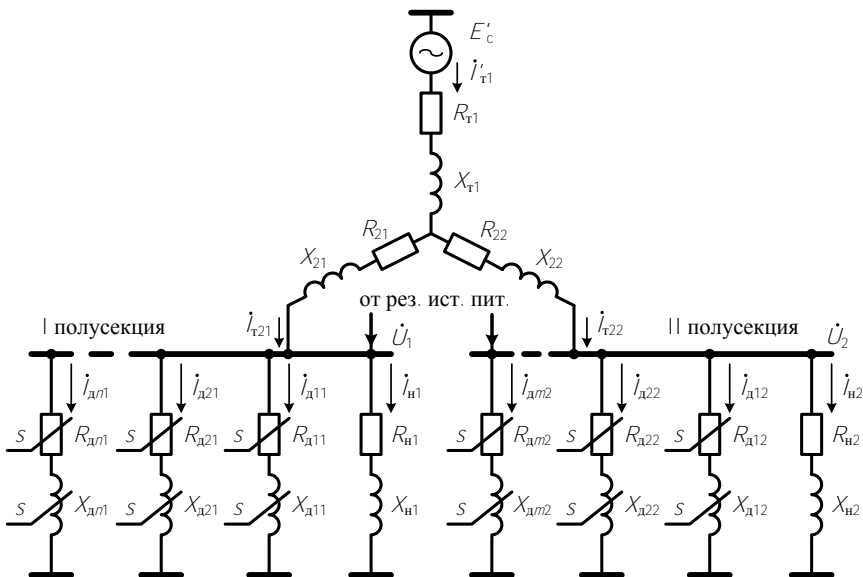


Рис. 1.2. Схема замещения

В режиме индивидуального выбега  $M_{эл*} = 0$  и движение ротора определяется только моментом сопротивления механизма.

### 3. Механические характеристики механизмов собственных нужд

При выборе электропривода рабочих машин используются их механические характеристики. Работа каждого механизма характеризуется двумя группами величин, одна из которых определяет его технологические возможности (производительность, напор и т.д.), другие – требования к приводному двигателю (момент сопротивления, угловая скорость). Зависимость момента сопротивления  $M_c$  (Н·м) различных механизмов от угловой скорости  $\omega$  (1/с) в общем виде имеет следующий вид:

$$M_c = M_{\text{тр}} + \left( K_{3,м} M_{\text{ном.м}} - M_{\text{тр}} \right) \left( \frac{\omega}{\omega_{\text{ном}}} \right)^\gamma, \quad (6)$$

где  $M_{\text{тр}}$  – момент сопротивления при  $\omega = 0$  (при трогании с места);

$M_{\text{ном.м}}$  – номинальный момент сопротивления механизма;

$K_{3,м}$  – коэффициент загрузки механизма;

$\omega_{\text{ном}}$  – номинальная угловая скорость;

$\gamma$  – показатель степени, характеризующий данный механизм.

Угловая скорость связана с частотой вращения  $n$  (об/мин), соотношением

$$\omega = \frac{\pi n}{30}. \quad (7)$$

Чаще всего механическая характеристика рабочей машины выражается в относительных единицах

$$\frac{M_c}{M_{\text{ном.м}}} = \frac{M_{\text{тр}}}{M_{\text{ном.м}}} + \left( K_{3,м} \frac{M_{\text{ном.м}}}{M_{\text{ном.м}}} - \frac{M_{\text{тр}}}{M_{\text{ном.м}}} \right) \left( \frac{30\pi n}{30\pi n_{\text{ном}}} \right), \quad (8)$$

или

$$M_{c^*} = M_{\text{тр}^*} + \left( K_{3,м} - M_{\text{тр}^*} \right) \left( \frac{n}{n_{\text{ном}}} \right).$$

Механическая характеристика определяет условия пуска агрегата и его выбега при отключении Д и оказывает существенное влияние на переходные режимы. Все механизмы по виду механической характеристики можно разделить на две группы:

1) механизмы, момент сопротивления которых практически не зависит от скорости:

$$M_c = \text{const}, \gamma = 0;$$

2) механизмы с моментом сопротивления, зависящим от скорости:

$$M_c = f(\omega), \gamma \neq 0.$$

К первой группе относятся механизмы транспортеров, дробилок, некоторых мельниц, поршневых компрессоров. Это механизмы с тяжелыми условиями пуска. Ко второй группе относятся тягодутьевые механизмы ( $\gamma = 2$ ), центробежные насосы ( $\gamma = 2-4$ ) и др. Чем выше значение  $\gamma$ , тем легче условия пуска. Различные виды механических характеристик при разных коэффициентах загрузки механизмов приведены на рис. 1.3. После длительной остановки механизма, особенно в холодное время года, момент трогания с места ( $M_{\text{тр}}$ ) может увеличиваться, как показано на рисунке пунктирными линиями. Характеристику при очень малом моменте трогания с места ( $M_{\text{тр}} = 0$ ) и ( $\gamma = 2$ ) называют вентиляторной (пунктир 7 на рис. 1.3).

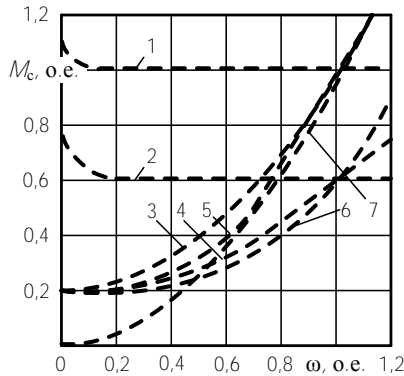


Рис. 1.3. Виды механических характеристик  $M_c = f(\omega)$  для различных механизмов: 1 —  $\gamma = 0$ ,  $K_{3,м} = 1$ ; 2 —  $\gamma = 0$ ,  $K_{3,м} = 0,6$ ; 3 —  $\gamma = 2$ ,  $K_{3,м} = 1$ ; 4 —  $\gamma = 2$ ,  $K_{3,м} = 0,6$ ; 5 —  $\gamma = 3$ ,  $K_{3,м} = 1$ ; 6 —  $\gamma = 3$ ,  $K_{3,м} = 0,6$ ; 7 —  $\gamma = 2$ ,  $M_{\text{тр}} = 0$ ,  $M_c = M_{\text{ном.м}} (\omega / \omega_{\text{ном}})^2$

На условия пуска агрегата оказывает также влияние момент инерции  $J$  ( $\text{кг}\cdot\text{м}^2$ ). Момент инерции является мерой инерции вращающегося тела и представляет собой величину, определяемую выражением

$$J = \sum_{n=1}^{n=k} m_n \cdot r_n^2, \quad (9)$$

где  $m_n$  – масса  $n$ -частицы тела, кг;

$r_n$  – расстояние от оси вращения до  $n$ -частицы тела, м.

Чем выше момент инерции, тем более высокий момент должен развивать Д при пуске. Время разгона механизмов с большим моментом инерции увеличено. К таким механизмам относятся дымососы и дутьевые вентиляторы, поршневые компрессоры с маховиками. Наиболее тяжелыми условиями пуска обладают механизмы с  $\gamma = 0$  при условии полной загрузки. Например, при полностью загруженном ленточном конвейере нужно не только преодолеть момент сопротивления, но и разогнать ленту с грузом до требуемой скорости. Увеличение массы груза эквивалентно увеличению момента инерции. В ряде каталогов приводятся значения махового момента  $GD^2$  ( $\text{кгс}\cdot\text{м}^2$ ). В этих случаях для определения момента инерции каталожное значение махового момента следует разделить на 4:

$$J = \frac{GD^2}{4q}, \quad (10)$$

где  $G$  – сила тяжести ротора рабочей машины, кгс;

$D$  – диаметр инерции, м;

$q$  – ускорение свободного падения,  $\text{м}/\text{с}^2$ .

*Построение механических характеристик рабочих машин собственных нужд электростанций*

Вид характеристики  $M_{c*} = f(n_*)$  зависит от типа и условий работы механизма. Дымососы и вентиляторы, резервный возбудитель, насосы, работающие на сеть без статической составляющей напора, имеют следующую (обобщенную) характеристику:

$$M_c = M_0 + (K_{з.м} - M_0) \cdot n_*^2, \quad (11)$$

где  $M_0$  – начальный момент сопротивления при  $n_* = 0$  (принимается равным 0–0,15 о.е.),

$n_*$  – частота вращения вала, о.е.,

$K_{з.м}$  – коэффициент загрузки механизма, о.е. (табл. 1.1).

Таблица 1.1

**Коэффициент загрузки двигателя СН ТЭС**

Тип механизма	Блок 200 МВт	Блок 165 МВт	Т-250	КЭС-300	КЭС-300
	Газомазутные				Газ
ПЭН	0,65	0,763	–	0,9	0,85
КН	0,7	0,553	0,51–0,901	–	0,76–0,87
ЦН	0,85	0,763	0,694–0,96	0,74–0,8	–
ДС	0,6	0,52–0,74	0,645–0,87	0,69	0,59–0,8
ДВ	0,75	0,72–0,81	0,582–0,752	0,93–0,96	0,67–0,86
Сетевой насос	–	0,442	0,631–0,883	–	–

Обобщенная характеристика насосов в зависимости от условий работы имеет разный вид. Насосы могут пускаться в ход при закрытой задвижке и при открытой на сеть, не имеющую статическую составляющую напора, и на сеть, имеющую

статическую составляющую напора. Насосы, пускающиеся при закрытой задвижке, имеют следующую характеристику

$$M_{c*} = M_0 + (K'_{3.M} - M_0)n_*^2, \quad (12)$$

где  $K'_{3.M} = \frac{P_0}{P_{\text{НОМ}}}$ ;

$P_0$  – мощность, потребляемая насосом при номинальной частоте вращения и расходе, равном нулю, кВт (это значение берется из каталожных или паспортных данных при  $n_* = n_{\text{НОМ}}$  и  $Q=0$ );

$P_{\text{НОМ}}$  – номинальная мощность двигателя.

