

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева»

Кафедра электроснабжения горных и промышленных предприятий

Составители
Р. В. Беляевский
В. А. Воронин

РЕЖИМЫ И НАДЕЖНОСТЬ ЭНЕРГОСИСТЕМ

Методические указания к практическим занятиям
для студентов направления
13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»,
профиля «Электроэнергетика»,
всех форм обучения

Рекомендованы учебно-методической комиссией направления
13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника» в качестве
электронного издания для использования в учебном процессе

Кемерово 2017

Рецензенты:

Захаров С. А. – доцент кафедры электроснабжения горных и промышленных предприятий

Семыкина И. Ю. – председатель учебно-методической комиссии направления 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»

Беляевский Роман Владимирович, Воронин Вячеслав Андреевич

Режимы и надежность энергосистем: методические указания к практическим занятиям [Электронный ресурс]: для студентов направления подготовки 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника», профиля «Электроэнергетика», всех форм обучения / сост.: Р. В. Беляевский, В. А. Воронин; КузГТУ. – Кемерово, 2017. – Систем. требования : Pentium IV; ОЗУ 8 Мб; Windows XP; мышь. – Загл. с экрана.

Составлено в соответствии с рабочей программой дисциплины «Режимы и надежность энергосистем» для студентов профиля «Электроэнергетика» всех форм обучения.

Предназначено для проведения практических занятий по изучению вопросов, связанных с системной надежностью. Приведено содержание практических занятий, задачи и последовательность их выполнения, а также примерные оценочные средства для текущего контроля.

© КузГТУ, 2017
© Беляевский Р. В.,
Воронин В. А.,
составление, 2017

СОДЕРЖАНИЕ

1. УГЛОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИНХРОННЫХ ГЕНЕРАТОРОВ	3
2. АНАЛИЗ СТАТИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ.....	11
3. АНАЛИЗ ДИНАМИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ	17
4. РАСЧЕТ НАДЕЖНОСТИ СХЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ.....	22

1. УГЛОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИНХРОННЫХ ГЕНЕРАТОРОВ

1.1. ЦЕЛИ ЗАНЯТИЯ

1. Изучить факторы, влияющие на угловые характеристики синхронных генераторов.
2. Ознакомиться с методами расчета угловых характеристик синхронных генераторов.
3. Построить угловые характеристики неявнополюсных синхронных генераторов и определить коэффициенты запаса по пределу передаваемой мощности.

1.2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Угловые характеристики активной мощности синхронного генератора позволяют определять мощность генератора для любого угла сдвига между ЭДС генератора и напряжением системы δ или углы между ЭДС двух и более генераторов (δ_{ij}).

Изучение характеристик энергосистемы целесообразно начать с простейшей системы, схема которой показана на рис. 1.



Рис. 1. Схема электрической сети

Угловые характеристики различаются в зависимости от типа генератора (явнополюсный, неявнополюсный), степени его идеализации и системы автоматического регулирования возбуждения (АРВ). Возможны следующие варианты.

Неявнополюсный генератор без АРВ ($E_T = E_q$, $r_T = 0$).

Схема замещения показана на рис. 2.

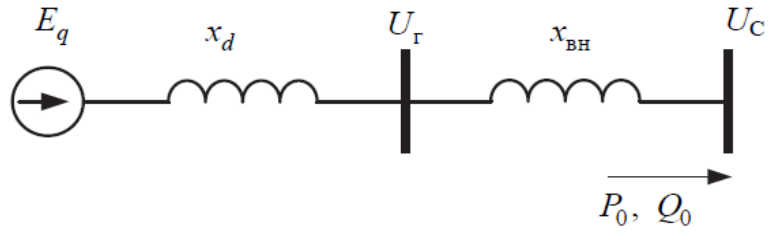


Рис. 2. Схема замещения электрической системы с неявнополюсным генератором

$$P_{E_q} = \frac{E_q U_c}{X_{d\Sigma}} \sin \delta,$$

$$Q_{E_q} = \frac{E_q U_c}{X_{d\Sigma}} \cos \delta - \frac{U_c^2}{X_{d\Sigma}},$$