Для всех насосов, пускаемых на сеть с противодавлением (при наличии обратного клапана) со статической составляющей напора характеристика имеет несколько участков:

$$M_{c*} = M_0' (1 - 10n_*), \text{ при } n_* \leq 0,1;$$

$$M_{c*} = K'_{3.M} n_*^2, \text{ при } 0,1 < n_* \leq n_{\text{откр}*}; \quad (13)$$

$$M_{c*} = K'_{3.M} n_{\text{откр}*} + (K_{3.M} - K'_{3.M} n_{\text{откр}}^2) \frac{n_* - n_{\text{откр}*}}{1 - n_{\text{откр}*}}, \text{ при } n_* > n_{\text{откр}*},$$

где  $n_{\text{откр}*} = \frac{n_{\text{min}}}{n_{\text{НОМ}}} = \sqrt{\frac{H_{\text{ст}}}{H_0}}$ ;

$$H_{\text{ст}} \cong \frac{P_{\text{H}} - P_{\text{В}}}{10 \cdot \gamma};$$

$H_0$  – напор, развиваемой насосом при  $n_* = n_{\text{НОМ}}$  и  $Q=0$ , м;

$H_{\text{ст}}$  – статическое противодавление, м;

$n_{\min}$  – минимальная частота вращения вала, при которой открывается обратный клапан, об/мин;

$P_n$  – давление на напоре питательного насоса, которое для барабанных котлов можно принять  $95 \cdot 10^5$ – $140 \cdot 10^5$  Па, а для прямоточных котлов –  $250 \cdot 10^5$  Па;

$P_b$  – давление на всасе питательного насоса при отсутствии бустерного насоса в среднем принимается  $6 \cdot 10^5$  Па, а при наличии бустерного насоса принимается давление на напоре последнего;

$\gamma$  – удельный вес воды (например, при температуре  $160^\circ\text{C}$ , равен  $913 \text{ кгс/м}^3$ ).

Для других типов насосов  $n_{\text{откр}^*}$  можно приближенно принимать, как и для питательного насоса. Рассмотрим построение механической характеристики рабочих машин с использованием их рабочих характеристик. Изменение частоты вращения лопастных машин приводит к изменению их главной характеристики. Ее можно получить при любой частоте вращения  $n_i$  путем пересчета  $H$ – $Q$ -характеристики, снятой при частоте вращения  $n_1$  с помощью формул пропорциональности

$$\frac{Q_i}{Q_1} = \frac{n_i}{n_1}, \quad \frac{H_i}{H_1} = \left(\frac{n_i}{n_1}\right)^2. \quad (14)$$

Из (14) следует, что

$$Q_i = Q_1 \left(\frac{n_i}{n_1}\right), \quad H = H_1 \left(\frac{n_i}{n_1}\right)^2 = H_1 \left(\frac{Q_i}{Q_1}\right)^2. \quad (15)$$

Таким образом, перемещение любой точки  $H$ – $Q$ -характеристики при изменении  $n$  происходит по параболе, вершина которой находится в начале координат. Соотноше-



ние моментов на валу насоса или вентилятора при частотах вращения  $n_1$  и  $n_i$  определяется следующим выражением:

$$\frac{M_i}{M_1} = \frac{\frac{P_i}{\omega_i}}{\frac{P_1}{\omega_1}} = \frac{Q_i H_i h_i n_i}{Q_1 H_1 h_1 n_1}. \quad (16)$$

С учетом характеристики трубопроводной сети

$$\frac{M_i}{M_1} = \frac{Q_i (H_{cm} + k Q_i^2) h_i n_i}{Q_1 (H_{cm} + k Q_1^2) h_1 n_1}. \quad (17)$$

В частном случае, когда статический напор равен нулю, выражение для механической характеристики принимает вид

$$\frac{M_i}{M_1} = \frac{n_1}{n_i} \left( \frac{n_i}{n_1} \right)^2.$$

Таким образом, лишь при отсутствии статического напора и небольших изменениях частоты вращения, механическую характеристику в первом приближении можно считать параболической. Чтобы получить механическую характеристику рабочей машины, работающей при статическом напоре, необходимо:

1) на главной характеристике рабочей машины, соответствующей  $n_{ном}$ , выбрать ряд точек и, используя формулы (15), найти координаты соответствующих точек при других частотах вращения;

2) по этим точкам построить  $H-Q$ -характеристики при разных частотах вращения;

3) построить характеристику трубопроводной сети. Предварительно выбрать характеристический коэффициент  $k$  таким образом, чтобы эта характеристика проходила через точку оптимального режима главной характеристики машины, построенной при  $\eta_{\text{ном}}$ ;

4) найти точки пересечения характеристики трубы с  $H-Q$  характеристиками рабочих машин при разных частотах вращения и определить соответствующие им значения  $H_i$  и  $Q_i$ ;

5) для выбранных частот вращения и найденных в пунктах 4 и 5 значений подачи найти коэффициент полезного действия машины  $\eta_i$ ;

6) по найденным в пунктах 4 и 5 значениям подачи, напора и  $\eta$  определить по формуле (17) моменты на ее валу, соответствующие разным  $\eta_i$ .

#### 4. Математическое описание режима КЗ, группового выбега, начальной стадии самозапуска группы электродвигателей с источником питания

Полное математическое описание расчетной схемы рис. 1.1 содержит уравнения цепей источника питания и уравнения стационарных нагрузок полусекций. Дифференциальные уравнения активно-индуктивных нагрузок, представленных соединенными последовательно активными сопротивлениями  $R_{\text{нк}}$  и индуктивностями  $L_{\text{нк}}$ , имеют вид

$$U_{kA} = R_{\text{нк}} \cdot i_{\text{нк}kA} + L_{\text{нк}} \cdot \frac{di_{\text{нк}kA}}{dt};$$

$$U_{kB} = R_{\text{нк}} \cdot i_{\text{нк}kB} + L_{\text{нк}} \cdot \frac{di_{\text{нк}kB}}{dt};$$

$$U_{kC} = R_{HK} \cdot i_{HK} + L_{HK} \cdot \frac{di_{HK}}{dt};$$

$$U_{kA} + U_{kB} + U_{kC} = 0;$$

$$i_{kA} + i_{kB} + i_{kC} = 0;$$

$$k = 1, 2.$$

Силовой трансформатор с расщепленными обмотками независимо от группы соединений представляется схемой замещения, приведенной на рис. 1.4, а. Уравнения ветвей питания, составленные на основании первого закона Кирхгофа, приводятся к виду

$$U_{kA} = E'_A - R_{T_1} \cdot i'_{T_1A} - R_{2k} \cdot i'_{T_2kA} - L_1 \frac{di'_{T_1A}}{dt} - L_{2k} \frac{di'_{T_2kA}}{dt};$$

$$U_{kB} = E'_B - R_{T_1} \cdot i'_{T_1B} - R_{2k} \cdot i'_{T_2kB} - L_1 \frac{di'_{T_1B}}{dt} - L_{2k} \frac{di'_{T_2kB}}{dt}, \quad (19)$$

где  $E'_A$ ,  $E'_B$ ,  $i'_{T_1A}$ ,  $i'_{T_1B}$  – ЭДС и токи стороны высокого напряжения (ВН) трансформатора, приведенные к стороне низкого напряжения (НН).

Параметры схемы замещения трансформатора приведены к стороне НН. Заменяв в уравнениях (1) и (19) напряжения согласно (18), получим в окончательном виде систему дифференциальных уравнений, описывающих режим КЗ, групповой выбег и начальную стадию самозапуска.

Численное решение системы уравнений производится методом Рунге–Кутты с шагом интегрирования 0,0005–0,001 с.

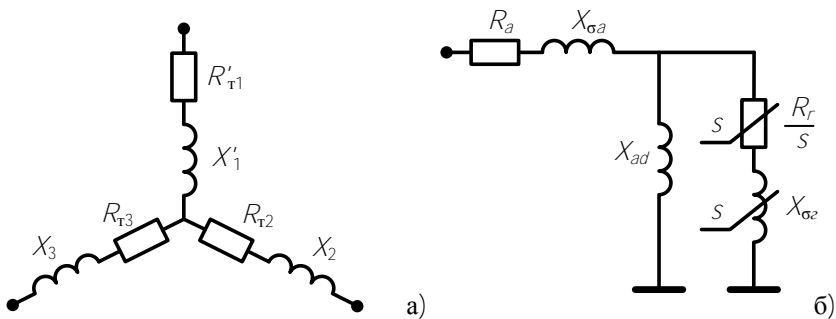


Рис. 1.4. Схемы замещения:

*a* – трансформатора с расщепленной обмоткой; *б* – электродвигателя

## 5. Математическое описание исходного режима, индивидуального выбега и конечной стадии самозапуска группы электродвигателей с источником питания

В исходном режиме и конечной стадии самозапуска токи в контурах двигателей не содержат свободных составляющих. Поэтому в электромагнитных моментах отсутствуют знакопеременные составляющие, а в режиме индивидуального выбега  $D$  отсутствуют и их электромагнитные моменты. В связи с этим в данных режимах решаются только уравнения движения роторов относительно скольжений:

$$\frac{ds_{lk}}{dt} = \frac{1}{T_{jlk}} (M_{\text{мех}/k^*} - M_{\text{эл}/k^*}); \quad (20)$$

$$l = 1, 2, \dots, nk; \quad k = 1, 2.$$

Электромагнитные моменты в исходном режиме и конечной стадии самозапуска определяются через действующие значения токов  $D$ :

$$M_{эл/k*} = I_{Д*/k}^2 (R_{вх/k*} - R_{а/k*}) \frac{1 - S_{н/k}}{\eta_{н/k} \cos \varphi_{н/k}} ; \quad (21)$$

$$l = 1, 2, \dots, nk ; k = 1, 2 .$$

Токи двигателей определяются из электрического расчета схемы рис. 1.2, выполняемого на каждом шаге численного интегрирования уравнений (20). В начале расчета исходного режима определяются параметры Д, не зависящие от скольжения. По заданным значениям напряжения на шинах полусекций, активных и реактивных мощностей нагрузок,  $k_3$  двигателей определяются токи в ветвях трансформатора и ЭДС питающей системы.

В дальнейшем на каждом шаге определяются активное сопротивление  $R_{г/k*}$  и реактивность рассеяния  $X_{ст/k*}$  контуров роторов Д с учетом вытеснения токов согласно (3), (4) и соответствующие им значения полных входных сопротивлений Д согласно рис. 1.4, б):

$$I_{в*/k} = R_{а/k*} + jX_{са/k*} + \frac{jX_{аб/k*} \left( \frac{R_{г/k*}}{S} + jX_{ст/k*} \right)}{\frac{R_{г/k*}}{S_{jk}} + j(X_{ст/k*} + X_{ад/k*})} = R_{вх/k} + jX_{вх/k} .$$

Согласно рис. 1.2 определяем полное результирующее сопротивление схемы относительно общей точки:

$$Z_{\Sigma k} = R_{2k} + jX_{2k} + \frac{1}{\frac{1}{Z_{нк}} + \sum_{l=1}^{n_k} \frac{1}{Z_{вх/lk}}} ; k = 1, 2 ,$$

где  $Z_{нк} = R_{нк} + jX_{нк}$  – полное сопротивление стационарных нагрузок полусекций.

Полное результирующее сопротивление обеих ветвей относительно ЭД источника питания:

$$Z_{\Sigma} = R_{T_1} + jX_1 + \frac{Z_{\Sigma 1} Z_{\Sigma 2}}{Z_{\Sigma 1} + Z_{\Sigma 2}}.$$

По величинам ЭДС источника и результирующего сопротивления определяются напряжения на шинах полусекций и токи каждого двигателя, необходимые для определения электромагнитных моментов.

Механическая характеристика Д базируется на упрощенной схеме замещения (рис. 1.5).

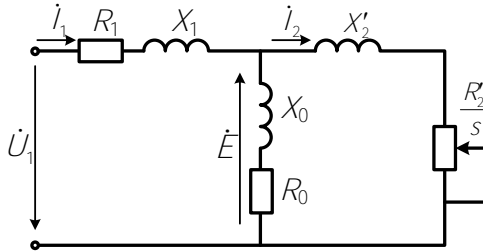


Рис. 1.5. Схема замещения асинхронного двигателя

На рисунке приняты следующие обозначения:

$U_{\phi}$  – первичное фазное напряжение;

$i_1$  – фазный ток статора;

$i_2'$  – приведенный ток ротора;

$X_1$  и  $X_2'$  – первичное и вторичное приведенные реактивные сопротивления рассеяния;

$R_1$  и  $R_2'$  – первичное и вторичное приведенные активные сопротивления;

$R_0$  и  $X_0$  – активное и индуктивное сопротивления контура намагничивания;

$S = \frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0}$  – скольжение двигателя;

$\omega_0 = \frac{2\pi n_0}{60}$  – синхронная угловая скорость двигателя.

$n_0 = \frac{2\pi f_1}{p}$ ;

$f_1$  – частота сети;

$p$  – число пар полюсов.

В соответствии с приведенной схемой замещения из выражения для потерь мощности получено выражение для вращающего момента Д:

$$M = \frac{3U_{\phi}^2 R_2'}{\omega_0 \left[ \left( R_1 + \frac{R_2'}{S} \right)^2 + \left( X_1 + X_2' \right)^2 \right] S}. \quad (22)$$

Кривая момента  $M = f(S)$  имеет два максимума: один – в генераторном режиме; другой – в двигательном. Критическое скольжение  $S_k$ , при котором Д развивает максимальный (критический) момент:

$$S_k = \pm \frac{R_2'}{\sqrt{R_1^2 + \left( X_1 + X_2' \right)^2}}. \quad (23)$$

Выражение для максимального момента  $M_k$ :

$$M_k = \frac{3U_{\phi}^2}{2\omega_0 \left[ R_1 \pm \sqrt{R_1^2 + \left( X_1 + X_2' \right)^2} \right]}. \quad (24)$$

Знак «+» в равенствах (23) и (24) относится к двигательному режиму (или торможению противовключением), знак «-» – к генераторному режиму. После деления (22) на (24) и соответствующих преобразований получена формула расчета момента двигателя в о.е.:

$$M = \frac{2M_k(1 + aS_k)}{\frac{S}{S_k} + \frac{S_k}{S} + 2a \cdot S_k}, \quad (25)$$

где

$$a = \frac{R_1}{R_2}.$$

Как видно из (22) при данном скольжении  $M$  двигателя пропорционален  $U^2$ , поэтому он чувствителен к колебаниям напряжения сети. Механическая характеристика Д имеет вид, представленный на рис. 1.6.

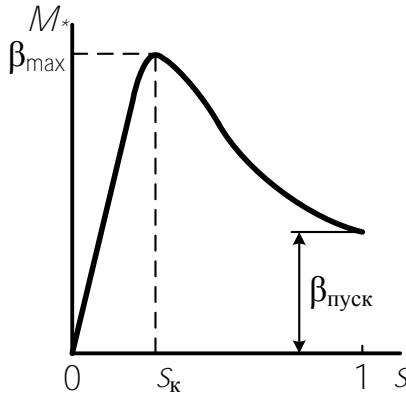


Рис. 1.6. К выводу формул для расчета механических характеристик асинхронного двигателя



Механическая характеристика Д имеет следующие характерные точки (рис. 1.7):

1)  $S = 0$ ;  $M = 0$ , при этом скорость вращения Д равна синхронной;

2)  $S_{\text{ном}} = 0$ ;  $M_{\text{ном}} = 0$ , что соответствует номинальной скорости и номинальному моменту;

3)  $S = S_k$ ;  $M = M_k$  – критический момент в двигательном режиме;

4)  $S = 1,0$ ;  $M = M_{\text{пуск}} = \frac{2M_k(1 + a \cdot S_k) \cdot S_k}{1 + S_k^2(1 + 2a)}$  – начальный пусковой момент.

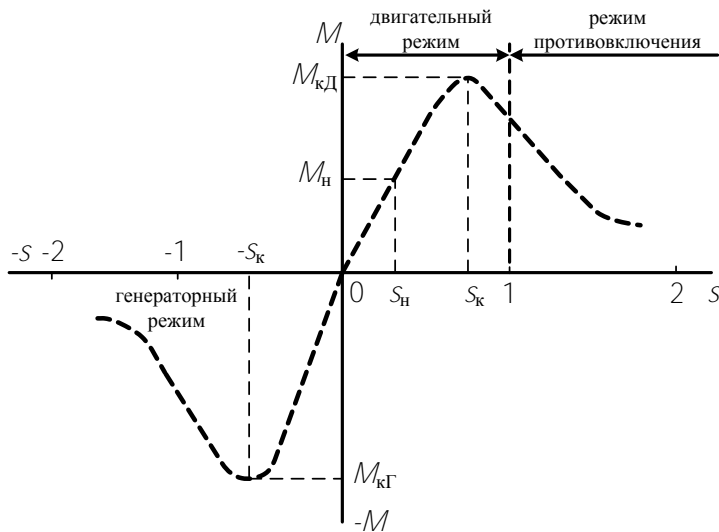


Рис. 1.7. Механическая характеристика асинхронных машин:  $S_k$  – критическое скольжения;  $M_{кГ}$ ,  $M_{кД}$  – максимальные моменты асинхронного двигателя в режиме двигателя и генератора

Если в формуле (25) пренебречь активным сопротивлением статора, то получится более удобная для расчетов формула Клосса:

$$M = \frac{2M_{\text{к}}}{\frac{S}{S_{\text{к}}} + \frac{S_{\text{к}}}{S}}. \quad (26)$$

Используем систему относительных единиц:

$$M_* = \frac{M}{M_{\text{ном}}}, \quad M_{*\text{к}} = \beta_{\text{мах}} = \frac{M_{\text{к}}}{M_{\text{ном}}},$$

где  $M_{*\text{к}} = \beta_{\text{мах}}$  – кратность критического момента, характеризующая перегрузочную способность Д.

Величина  $\beta_{\text{мах}}$  нормирована и находится в диапазоне 1,7–3,4 в зависимости от типа Д. Часть механической характеристики Д, соответствующая  $0 \leq S \leq S_{\text{к}}$ , называется областью статической устойчивости. Рабочая область характеристики меньше области статической устойчивости. Ей соответствуют  $S$  в диапазоне  $0 \leq S \leq S_{\text{ном}}$ , где  $S_{\text{ном}}$  обычно в 4–5 раз меньше критического. В рабочей части механическая характеристика двигателя практически линейна. Если скольжение двигателя близко к номинальному, то можно принимать

$$M_* \cong \frac{S}{S_{\text{ном}}}.$$

**Пример.** Построить механическую характеристику двигателя А04-355АХ-4УХЛЗ с параметрами:

$$P_{\text{ном}} = 250 \text{ кВт},$$

$$n_{\text{ном}} = 1480 \text{ об/мин}, \quad n_{\text{синхр}} = 1500 \text{ об/мин},$$

$$\beta_{\text{мах}} = 2,4, \quad \beta_{\text{пуск}} = 1,3.$$

**Решение.**

1. Определяем номинальное и критическое скольжение Д:

$$S_{\text{ном}} = 1 - \frac{n_{\text{ном}}}{n_{\text{синхр}}} = 1 - \frac{1480}{1500} = 0,0133 \text{ о.е.};$$

$$S_{\text{к}} = S_{\text{ном}} \cdot \left( \beta_{\text{max}} + \sqrt{\beta_{\text{max}}^2 - 1} \right) = 0,061 \text{ о.е.}$$

2. В соответствии с нормативными материалами отрасли строим механическую характеристику Д, используя следующие формулы расчета:

$$M = \frac{2\beta_{\text{max}}}{\frac{S}{S_{\text{к}}} + \frac{S_{\text{к}}}{S}}, \text{ при } S \leq S_{\text{к}};$$

$$M = M + \left( \beta_{\text{пуск}} - 2\beta_{\text{max}} \frac{S_{\text{к}}}{1 + S_{\text{к}}} \right) \sqrt{\frac{S - S_{\text{к}}}{1 - S_{\text{к}}}}, \text{ при } S > S_{\text{к}}.$$

Результаты расчета приводятся в таблице 1.2.