где

$$\dot{E}_q = \dot{U}_c + \dot{I}_0 j X_{d\Sigma},$$

или

$$E_q = \sqrt{(U_c + Q_0 X_{d\Sigma} / U_c)^2 + (P_0 X_{d\Sigma} / U_c)^2},$$

$$X_{d\Sigma} = X_d + X_{\text{вн}}.$$

Неявнополюсный генератор с АРВ пропорционального действия, которое реагирует на отклонение величин тока и напряжения ($r_r = 0$)

Здесь также используются две схемы замещения генератора, показанные на рис. 2 и 3.

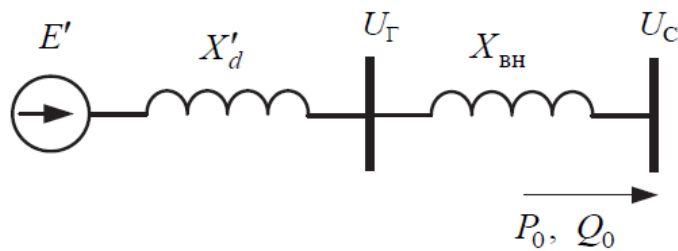


Рис. 3. Схема замещения электрической системы при учете неявнополюсного генератора с АРВ пропорционального действия

$$P_{E'_q} = \frac{E'_q U_c}{X'_{d\Sigma}} \sin \delta - \frac{U_c^2}{2} \frac{(X_d - X'_d)}{X_{d\Sigma} X'_{d\Sigma}} \sin 2\delta,$$

где

$$\begin{aligned}
 E'_q &= E' \cos(\delta_0 - \delta'_0), \\
 \delta_0 &= \operatorname{arctg} \frac{P_0 X_{d\Sigma}}{U_c^2 + Q_0 X_{d\Sigma}}, \\
 E' &= \sqrt{\left(U_c + \frac{Q_0 X'_{d\Sigma}}{U_c} \right)^2 + \left(\frac{P_0 X'_{d\Sigma}}{U_c} \right)^2}, \\
 \delta'_0 &= \operatorname{arctg} \frac{P_0 X'_{d\Sigma}}{U_c^2 + Q_0 X'_{d\Sigma}}, \\
 X'_{d\Sigma} &= X'_d + X_{\text{вн}}.
 \end{aligned}$$

При расчете динамической устойчивости часто используют упрощенное определение угловой характеристики активной мощности по величине E' :

$$P_{E'} = \frac{E' U_c}{X'_{d\Sigma}} \sin \delta'.$$

Угол, при котором будет максимум угловой характеристики, определяется по выражению:

$$\delta_{P_m} = \arccos \left[\frac{P_{m1}}{8P_{m2}} - \sqrt{\left(\frac{P_{m1}}{8P_{m2}} \right)^2 + 0,5} \right],$$

где

$$\begin{aligned}
 P_{m1} &= \frac{E'_q U_c}{X'_{d\Sigma}}, \\
 P_{m2} &= \frac{U_c^2}{2} \frac{(X_d - X'_d)}{X_{d\Sigma} X'_{d\Sigma}}.
 \end{aligned}$$

Неявнополюсный генератор с АРВ сильного действия
($r_\Gamma = 0$)

АРВ сильного действия реагирует не только на отклонение величин тока, напряжения, частоты, но и на скорость и ускорение изменения этих величин, т. е. на их первые и вторые производные. Моделирование генератора выполняется по двум схемам замещения, приведенным на рис. 2 и 4, в которых при наличии астатического регулирования можно принять $U_\Gamma = \text{const}$.