Таблица 1.2

**Расчетные точки механической характеристики  
асинхронного двигателя**

$n$	0	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3
$S$	1,0	0,95	0,9	0,85	0,8	0,75	0,7
$M, \text{ о.е.}$	1,3	1,288	1,277	1,267	1,258	1,251	1,247

$n$	0,35	0,4	0,45	0,5	0,55	0,6	0,65
$S$	0,65	0,6	0,55	0,5	0,45	0,4	0,35
$M, \text{ о.е.}$	1,246	1,247	1,254	1,266	1,288	1,321	1,371

Окончание табл. 1.2

$n$	0,7	0,75	0,8	0,85	0,9	0,939	0,917
$S$	0,3	0,25	0,2	0,15	0,1	0,061	0,0133
$M$ , о.е.	1,446	1,557	1,727	1,985	2,339	2,4	0,999

### *Ход выполнения работы*

1. Изучить и законспектировать теоретические сведения по самозапуску двигателей собственных нужд ТЭС.

2. Для заданных преподавателем типов и марок механизма и асинхронного двигателя построить механическую характеристику.

*Лабораторная работа № 2*  
**ИЗУЧЕНИЕ КОМПЬЮТЕРНОЙ ПРОГРАММЫ  
РАСЧЕТА САМОЗАПУСКА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ  
СОБСТВЕННЫХ НУЖД ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ**

**Цель работы:** освоение компьютерной программы расчета самозапуска электродвигателей собственных нужд электростанции на ПЭВМ; формирование расчетной схемы собственных нужд электростанции.

***Назначение и структура программы***

Программный комплекс предназначен для расчета самозапуска электродвигателей напряжением 6 кВ собственных нужд (СН) ТЭЦ. При расчете самозапуска электродвигателей автоматически выполняются расчеты: исходного установившегося режима, режима короткого замыкания, группового выбега электродвигателей в бестоковую паузу и группового самозапуска электродвигателей после восстановления напряжения. Особенностью программы является наличие встроенной базы данных, содержащей сведения о трансформаторах СН ТЭЦ, о секциях напряжением 6 кВ распределительных устройств (РУ) СН ТЭЦ, связях между секциями 6 кВ, об электродвигателях напряжением 6 кВ и механизмах СН. Информация в базе данных ограничена сведениями, необходимыми для расчета самозапуска электродвигателей. Эти данные постоянно находятся в запоминающем устройстве персонального компьютера (ПК) и легко могут быть изменены, удалены или внесены их другие значения. Это позволяет исключить большие затраты времени и труда по сбору, предварительной обработке и заданию исходных данных в случае периодически повторяющихся расчетов. Результаты расчета самозапуска электродвигателей представляются в виде осциллограмм напряжения и тока секции (секций), скоростей вращения электродвигателей в процессе самозапуска. Исходные данные для каждого конкрет-

ного расчета формируются в виде таблиц, содержащих условия расчета и необходимые пояснения.

Программа представляет собой комплекс, включающий в себя программу-диспетчер и отдельные программные блоки, позволяющие выполнять операции с базой данных, расчет самозапуска электродвигателей и отображение результатов расчета. Выбор режима работы программы выполняется с помощью горизонтального меню, появляющегося на экране видеомонитора после загрузки программы в оперативную память машины. Горизонтальное меню содержит следующие возможные режимы работы программы:

- «Инструкция»;
- «Корректировка данных»;
- «Расчет»;
- «Условия расчета»;
- «Выход».

Выбор режима работы программы производится с помощью клавиш [→], [←]. Реализуется выбранный режим работы программы нажатием клавиши [Enter]. При этом программа-диспетчер передает управление соответствующему программному блоку, который обеспечивает работу программы в выбранном режиме. В режиме «Инструкция» выполняется просмотр инструкции. В режиме «Корректировка данных» выполняются операции с базой данных. В режиме «Расчет» выполняется расчет самозапуска электродвигателей выбранной секции РУ СН. В режиме «Условия расчета» производится просмотр на видеомониторе или печать на принтере исходных данных последнего выполненного расчета самозапуска электродвигателей. Режим «Выход» обеспечивает прекращение работы программы.

Для работы с программой целесообразно создать на жестком диске отдельный каталог. В этот каталог необходимо поместить исполняемые файлы программы SAMOSAPU.EXE, VFILE2.EXE

и DD.EXE. Эти файлы составляют минимальный набор, позволяющий осуществлять работу программного комплекса. Кроме указанных файлов в каталог должны быть помещены файлы с расширением (спецификацией) \*.DAT, содержащие информацию о базе данных. Программный комплекс построен таким образом, что позволяет создавать новую базу данных или редактировать существующую базу данных.

Выполнение расчетов самозапуска электродвигателей возможно только при наличии базы данных. Для работы программного комплекса в оперативную память ПК должен быть загружен головной файл SAMOSAPU.EXE. Исполняемые файлы программы VFILE2.EXE и DD.EXE загружаются в оперативную память ПК по мере необходимости головным исполняемым файлом. При выполнении расчетов самозапуска электродвигателей программа создает вспомогательные файлы с расширениями, отличными от \*.EXE и \*.DAT. Программа разработана на базе алгоритмических языков Паскаль и Фортран и работает под управлением Windows XP.

В приложении приводится подробная инструкция по работе с базой данных компьютерной программы и излагается порядок выполнения расчетов. С полной инструкцией к программе можно ознакомиться в процессе непосредственной работы с программой в режиме «Инструкция».

### ***Ход выполнения работы***

1. Ознакомиться с инструкцией к программе и самой программой расчета самозапуска электродвигателей собственных нужд электростанций (приложение).

2. Для заданного преподавателем варианта схемы собственных нужд ТЭЦ подготовить исходную схему, которая будет использоваться в последующих работах. Составить и зарисовать в отчете схему присоединений механизмов собственных нужд с указанием номинальных параметров основных элементов (ис-

точников питания, систем шин, присоединений к сборным шинам собственных нужд). Основные параметры присоединений для каждой секции занести в таблицу 2.1.

Таблица 2.1

Номер ячейки	Наименования присоединения	Тип двигателя	Скорость электродвигателя	Коэффициент загрузки двигателя	Тип механизма



*Лабораторная работа № 3*  
**ВЛИЯНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ СЕТИ  
 НА УСПЕШНОСТЬ САМОЗАПУСКА  
 ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ СОБСТВЕННЫХ НУЖД**

**Цель работы:** оценить влияние основных параметров сети на успешность самозапуска электродвигателей собственных нужд.

*Ход выполнения работы*

Оценка влияния параметров на самозапуск электродвигателей производится с использованием схемы сети собственных нужд, составленной в процессе выполнения лабораторной работы № 2.

1. Снять зависимости времени восстановления напряжения ( $t_{\text{вост}} = f(t_{\text{пер}})$ ), установившегося напряжения ( $U_{\text{уст}} = f(t_{\text{пер}})$ ) на шинах собственных нужд и времени восстановления установившейся частоты вращения двух электродвигателей  $t_{\text{вост1}} = f(t_{\text{пер}})$  и  $t_{\text{вост2}} = f(t_{\text{пер}})$  от времени перерыва питания ( $t_{\text{пер}}$ ) при переключении их с основного на резервный источник питания. Принять время короткого замыкания  $t_{\text{кз}} = 0,2$  с. Временем расчета варьировать в пределах 10–30 с. Результаты измерений занести в таблицу 3.1.

Таблица 3.1

$t_{\text{пер}}, \text{ с}$	0,1	0,2	0,3	0,5	0,7	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,5	2,6	2,9
$t_{\text{вост}}, \text{ с}$																
$U_{\text{уст}}, \text{ о.е.}$																
$U_{\text{уст}}, \text{ кВ}$																
$I_{\text{СШ}}, \text{ кА}$																
$t_{\text{вост1}}, \text{ с}$																
$t_{\text{вост2}}, \text{ с}$																

Вывести на печать исходные данные и результаты одного из вариантов расчета, полученного в процессе выполнения работы.

2. Снять зависимости времени восстановления напряжения ( $t_{\text{вост}} = f(U_{\text{раб}})$ ), установившегося напряжения ( $U_{\text{уст}} = f(U_{\text{раб}})$ ) на шинах собственных нужд и времени восстановления установившейся частоты вращения двух электродвигателей ( $t_{\text{вост1}} = f(t_{\text{пер}})$  и  $t_{\text{вост2}} = f(t_{\text{пер}})$ ) от величины напряжения на резервных шинах собственных нужд при времени переключения с основного на резервный источник питания  $t_{\text{пер}}$  равном: 0,2 с; 0,5 с; 0,7 с; 1,0 с; 1,2 с; 1,5 с; 1,7 с; 2,0 с. Принять время короткого замыкания  $t_{\text{кз}} = 0,2$  с. Временем расчета варьировать в пределах 10–30 с. Результаты измерений занести в таблицу вида таблицы 3.2.

Таблица 3.2

$U_{\text{раб}}, \text{кВ}$		5,75	5,80	5,85	5,90	5,95	6,00	6,05	6,10	6,15	6,20
$t_{\text{пер}} = 0,2 \text{ с}$	$t_{\text{вост}}, \text{с}$										
	$U_{\text{уст}}, \text{кВ}$										
	$t_{\text{вост1}}, \text{с}$										
	$t_{\text{вост2}}, \text{с}$										

Вывести на печать исходные данные и результаты одного из вариантов расчета, полученного в процессе выполнения работы.

3. Снять зависимость величины максимального тока, потребляемого секцией собственных нужд ( $I_{\text{сш}} = f(t_{\text{пер}})$ ) от времени перерыва питания при переключении их с основного на резервный источник питания. Принять время короткого замыкания  $t_{\text{кз}} = 0$  с. Результаты измерений занести в таблицу 3.3.

Таблица 3.3

$t_{\text{пер}}, \text{с}$	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,10	0,11	0,12
$I_{\text{сш}}, \text{кА}$								

$t_{\text{пер}}, \text{с}$	0,13	0,14	0,15	0,16	0,17	0,18	0,19	0,20
$I_{\text{сш}}, \text{кА}$								

Вывести на печать исходные данные и результаты одного из вариантов расчета, полученного в процессе выполнения работы.

### ***Содержание отчета***

1. Результаты вычислений по пункту 1 (таблица 3.1) и зависимости  $t_{\text{вост}} = f(t_{\text{пер}})$ ,  $U_{\text{уст}} = f(t_{\text{пер}})$ ,  $t_{\text{вост1}} = f(t_{\text{пер}})$  и  $t_{\text{вост2}} = f(t_{\text{пер}})$ .

2. Результаты вычислений по пункту 2 (таблица 3.2) и зависимости  $t_{\text{вост}} = f(U_{\text{раб}})$ ,  $U_{\text{уст}} = f(U_{\text{раб}})$ ,  $t_{\text{вост1}} = f(U_{\text{раб}})$  и  $t_{\text{вост2}} = f(U_{\text{раб}})$  для различных  $t_{\text{пер}}$ .

3. Результаты вычислений по пункту 3 (таблица 3.3) и зависимость  $I_{\text{сш}} = f(t_{\text{пер}})$ .

4. Распечатки исходных данных и результатов расчетов.

*Лабораторная работа № 4*  
**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ  
ХАРАКТЕРИСТИК АГРЕГАТОВ СОБСТВЕННЫХ  
НУЖД ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ**

**Цель работы:** изучение методики определения моментов сопротивления и вращающих моментов по результатам осциллографирования и построение электромеханических характеристик агрегатов собственных нужд электростанций.

*Теоретические сведения*

Для расчета процесса самозапуска электродвигателей собственных нужд электрических станций в общем случае необходимо знать:

- зависимости пусковых токов ( $I_{\text{пуск}}$ ) и сопротивлений электродвигателей ( $Z_{\text{д}}$ ) от скольжения;
- зависимости вращающих моментов электродвигателей ( $M_{\text{вр}^*}$ ) и моментов сопротивления агрегатов ( $M_{\text{с}^*}$ ) от скольжения;
- зависимости частоты вращения  $n$  от времени при пуске (разбеге) и выбеге агрегата;
- механические постоянные времени агрегатов  $T_j$ .

Эти данные могут быть получены при проведении опытов пуска и выбега электродвигателей. При пуске электродвигателя должны осциллографироваться:

- ток в одной из фаз электродвигателя;
- частота вращения электродвигателя при разбеге;
- потребляемая электродвигателем из сети мощность;
- напряжение на шинах секции, от которой питается электродвигатель.

При выбеге электродвигателя необходимо осциллографировать: частоту вращения и напряжение на статоре электродвигате-

ля в процессе выбега. По результатам осциллографирования строятся и исследуются интересные для исследователей характеристики. При этом особый интерес представляет методика определения моментов сопротивления  $M_{c^*}$  и вращающих моментов  $M_{вр^*}$  по результатам осциллографирования. Момент сопротивления можно определить так называемым методом графического дифференцирования кривой частоты вращения при выбеге. Это следует из того, что относительное значение момента при выбеге можно представить в виде

$$M_{c^*} = T_j \frac{dn^*}{dt} = -T_j \frac{ds}{dt},$$

где  $n^* = \frac{n}{n_{ном}}$ .

На рис. 4.1 представлен пример построения кривой момента сопротивления  $M_{c^*}$  электродвигателя по кривой выбега.

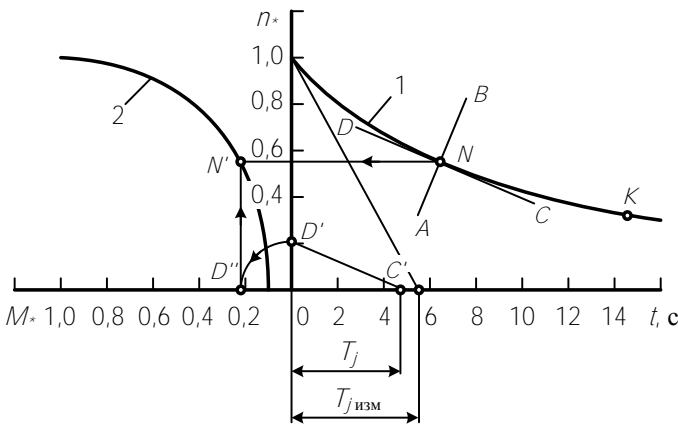


Рис. 4.1. Построение зависимости момента сопротивления

Вначале строится в относительных единицах кривая 1 изменения частоты вращения во времени при выбеге. Ось времени продолжается влево от нуля и на эту ось наносятся относительные единицы изменения момента. При этом необходимо, чтобы на чертеже масштаб момента в относительных единицах был равен масштабу частоты вращения в относительных единицах.

Построение кривой 2 для момента сопротивления  $M_{c^*}$  ведется по точкам. Например, в точке  $N$  зависимости  $n_* = f(t)$  проводится касательная  $DC$ . Параллельно ей проводится прямая  $D'C'$ , проходящая через точку  $C'$ , соответствующую значению  $T_j$ . Затем точка  $D$  переносится циркулем на ось моментов (точка  $D'$ ).

Искомая точка момента сопротивления  $N'$  находится пересечением вертикали из точки  $D'$  и горизонтали из точки  $N$ .

Величина  $T_{j\text{изм}}$  определяется величиной подкасательной, полученной при пересечении касательной, проведенной к кривой выбега в ее начале. По измеренному значению находится  $T_j$  приведением к номинальной мощности по формуле

$$T_j = T_{j\text{изм}} \frac{P_{1\text{изм}}}{P_{\text{ном}}},$$

где  $P_{1\text{изм}}$  – мощность, потребляемая электродвигателем перед отключением.

Так как кривая выбега бывает очень пологой, то для построения касательных удобно пользоваться зеркальцем. Для этого зеркальце ставят, например для точки  $N$ , по линии  $AB$  так, чтобы отражение в нем кривой  $NK$  являлось как бы ее продолжением (без излома). Линия  $DC$ , проведенная через точку  $N$  перпендикулярно к  $AB$ , будет касательной к кривой



ских потерь, потерь в стали и меди статора и может быть определен по формуле

$$M_{вр*} = \frac{\left[ P_1 - 3I_1^2(R_1 + R_{каб}) - \Delta P_{ст} \left( \frac{U_1}{U_{НОМ}} \right)^2 \right] (1 - S_{НОМ})}{P_{НОМ}},$$

где  $P_1$  – мощность, потребляемая электродвигателем из сети (по осциллограмме), кВт;

$R_1, R_{каб}$  – сопротивление фазы обмотки статора и кабеля питания (с учетом температуры), Ом;

$\Delta P_{ст}$  – потери в стали, кВт.

Однако необходимо указать, что значительного увеличения точности при расчете  $M_{вр*}$  по значению активной мощности из осциллограммы пуска получить не удастся, так как кривая мощности получается очень размытой из-за перегрузки и насыщения трансформаторов тока и преобразователя мощности.

### ***Ход выполнения работы***

1. Изучить методику построения зависимости момента сопротивления агрегата от скольжения  $M_{с*} = f(s)$ .

2. Изучить методику построения зависимости вращающего момента электродвигателя  $M_{вр*} = f(s)$ .

3. По компьютерной программе самозапуска электродвигателей собственных нужд снять осциллограммы частоты вращения агрегата предложенного присоединения блока при индивидуальном выбеге и пуске ( $n_1 = f(t)$  и  $n_2 = f(t)$ ). Для снятия характеристики принять: время короткого замыкания  $t_{кз} = 0$  с, происхо-



дит отключение двух секций собственных нужд блока. Путем изменения времени перерыва питания и времени расчета добиться удобной для дальнейшей обработки осциллограммы частоты вращения. Распечатать зависимости  $n_1 = f(t)$  и  $n_2 = f(t)$ .

4. Построить зависимость  $M_{c^*} = f(s)$  для снятой кривой выбега.

5. Построить зависимость  $M_{вр^*} = f(s)$  для снятой кривой пуска.

### ***Содержание отчета***

1. Краткие теоретические сведения.
2. Кривые выбега и пуска агрегата собственных нужд.
3. Зависимости  $M_{c^*} = f(s)$  и  $M_{вр^*} = f(s)$ .