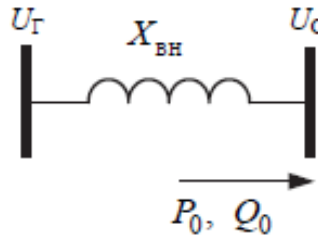


Рис. 4. Схема замещения системы при учете неявнополюсного генератора с АРВ сильного действия

Тогда

$$P_{U_{q\Gamma}} = \frac{U_{q\Gamma} U_c}{X_{\text{ВН}}} \sin \delta - \frac{U_c^2}{2} \frac{X_d}{X_{d\Sigma} X_{\text{ВН}}} \sin 2\delta,$$

где

$$\begin{aligned} U_{q\Gamma} &= U_{\Gamma} \cos(\delta - \delta_c), \\ U_{\Gamma} &= \sqrt{\left(U_c + \frac{QX_{\text{ВН}}}{U_c} \right)^2 + \left(\frac{PX_{\text{ВН}}}{U_c} \right)^2}, \\ \delta &= \arctg \frac{PX_{d\Sigma}}{U_c^2 + QX_{d\Sigma}}, \\ \delta_c &= \arctg \frac{PX_{\text{ВН}}}{U_c^2 + QX_{\text{ВН}}}, \end{aligned}$$

δ_c и δ – углы между векторами $\dot{U}_{\Gamma} \dot{U}_c$ и $\dot{E}_q \dot{U}_c$ (рис. 5).

Расчет $P_{U_{q\Gamma}}$ может быть следующим:

- 1) задается активная мощность P_0 ;
- 2) для заданной мощности P_0 определяется реактивная мощность Q_0 , которую в относительных единицах можно рассчитать как:

$$Q = -\frac{U_c^2}{X_{\text{ВН}}} \pm \sqrt{\left(\frac{U_{\Gamma} U_c}{X_{\text{ВН}}} \right)^2 - P^2},$$

- 3) для заданной величины P_0 и рассчитанных значений Q_0 определяются углы между векторами \dot{E}_q и \dot{U}_c – δ_1 и δ_2 , т. е. рассчитываются сразу две точки угловой характеристики мощности.

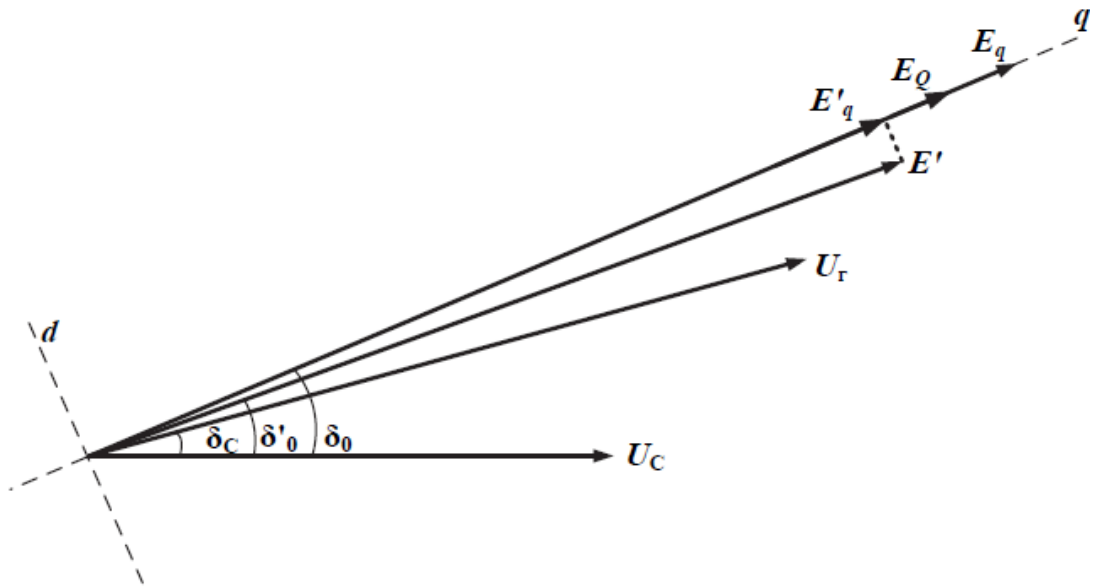


Рис. 5. Векторная диаграмма синхронного генератора

Дальше расчеты по пунктам 1, 2 и 3 повторяются для определения следующих двух точек угловой характеристики и так до ее полного построения.

Угловые характеристики мощности можно рассчитать и другим способом, используя соотношения:

$$P = \operatorname{Re}(U_c \hat{I}), \quad (1)$$

$$Q = \operatorname{Im}(U_c \hat{I}), \quad (2)$$

где

$$\begin{aligned} \hat{I} &= \frac{\dot{U}_r - U_c}{jX_{\text{BH}}}, \\ \dot{U}_r &= U_r e^{j\delta_c}, \\ \delta &= \operatorname{arctg} \frac{PX_{d\Sigma}}{U_c^2 + QX_{d\Sigma}}. \end{aligned} \quad (3)$$

Расчет следует начинать, задаваясь значениями δ_c и определяя \dot{U}_r . Этот расчет можно упростить, если в выражения (1), (2) для P и Q подставить сопряженный комплекс тока \hat{I} , выраженный через:

$$\dot{U}_r = U_r \cos \delta_c + jU_r \sin \delta_c,$$

тогда получим

$$P = \frac{U_r U_c}{X_{\text{BH}}} \sin \delta_c, \quad (4)$$

$$P = \frac{U_{\Gamma} U_c}{X_{\text{ВН}}} \cos \delta_c - \frac{U_c^2}{X_{\text{ВН}}}. \quad (5)$$

Можно рекомендовать следующий алгоритм расчета:

1. Задаются значения угла δ_c от 0 до 180° .
2. По (4), (5) рассчитываются P и Q для заданного угла δ_c .
3. Определяется угол δ по (3).

Максимум угловой характеристики активной мощности $P_{mU_{\Gamma}}$ называется пределом по мощности электропередачи $P_{\text{Лпр}}$, который равен:

$$P_{mU_{\Gamma}} = P_{\text{Лпр}} = \frac{U_{\Gamma} U_c}{X_{\text{ВН}}}.$$

Угол δ , при котором наступает этот максимум, рассчитывается по формуле:

$$\delta_{P_m} = \text{arctg} \left[-\frac{U_{\Gamma}}{U_c} \left(1 + \frac{X_{\text{ВН}}}{X_d} \right) \right].$$

Коэффициент запаса по пределу передаваемой активной мощности определяется по максимуму угловых характеристик мощности (без учета нерегулярных колебаний ΔP) по выражению:

$$K_P = \frac{P_m - P_0}{P_0} 100\%,$$

где P_m – максимум угловой характеристики активной мощности; P_0 – передаваемая активная мощность в режиме, запас которого оценивается.

1.3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Изучить теоретические положения.
2. Решить задачи:

Задача №1

Рассчитать предел по активной мощности и коэффициент запаса статической устойчивости для системы, показанной на рис. 6.

Параметры элементов системы: Генератор (Г): ТГВ-300; без АРВ; $S_{\text{НОМ}} = 353$ МВА; $X_d = 2,65$; $X'_d = 0,3$; $X''_d = 0,195$; $\cos \varphi = 0,85$; $U_{\text{НОМ}} = 20$ кВ.

Трансформатор (Т): ТДЦ-400000/220; $S_{\text{ном}} = 400$ МВА;
 $K_T = 242/20$ кВ; $u_k = 11$ %.

Автотрансформаторы (АТ1, АТ2): АТДЦТН-200000/220/110;
 $S_{\text{ном}} = 200$ МВА; $u_{\text{кВС}} = 11$ %; $u_{\text{кСН}} = 20$ %; $K_T = 230/121/38,8$ кВ.

Линии электропередачи (Л1 и Л2): АС-240; $l = 200$ км;
 $X_{1\text{уд}} = 0,4$ Ом/км.

$$U_c = 115 \text{ кВ} = \text{const}.$$

P_0 – активная мощность, выдаваемая генератором, при
 $U_G = 1,05 U_{\text{ном}}$.