## ЛИТЕРАТУРА

1. Сивокобыленко, В.Ф. Математическое моделирование электродвигателей собственных нужд электрических станций / В.Ф. Сивокобыленко, В.И. Костенко. – Донецк, 1979.
2. Иванов-Смоленский, А.В. Электрические машины / А.В. Иванов-Смоленский. – М.: Энергия, 1980.
3. Методические указания по испытаниям электродвигателей собственных нужд электростанций и расчетам режимов их работы при перерывах питания. – М.: Союзтехэнерго, 1983.
4. Собственные нужды тепловых электростанций / под ред. Ю.Н. Голодного. – М.: Энергоатомиздат, 1991.
5. Электрическая часть станций и подстанций / под ред. А.А. Васильева [и др.]. – 2-е изд. – М.: Энергоатомиздат, 1990.
6. Москаленко, В.В. Электрический привод В.В. Москаленко. – М.: Высшая школа, 1991.
7. Неклепаев, Б.Н. Электрическая часть электростанций и подстанций: справочные материалы для курсового и дипломного проектирования / Б.Н. Неклепаев, И.Л. Крючков. – 4-е изд. – М.: Энергоатомиздат, 1989.
8. Сергей, И.И. Выбор асинхронного электропривода механизмов собственных нужд электростанций: учебно-методическое пособие / И.И. Сергей, П.И. Климкович. – Минск: БНТУ, 2007. – 84 с.

## **ИНСТРУКЦИЯ ПО РАБОТЕ С КОМПЬЮТЕРНОЙ ПРОГРАММОЙ РАСЧЕТА САМОЗАПУСКА**

Программный комплекс предназначен для расчета самозапуска электродвигателей напряжением 6 кВ собственных нужд ТЭЦ. Особенностью программы является наличие базы данных, содержащей сведения об основных элементах схемы СН ТЭЦ.

### **1. Работа с базой данных**

#### ***1.1. Краткая характеристика базы данных***

База данных, необходимых для выполнения расчетов самозапуска электродвигателей, содержит информацию об элементах схемы СН, каталог двигателей 6 кВ и каталог механизмов СН. Вся исходная информация об элементах схемы СН в зависимости от их объема и вида выделена в следующие группы:

- секции 6 кВ;
- присоединения к секциям, под которыми понимаются электродвигатели 6 кВ и механизмы СН;
- основные и резервные ТСН, питающие секции 6 кВ;
- реакторы, питающие секции 6 кВ;
- сопротивления связей, под которыми понимается сопротивление токопроводов между секциями 6 кВ и основными и резервными источниками питания;
- сопротивления (мощности) КЗ на стороне высшего напряжения основных и резервных ТСН, которые характеризуют режим питающих систем.

По указанному групповому признаку компьютерной программой при создании базы данных автоматически организуются на жестком диске файлы, в которые помещается информация. Фай-

лы, содержащие информацию о базе данных, имеют расширение (спецификацию) \*.DAT. Рекомендуется после создания базы данных снять ее копию. Это позволит при сбоях жесткого диска восстановить потерянную информацию.

### *1.1.1. Описание секций РУ 6 кВ СН*

Описание секций РУ 6 кВ СН станции состоит из следующих позиций:

1. Номер секции. Под номером секции понимается обозначение секции на схеме электрических соединений станции.
2. Номинальное напряжение секции (кВ).
3. Вид основного источника, питающего секцию (трансформатор, или реактор).
4. Номер основного источника питания. Под номером основного источника питания понимается обозначение его на схеме электрических соединений станции.
5. Номер резервного трансформатора собственных нужд, питающего секцию. Под номером трансформатора понимается обозначение трансформатора на схеме электрических соединений станции.
6. Суммарная нагрузка трансформаторов 6/0,4 кВ ( $P$  МВт,  $\cos \varphi$ ), подключенных к описываемой секции.
7. Номер питаемой секции. Указывается, если описываемая секция является основным источником питания другой секции.

### *1.1.2. Описание присоединений к секциям РУ 6 кВ СН*

Описание присоединений к секциям РУ 6 кВ СН представляет собой последовательность описаний каждого присоединения секции. Под присоединением к секции понимается присоединение, состоящее из электродвигателя 6 кВ и механизма СН.

Описание присоединений к секциям РУ 6 кВ СН станции состоит из следующих позиций:

1. Номер ячейки и наименование присоединения. Под номером ячейки и наименованием присоединения понимается обозначение присоединения на схеме электрических соединений станции. Номер ячейки и наименование присоединения разделяются одним или несколькими пробелами. Например: 3 1ДВА, где 3 – номер ячейки, 1ДВА – наименование присоединения.

2. Тип двигателя. Указывается паспортный тип электродвигателя. Например: АО2-21-39-16У1.

3. Номинальное напряжение электродвигателя (кВ).

4. Скорость электродвигателя. Этот параметр введен для описания двухскоростных электродвигателей. Он может принимать следующие значения: 1 – если присоединение питает первую скорость двухскоростного электродвигателя; 2 – если присоединение питает вторую скорость двухскоростного электродвигателя. Для односкоростного электродвигателя значение этого параметра или не задается (заполняется пробелами) или задается прочерком («—»).

5. Коэффициент загрузки двигателя (о.е.). Под коэффициентом загрузки двигателя понимается отношение мощности, потребляемой механизмом СН, к номинальной мощности электродвигателя.

6. Защита минимального напряжения электродвигателя. Задается напряжение срабатывания защиты (кВ) и время срабатывания защиты (с). При отсутствии защиты  $U_{сз}$  и  $t_{сз}$  или не задается (заполняется пробелами) или задается прочерком («—»).

7. Тип механизма. Указывается паспортный тип механизма. Например: ПЭ 430-200.

8. Режим пуска механизма. Под режимом пуска механизма понимаются условия работы механизма при самозапуске электродвигателя: с открытой задвижкой, с закрытой задвижкой, механизм имеет обратный клапан. Описание режимов пуска механизма выполняется соответственно следующими ключе-

выми словами: «открытая задвижка», «закрытая задвижка», «обратный клапан».

9. Обороты открытия обратного клапана (о.е.). Под оборотами открытия обратного клапана понимается отношение оборотов механизма СН, при которых открывается обратный клапан, к номинальным оборотам механизма. Для механизма, который при самозапуске электродвигателя работает с открытой задвижкой или с закрытой задвижкой, значение этого параметра или не задается (заполняется пробелами) или задается прочерком («←»).

Необходимо помнить, что описание присоединений какой-либо секции можно будет выполнить только тогда, когда выполнено описание этой секции.

### *1.1.3. Описание основных и резервных трансформаторов СН*

Описание основных и резервных трансформаторов СН состоит из следующих позиций:

1. Номер трансформатора. Под номером трансформатора понимается обозначение трансформатора на схеме электрических соединений станции.

2. Номинальная мощность трансформатора  $S_n$  (МВА).

3. Номинальные напряжения обмоток высокого и низкого напряжений трансформатора (кВ).

4. Схемы соединения обмоток высокого и низкого напряжений трансформатора. Обмотки, соединенные в «звезду», обозначаются заглавной буквой «Y» латинского алфавита. Обмотки, соединенные в «треугольник», обозначаются заглавной буквой «Д» русского алфавита. Обозначения схем соединения обмоток высокого и низкого напряжений трансформатора разделяются символом «/», например: Y/Д/Д.

5. Значения напряжений короткого замыкания (%) между обмотками высокого и низкого напряжений трансформатора.

6. Половина диапазона регулирования напряжения (%). Например, при диапазоне регулирования  $\pm 12,5\%$  необходимо указать 12,5.

7. Величины сопротивления короткого замыкания (Ом) и напряжения (кВ), к которому приведена величина сопротивления короткого замыкания, или величина мощности короткого замыкания (МВА) при коротком замыкании на высоковольтных выводах трансформатора при максимальном режиме работы питающей системы.

8. Величины сопротивления короткого замыкания (Ом) и напряжения (кВ), к которому приведена величина сопротивления короткого замыкания, или величина мощности короткого замыкания (МВА) при коротком замыкании на высоковольтных выводах трансформатора при минимальном режиме работы питающей системы.

9. Потери короткого замыкания трансформатора (кВт).

10. Номера питаемых секций. Под номером питаемых секций понимается обозначение питаемых секций на схеме электрических соединений станции. Для резервных трансформаторов номера питаемых секций не указываются.

#### *1.1.4. Описание реакторов, питающих секции 6 кВ СН*

Описание реакторов СН состоит из следующих позиций:

1. Номер реактора. Под номером реактора понимается обозначение реактора на схеме электрических соединений станции.

2. Номинальное напряжение реактора (кВ).

3. Длительно допустимый (номинальный) ток (А).

4. Номинальные потери на фазу (кВт).

5. Номинальное реактивное сопротивление реактора  $X_{\text{н}}$  (Ом).

6. Номинальный коэффициент связи (о.е.).

7. Величины сопротивления короткого замыкания (Ом) и напряжения (кВ), к которому приведена величина сопротивления

короткого замыкания, или величина мощности короткого замыкания (МВА) при коротком замыкании на питаемой стороне реактора при максимальном режиме работы питающей системы.

8. Величины сопротивления короткого замыкания (Ом) и напряжения (кВ), к которому приведена величина сопротивления короткого замыкания, или величина мощности короткого замыкания (МВА) при коротком замыкании на питаемой стороне реактора при минимальном режиме работы питающей системы.

9. Номера питаемых секций. Под номером питаемых секций понимается обозначение питаемых реактором секций на схеме электрических соединений станции.

### *1.1.5. Описание каталогов двигателей 6 кВ*

Каталог двигателей 6 кВ и каталог механизмов СН введены для облегчения подготовки данных при выполнении расчетов. В описании присоединений к секциям РУ СН указываются паспортные типы электродвигателей и механизмов СН, а необходимая для расчета информация автоматически выбирается из каталогов двигателей 3 (6) кВ и механизмов СН.

Описание электродвигателей в каталогах представляет собой последовательность описаний отдельных типов электродвигателей 6 кВ.