Решить в относительных единицах (о.е.) с учетом заданных K_T .

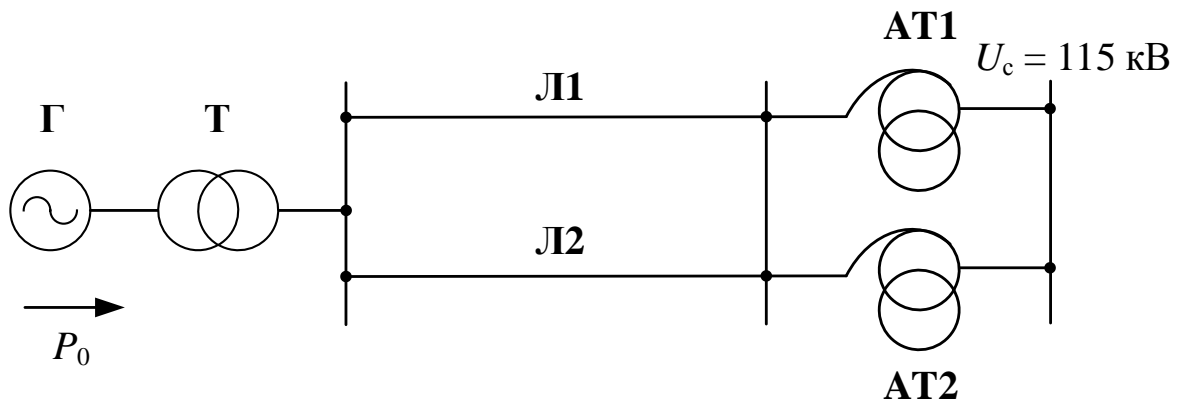


Рис. 6. Схема электрической системы к задаче №1

Задача №2

Рассчитать предел по активной мощности и коэффициент запаса статической устойчивости при установке на генераторе АРВ пропорционального действия. Схема энергосистемы и ее параметры те же, что и в задаче №1.

Задача №3

Рассчитать предел по активной мощности и коэффициент запаса статической устойчивости при установке на генераторе АРВ сильного действия без зоны нечувствительности, когда можно принять $U_G = \text{const}$, а $X_G = 0$. Схема энергосистемы и ее параметры те же, что и в задаче №1. Решение выполнить в относительных единицах при принятых в задаче №1 базисных условиях.

Задача №4

Рассчитать и построить в одной координатной плоскости угловые характеристики синхронных генераторов, рассмотренных в задачах №1, 2, 3.

3. Подготовить отчет о выполнении практической работы в соответствии с указанными требованиями.

1.4. ТРЕБОВАНИЯ К ОТЧЕТУ

Отчет о выполнении работы должен содержать:

- наименование и цель работы;
- подробную последовательность расчетов по каждой задаче;
- ответ по каждой задаче.

1.5. ФОРМЫ И СРОКИ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ

Защиту отчета по практической работе принимает преподаватель, проводящий практические занятия, до пятой контрольной недели. Защита проводится в форме собеседования по контрольным вопросам. Преподавателю предоставляется право задавать обучающимся дополнительные вопросы, а также, помимо теоретических вопросов, давать задачи и примеры, связанные с тематикой практической работы.

Практическая работа считается защищенной, если студент дал полные ответы на все заданные вопросы, не допустив при этом существенных неточностей, а отчет оформлен в соответствии с изложенными требованиями.

1.6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Дать понятие об угловой характеристике синхронного генератора.
2. Факторы, влияющие на угловую характеристику синхронного генератора.
3. Назначение АРВ.
4. Нормативный коэффициент запаса статической устойчивости по активной мощности.
5. Критерий статической устойчивости.

2. АНАЛИЗ СТАТИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ

2.1. ЦЕЛИ ЗАНЯТИЯ

1. Ознакомиться с алгоритмом анализа статической устойчивости.
2. Ознакомиться с критериями устойчивости.
3. Ознакомиться с критерием Гурвица.
4. Проверить статическую устойчивость систем.

2.2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Под устойчивостью технической системы обычно понимают свойство системы возвращаться к первоначальному состоянию после прекращения внешнего возмущающего воздействия. Требование устойчивости является одним из основных требований, предъявляемых к технической (в том числе электроэнергетической) системе и определяет, как правило, работоспособность этой системы.

Поскольку движение технической системы описывается системой дифференциальных уравнений, то исследование проблемы устойчивости ее движения сводится к исследованию устойчивости решений дифференциальных уравнений.

Алгоритм анализа статической устойчивости:

- 1) Составляют математическое описание переходных процессов в виде алгебраических и дифференциальных уравнений.
- 2) Выполняют линеаризацию уравнений по первому приближению; вычисляют частные производные для исходного режима.
- 3) Получают характеристическое уравнение.
- 4) Определяют устойчивость на основе действительных частей корней характеристического уравнения.

Предположим, что исследуемая система описывается характеристическим уравнением:

$$D(p) = a_0 p^n + a_1 p^{n-1} + \dots + a_{n-1} p + a_n = 0. \quad (6)$$

Для определения устойчивости данной системы необходимо определить корни характеристического уравнения, которые делятся на простые и кратные. К простым относятся:

- вещественные (положительные и отрицательные) $p_i = \alpha_i$;
- мнимые $p_{i,i+1} = \pm j\omega_i$ (существуют попарно);

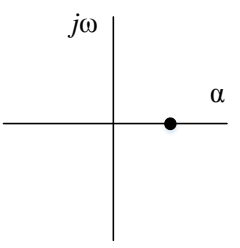
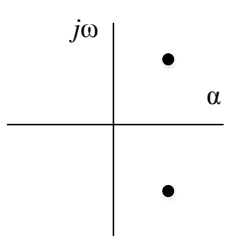
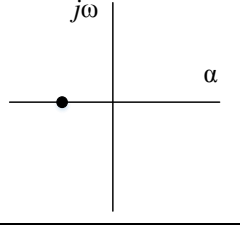

- нулевые $p_i = 0$;
- комплексные $p_{i,i+1} = \alpha_i \pm j\omega$ (существуют попарно),

и кратные, когда несколько корней имеют одно и то же значение.

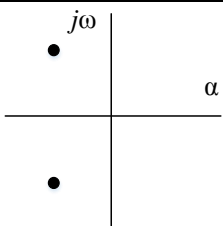

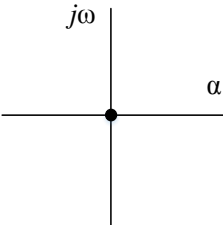
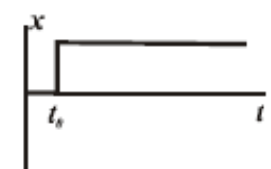
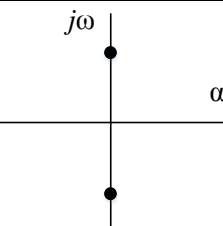

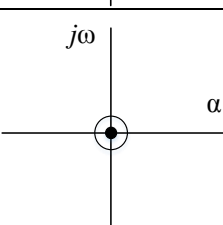
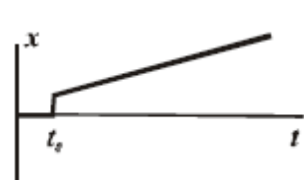
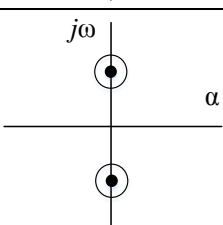

В зависимости от вида корней характеристического уравнения, их положения на комплексной плоскости, функция будет по-разному себя вести. Вид переходного процесса для разных корней показан в табл. 1.