Описания электродвигателей в каталогах состоят из следующих позиций:

1. Тип электродвигателя. Представляет собой паспортный тип электродвигателя. Промышленностью выпускаются некоторые серии электродвигателей, имеющие одинаковые параметры и разные паспортные типы. Например, электродвигатели А13-42-12 и А313-42-12 имеют одинаковые параметры. Для таких электродвигателей тип второго электродвигателя указывается в круглых скобках за записью типа первого электродвигателя. Например: А13-42-12 (А313-42-12) или А(А3)13-42-12.



2. Номинальная мощность (кВт) и номинальный ток (А) электродвигателя.

3. Номинальный КПД (о.е.) и номинальный  $\cos\varphi$  (о.е.) электродвигателя.

4. Номинальная частота вращения (об/мин) электродвигателя.

5. Кратности максимального и пускового моментов (о.е.) электродвигателя.

6. Кратность пускового тока (о.е.) и активного сопротивления (Ом) статора электродвигателя.

7. Момент инерции ротора ( $\text{кг}\cdot\text{м}^2$ ) электродвигателя.

8. Коэффициенты полиномов  $k_r = f(s)$  и  $k_x = f(s)$  ( $s$  – скольжение электродвигателя), учитывающих изменение параметров обмоток ротора асинхронного электродвигателя из-за наличия эффекта вытеснения тока. Для описания вновь вводимых в каталог электродвигателей при отсутствии данных рекомендуется принимать значения коэффициентов полиномов  $k_r = f(s)$  и  $k_x = f(s)$  равными значениям коэффициентов электродвигателей близких по конструктивному исполнению вновь вводимому.

*Примечание.* При описании двухскоростных электродвигателей параметры, различные для первой и второй скоростей, указываются в следующей очередности: вначале указывается параметр, соответствующий первой скорости, а затем через разделительный символ «/» – параметр, соответствующий второй скорости.

### 1.1.6. Описание каталога механизмов СН

Каталог механизмов содержит паспортные данные механизмов СН.

Описание механизмов в каталогах представляет собой последовательность описаний отдельных типов механизмов СН. Описания механизмов состоят из следующих позиций:

1. Тип механизма. Представляет собой паспортный тип механизма.

2. Момент инерции механизма ( $\text{кг}\cdot\text{м}^2$ ).

3. Начальный момент сопротивления (о.е.) механизма. Если неизвестен, согласно «Методическим указаниям по испытаниям электродвигателей собственных нужд электростанций и расчетам режимов их работы» можно принять равным 0,1–0,15.

4. Коэффициент загрузки при номинальной частоте вращения и расходе равном нулю (о.е.). Равен отношению  $\frac{P_0}{P_{\text{ном}}}$ , где  $P_0$  – мощность, потребляемая насосом при номинальной частоте вращения и расходе равном нулю (кВт),  $P_{\text{ном}}$  – номинальная мощность электродвигателя (кВт). Если коэффициент загрузки неизвестен, то согласно «Методическим указаниям по испытаниям электродвигателей собственных нужд электростанций и расчетам режимов их работы» его можно принять равным 0,6.

## ***1.2. Операции с базой данных***

В программе предусмотрены следующие операции с базой данных:

– добавление данных о новых элементах схемы СН ТЭЦ и описаний двигателей и механизмов в каталоги электродвигателей и механизмов;

– корректировка (изменение) имеющихся исходных данных об элементах схемы СН и описаний двигателей и механизмов в каталогах электродвигателей и механизмов;

– удаление данных об элементах схемы СН и описаний двигателей и механизмов из каталогов электродвигателей и механизмов;

– просмотр на экране видеомонитора исходных данных об элементах схемы СН и описаний двигателей и механизмов;

– вставка данных о новых элементах схемы СН ТЭЦ и описаний двигателей и механизмов в каталоги электродвигателей и механизмов;

– сортировка каталогов электродвигателей и механизмов.

Операции с базой данных выполняются в режиме работы программы «Корректировка данных». При реализации этого режима работы на экране видеомонитора появляется вертикальное меню «Корректировка данных», имеющее следующий вид.

Корректировка данных
Описание секций 6 кВ
Характеристики присоед.
Характеристики тр-ров
Каталог двигателей 6 кВ
Каталог механизмов
Выход

Выбор режима вертикального меню производится с помощью клавиш [↓] и [↑], при нажатии которых строчный курсор (под строчным курсором понимается режим вертикального меню, выделенный синим цветом фона и желтым цветом букв) перемещается. Реализуется выбранный режим вертикального меню нажатием клавиши [Enter]. Первые три режима меню предназначены для выполнения операций с данными об элементах СН ТЭЦ. Четвертый и пятый режимы меню предназначены для операций с каталогами двигателей и механизмов. Режим «Выход» обеспечивает прекращение операций с базой данных и передает управление в горизонтальное меню выбора режима работы программы. Нажатие клавиши [Esc] вызывает действие, аналогичное действию при реализации режима «Выход».

В случае выполнения режима «Характеристики присоед.» меню «Корректировка данных» на экране видеомонитора появляется вертикальное меню «Выбор секции», позволяющее задать номер секции, с соединениями которой необходимо выполнять

операции. Задание номера секции аналогично реализации режима меню «Корректировка данных». После задания номера секции на экране видеомонитора появляется меню «Вид работы».

Следует помнить, что при занесении и корректировке данных в строке, содержащей более одного параметра, заносимые параметры должны быть разделены одним или несколькими пробелами.

При реализации выбранного режима (кроме режимов «Характеристики присоед.» и «Выход») на экране видеомонитора появляется вертикальное меню «Вид работы», имеющее следующий вид:

Вид работы
Добавить
Корректировать
Удалить
Просмотреть
Вставить
Сортировать
Выход

Клавиши [↓], [↑], [Enter] и [Esc] при работе с меню «Вид работы» и меню «Корректировка данных» выполняют аналогичные функции. Наименования режимов меню «Вид работы» соответствуют операциям, выполняемым при реализации соответствующего режима. При выполнении режимов меню «Вид работы» на экране видеомонитора появляется вертикальное меню «Выбор объекта», позволяющее выбрать объект, с которым необходимо выполнить операцию. После выбора объекта (выбор объекта осуществляется клавишами [↑], [↓] и [Enter]) выполняется операция, выбранная в меню «Вид работы».

### *1.2.1. Режим «Добавить»*

Режим «Добавить» необходим для задания параметров нового элемента схемы СН или описания нового двигателя или механизма СН в каталогах двигателей и механизмов. В этом режиме на экране монитора появляется окно редактирования, имеющее вверху надпись «Введите значения». В левой части окна редактирования указываются наименования параметров, которые должны быть заданы. Параметры вводятся построчно. Редактируемая строка выделяется красным цветом символов. Для удаления ошибочно набранного символа нужно воспользоваться клавишами [Delete] или [Backspace]. При необходимости удаления всей вновь набранной строки следует нажать клавишу [Esc]. Запоминание набранных в строке данных производится путем нажатия клавиши [Enter]. Переход на другую строку осуществляется клавишами [↓], [↑].

После занесения в память ПЭВМ всей информации необходимо выбрать режим «Выход» и нажать клавишу [Enter]. Если по каким-либо причинам набранные данные закреплять не нужно, то достаточно нажать клавишу [Esc]. При этом вся набранная информация удаляется из памяти ПЭВМ.

В режиме «Добавить» набранная информация об элементе схемы СН заносится в конец списка элементов, выбранных в вертикальном меню «Корректировка данных».

### *1.2.2. Режим «Корректировка»*

В режиме «Корректировка» в окне редактирования находятся значения параметров выбранного элемента, которые были занесены ранее в режиме «Добавить». После изменения значений параметров необходимо выбрать режим «Выход» и нажать [Enter]. При нажатии клавиши [Esc] набранная информация терется и сохраняется прежнее значение параметров.

### *1.2.3. Режим «Удалить»*

Режим «Удалить» применяется для удаления информации об исключаемых из схемы СН элементах. При реализации режима «Удалить» из базы данных безвозвратно изымается вся информация о выбранном элементе. Для восстановления ее нужно заново набрать в режиме «Добавить». Для защиты от ошибочных действий при выполнении режима «Удалить» на экране видеомонитора дважды появляется сообщение, требующее подтверждения необходимости удаления информации о выбранном элементе из базы данных. Информация будет удалена только в случае двукратного подтверждения.

#### *1.2.4. Режим «Просмотр»*

В режиме «Просмотр» на экране видеомонитора появляется информация о выбранном элементе. В этом режиме невозможно выполнять операции по корректировке исходных данных.

#### *1.2.5. Режим «Вставить»*

Режим «Вставить» аналогичен режиму «Добавить». Отличие заключается в том, что набранная информация об элементе схемы СН вставляется перед информацией об элементе, выбранном строчным курсором.

#### *1.2.6. Режим «Сортировать»*

Режим «Сортировать» предназначен для сортировки информации о двигателях и механизмах СН, содержащейся в каталогах двигателей и механизмах СН. Сортировка выполняется по типам двигателей и механизмов в алфавитном порядке.

## **2. Выполнение расчетов**

Выполнение расчетов осуществляется при реализации режима «Расчет» горизонтального меню. В этом случае на экране видеомонитора появляется вертикальное меню с номерами сек-

ций РУ напряжением 6 кВ. Задание расчета самозапуска электродвигателей какой-либо секции выполняется путем выбора номера этой секции в вертикальном меню (выбор осуществляется клавишами [↑], [↓] и [Enter]).

Расчет самозапуска электродвигателей выполняется в три этапа. На первом этапе формируется расчетная схема, в которой содержатся все сведения о присоединениях секции, о самой секции, о связях между секцией и основным и резервным источниками питания, об основном и резервном источниках питания и т.д., необходимые для расчета самозапуска электродвигателей выбранной секции. При этом на экране видеомонитора появляется сообщение «Выполняется формирование расчетной схемы. Подождите». Формирование расчетной схемы осуществляется путем выборки необходимой информации из базы данных. После окончания формирования расчетной схемы на экране видеомонитора появляется сообщение «Окончено формирование расчетной схемы».

На втором этапе задается информация, определяющая условия расчета самозапуска электродвигателей секции. Для обработки этой информации на экране видеомонитора появляется окно редактирования, имеющее сверху надпись «Расчет самозапуска электродвигателей секций № \_\_\_ и № \_\_\_» с указанием номеров выбранных секций. В левой части окна редактирования указываются наименования параметров, которые определяют условия расчета. Данные, определяющие условия расчета, имеют следующий вид:

1. Длительность режима короткого замыкания на секции (с).
2. Длительность перерыва питания секции (с).
3. Длительность расчетного режима (с).
4. Рабочее напряжение секции (кВ), начальный угол рабочего напряжения секции (градусы).
5. ЭДС системы, питающей резервный трансформатор, (о.е.); начальный угол ЭДС (градусы).

6. Дискретность расчетов (с). Задается дискретность (шаг по времени) решений дифференциальных уравнений (0,001 с) и дискретность решений уравнений механического движения (0,02 с). Дается возможность пользователю изменять дискретность расчетов с целью анализа влияния дискретности расчетов на точность решения.

7. Короткое замыкание на секции (1/2). При задании «1» устанавливается короткое замыкание на первой из указанных в верхней части окна редактирования секций, а при задании «2» – на второй.

8. Отключение одной секции или двух (1/2). При задании «1» отключается от основного источника питания только поврежденная секция, а в случае «2» – отключаются обе секции.

9. Номера ячеек присоединений, исключаемых из расчета. Указываются номера ячеек тех присоединений, двигатели которых по тем или иным причинам не участвуют в процессе самозапуска.

10. Номера ячеек присоединений, об электродвигателях которых необходимо получить информацию. Указываются номера ячеек тех присоединений, об электродвигателях которых нужно получить информацию поведения их в процессе самозапуска.

11. Установленные суммарные активные нагрузка (МВт) первой и второй секций резервного трансформатора собственных нужд. Эти параметры задаются в том случае, когда резервный трансформатор предварительно нагружен. Если резервный трансформатор работает на холостом ходу, то значения этих параметров можно задать равными нулю или пробелами (т.е. вообще не задавать). Если резервный трансформатор предварительно нагружен только на одну секцию, то нагрузку другой секции также можно задать равной нулю или пробелами.

12. Средние коэффициенты загрузки электродвигателей первой и второй секций резервного трансформатора собственных нужд. Эти параметры задаются в том случае, когда резервный трансформатор предварительно нагружен. При работе резервного трансформатора на холостом ходу значения этих параметров можно задать равными единице или пробелами (т.е. вообще не задавать). Если резервный трансформатор предварительно



нагружен только на одну секцию, то средний коэффициент загрузки электродвигателей другой секции также можно задать равным единице или пробелами.

13. Рабочее напряжение (кВ) секции резервного трансформатора собственных нужд. Этот параметр задается в том случае, когда резервный трансформатор предварительно нагружен. При работе резервного трансформатора на холостом ходу значение этого параметра можно задать равными нулю или пробелами (т.е. вообще не задавать). Если резервный трансформатор предварительно нагружен только на одну секцию, то задается рабочее напряжение нагруженной секции.

14. Номер секции (1 или 2) резервного трансформатора собственных нужд, для которой задано рабочее напряжение. Если резервный трансформатор работает на холостом ходу, то значение этого параметра можно задать равным нулю или пробелами (т.е. вообще не задавать).

В правой части окна редактирования находятся два дополнительных окна. Левое дополнительное окно имеет вверху надпись «Прин. знач.» (принятые значения) и предназначено для отображения значений параметров, определяющих условия предыдущего расчета. Правое дополнительное окно имеет вверху надпись «Новые знач.» и предназначено для редактирования значений параметров, определяющих условия предстоящего расчета. Редактирование параметров выполняется следующим образом.

Параметры вводятся построчно. Редактировать следует только те параметры, значения которых должны быть изменены для предстоящего расчета. В редактируемой строке символы выделяется красным цветом. Для удаления ошибочно набранного символа нужно воспользоваться клавишами [Delete] или [Backspace]. При необходимости удаления всей строки следует нажать клавишу [Esc]. Запоминание набранных в строке данных производится путем нажатия клавиши [Enter]. Переход на другую строку осуществляется клавишами [↑], [↓]. После занесения в память

ПЭВМ всей информации необходимо выбрать режим «Выход» и нажать клавишу [Enter].

После этого на экране видеомонитора появляется сообщение «Подготовка данных к расчету окончена» и выполняется третий этап – расчет самозапуска электродвигателей выбранной секции.

При повторных расчетах самозапуска электродвигателей выбранной секции выполняется только второй и третий этапы расчетов, если после выполнения расчета не изменялась информация, содержащаяся в базе данных. В этом случае используется ранее сформированная расчетная схема.

### **3. Результаты расчетов**

В процессе расчета результаты расчета выдаются на экран монитора в графическом отображении. При этом на экран видеомонитора выводится масштабная сетка для отображения контролируемых параметров процесса самозапуска электродвигателей в функции времени. В верхней части масштабной сетки в процессе расчета выдаются сообщения о рассчитываемом в настоящий момент виде режима (исходный режим, короткое замыкание, групповой выбег, самозапуск электродвигателей). По окончании расчета в верхней части масштабной сетки появляется сообщение, в котором указываются номера секций и дата выполнения расчета.

В процессе расчета относительные значения контролируемых параметров в темпе счета выводятся на экран видеомонитора в виде графиков. К контролируемым параметрам относятся токи и напряжения секций. В качестве базисных величин приняты: для напряжений – значение номинального напряжения электродвигателей, для токов – десятикратное значение тока первой секции в предшествующем нормальном режиме. Кроме токов и напряжений секций на экран монитора выводятся графики изменения относительных частот вращения (скоростей вращения) контролируемых электродвигателей. В качестве базисной частоты вра-

щения для каждого контролируемого электродвигателя принято значение его номинальной частоты вращения.

На экран видеомонитора выдаются также пояснения, в которых приводится соответствие между контролируемыми параметрами и цветами графиков, отображающими их изменение в процессе самозапуска электродвигателей. Для контролируемых электродвигателей указываются номера ячеек присоединений. В пояснениях содержатся базисные значения тока и напряжения. Дополнительно на экран видеомонитора выдаются текущие действующие значения полных токов первой и второй расчетных секций. Необходимо отметить, что для считывания значений токов секций можно приостанавливать расчет нажатием клавиши [Pause]. Для продолжения расчета в этом случае необходимо нажать клавишу [Enter].

По окончании расчета создается пауза для печати результатов расчета на принтере. Для печати результатов расчета нужно подготовить принтер к печати (включить принтер, заправить в принтер бумагу и т.д.) и нажать клавишу [Print-Screen]. Для продолжения расчетов или если нет необходимости в печати результатов расчета на принтере, нужно нажать клавишу [Enter]. После нажатия клавиши [Enter] на экране видеомонитора восстанавливаются меню, позволяющие выполнять работу программы в нужном режиме.

Режим «Условия расчета» горизонтального меню позволяет выполнять просмотр на экране видеомонитора или печатать на принтере информацию, определяющую условия выполненного расчета. Необходимо отметить, что сохраняется только информация, определяющая условия выполненного расчета. Информация, определяющая условия всех выполненных ранее расчетов, не сохраняется.

## **СОДЕРЖАНИЕ**

Лабораторная работа № 1	
АЛГОРИТМ РАСЧЕТА САМОЗАПУСКА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ СОБСТВЕННЫХ НУЖД ТЭС . . . . .	3
Лабораторная работа № 2	
ИЗУЧЕНИЕ КОМПЬЮТЕРНОЙ ПРОГРАММЫ РАСЧЕТА САМОЗАПУСКА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ СОБСТВЕННЫХ НУЖД ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ . . . . .	29
Лабораторная работа № 3	
ВЛИЯНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ СЕТИ НА УСПЕШНОСТЬ САМОЗАПУСКА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ СОБСТВЕННЫХ НУЖД . . . . .	33
Лабораторная работа № 4	
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АГРЕГАТОВ СОБСТВЕННЫХ НУЖД ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ . . . . .	36
ЛИТЕРАТУРА . . . . .	42
ПРИЛОЖЕНИЕ . . . . .	43

Учебное издание

**САМОЗАПУСК ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ МЕХАНИЗМОВ  
СОБСТВЕННЫХ НУЖД ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ**

Лабораторные работы (практикум)  
по дисциплине  
«Эксплуатация электрооборудования  
электрических станций и подстанций»  
для студентов специальностей  
1-43 01 01 «Электрические станции»,  
1-53 01 04 «Автоматизация и управление  
энергетическими процессами»

**С о с т а в и т е л и :**  
СЕРГЕЙ Иосиф Иосифович  
ГЛИНСКИЙ Евгений Владимирович  
КЛИМКОВИЧ Павел Иванович  
ПОНОМАРЕНКО Евгений Геннадьевич

Редактор Т.А. Подолякова  
Компьютерная верстка А.С. Жук

---

Подписано в печать 27.04.2010.

Формат 60×84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага офсетная.

Отпечатано на ризографе. Гарнитура Таймс.

Усл. печ. л. 3,55. Уч.-изд. л. 2,77. Тираж 100. Заказ 1267.

---

Издатель и полиграфическое исполнение:

Белорусский национальный технический университет.

ЛИ № 02330/0494349 от 16.03.2009.

Проспект Независимости, 65. 220013, Минск.