Таблица 1

Взаимосвязь между корнями характеристического уравнения и решениями системы дифференциальных уравнений

Случай	Корни		Расположение корней	Вид переходного процесса	
	α	$j\omega$		$x = f(t)$	описание
1	2	3	4	5	6
1	+	0			Возрастающая экспонента с постоянной $T = 1/\alpha$
2	+	\pm			Экспоненциально нарастающие гармонические колебания
3	-	0			Затухающая экспонента с постоянной $T = -1/\alpha$

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6
4	-	\pm			Затухающие гармонические колебания
5	0	0			Сохранение постоянного значения $x = x_0$
6	0	\pm			Гармонические колебания с постоянной амплитудой
7	0	0			Линейно нарастающая зависимость $x = f(t)$
	двукратный нулевой корень				
8	0	\pm			Линейно нарастающие колебания
	двукратная пара мнимых корней				

Из табл. 1 следует, что если все вещественные корни и вещественные части всех комплексных корней отрицательны (случаи 3, 4), то все составляющие переходного процесса по модулю экспоненциально затухают (у гармонических составляющих экспоненциально затухают огибающие). Рассматриваемый режим системы в этом случае статически устойчив. Если среди вещественных корней появляется один $\alpha_i > 0$ (случай 7), то составляющая решения, определяемая этим корнем, неограниченно возрастает (по модулю). Исследуемый режим системы в этом случае статически неустойчив, происходит апериодическое нарушение устойчивости (сползание).

Если среди комплексно сопряженных корней присутствует пара, имеющая $\alpha_i > 0$ (случай 2), то составляющая решения, определяемая этой парой, имеет вид экспоненциально нарастающих во времени колебаний. Исследуемый режим системы в этом случае статически неустойчив, происходит колебательное нарушение устойчивости.

Случаи, когда характеристическое уравнение имеет корни с нулевой вещественной частью (нулевые или мнимые), относятся к особым случаям. Режим может быть устойчив, когда такие корни простые (случаи 5, 6), либо неустойчив, когда корни кратные (случаи 7, 8).

Необходимые и достаточные условия устойчивости в соответствии с изложенным формулируются так:

Для устойчивости решения линейного дифференциального уравнения n -го порядка с постоянными коэффициентами необходимо и достаточно, чтобы корни характеристического уравнения имели неположительные вещественные части, причем корни с нулевой вещественной частью были бы простыми

Перед определением местоположения корней характеристического уравнения на комплексной плоскости весьма полезно проверить выполнение необходимых условий устойчивости, которые формулируются следующим образом: если движение (или состояние равновесия) системы асимптотически устойчиво, то все коэффициенты характеристического уравнения положительны. То есть для устойчивой системы обязательно должны выполняться неравенства (условия):

$$a_0 > 0; a_1 > 0; \dots; a_n > 0.$$

Если положительность всех коэффициентов характеристического уравнения не соблюдается, то есть не выполняются необходимые условия устойчивости, то будет заведомо известно, что система неустойчива.

Характеристическое уравнение с положительными коэффициентами обладает важным свойством – оно не имеет положительных вещественных корней.

Таким образом, если коэффициенты характеристического уравнения системы не нулевые и положительны, то нарушение устойчивости может иметь только колебательный характер.

Точный ответ на вопрос об устойчивости (или неустойчивости) системы можно получить, вычислив все корни характери-

ческого уравнения. Однако процедура вычисления корней для уравнений высокого порядка относится к разряду чрезвычайно трудоемких, поэтому разработан ряд специальных математических условий, позволяющих без вычисления корней характеристического уравнения определить их местоположение на комплексной плоскости и таким образом точно ответить на вопрос об устойчивости или неустойчивости системы. Эти математические условия называются критериями устойчивости. Различают алгебраические и частотные критерии устойчивости.

Алгебраические критерии содержат группу условий (группу неравенств), составленных по определенным правилам из коэффициентов характеристического уравнения (a_0, a_1, \dots, a_n) , при соблюдении которых имеет место устойчивость.

Необходимые и достаточные условия устойчивости линейной однородной системы дифференциальных уравнений в виде алгебраических неравенств были установлены английским ученым Раусом (1873) и швейцарским математиком Гурвицем (1895).

Критерий Гурвица. Система неравенств Гурвица строится следующим образом. Из коэффициентов характеристического многочлена n -й степени вида (6) составляются квадратная матрица Гурвица n -го порядка:

$$M_{\Gamma} = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 & a_5 & \dots & 0 & 0 \\ a_0 & a_2 & a_4 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & a_1 & a_3 & \dots & 0 & 0 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ 0 & 0 & 0 & \dots & a_{n-1} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & a_{n-2} & a_n \end{vmatrix}.$$

Правило составления (алгоритм) матрицы Гурвица следующее. По главной диагонали располагают коэффициенты многочлена (6) в порядке их нумерации, начиная с a_1 до a_n . В строках помещают поочередно коэффициенты только с нечетными или только с четными индексами (включая и коэффициент a_0), причем влево от диагонали с уменьшающимися, вправо — с увеличивающимися индексами. Все недостающие коэффициенты, то есть коэффициенты с индексами меньше нуля или больше n , заменяются нулями.

Необходимые и достаточные условия устойчивости заключаются в том, что все n диагональных миноров должны быть положи-

тельными. При этом под диагональными минорами понимаются определители диагональных подматриц, получаемых отчеркиванием их в матрице Гурвица. Таким образом, система будет устойчива, если будут выполнены неравенства:

$$\Delta_1 = a_1 > 0, \quad \Delta_2 = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 \\ a_0 & a_2 \end{vmatrix} > 0, \quad \Delta_n = \det M_\Gamma > 0.$$

Последний определитель Δ_n , который часто называют главным определителем Гурвица, вычисляется для всей матрицы Гурвица.

2.3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Изучить теоретические положения.
2. Проверить статическую устойчивость систем, характеристические уравнения которых имеют следующий вид:
 - а) $D(p) = p^5 + 11p^4 + 5p^3 - 8p^2 + p + 20 = 0$.
 - б) $D(p) = 5p^3 + 8p^2 + p + 20 = 0$.
 - в) $D(p) = 5p^3 + 18p^2 + 20p + 200 = 0$.
 - г) $D(p) = p^3 + 10p^2 + 30p + 100 = 0$.
3. Подготовить отчет о выполнении практической работы в соответствии с указанными требованиями.

2.4. ТРЕБОВАНИЯ К ОТЧЕТУ

Отчет о выполнении работы должен содержать:

- наименование и цель работы;
- подробную последовательность расчетов;
- ответ по каждой задаче.

2.5. ФОРМЫ И СРОКИ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ

Защиту отчета по практической работе принимает преподаватель, проводящий практические занятия, до девятой контрольной неделе. Защита проводится в форме собеседования по контрольным вопросам. Преподавателю предоставляется право задавать обучающимся дополнительные вопросы, а также, помимо теоретических вопросов, давать задачи и примеры, связанные с тематикой практической работы.

Практическая работа считается защищенной, если студент дал полные ответы на все заданные вопросы, не допустив при этом существенных неточностей, а отчет оформлен в соответствии с изложенными требованиями.

2.6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Дать понятие о статической устойчивости.
2. Алгоритм анализа статической устойчивости.
3. Взаимосвязь между корнями характеристического уравнения и решениями системы дифференциальных уравнений.
4. Сформулировать необходимые и достаточные условия устойчивости.
5. Критерий Гурвица.

3. АНАЛИЗ ДИНАМИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ

3.1. ЦЕЛИ ЗАНЯТИЯ

1. Ознакомиться с методами анализа динамической устойчивости системы электростанция-энергосистема.
2. Выполнить расчет динамической устойчивости системы электростанция-энергосистема.

3.2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Дифференциальное уравнение относительного движения ротора генератора:

а)
$$T_j \frac{d^2 \delta}{dt^2} = P_T - P_G = \Delta P(\delta),$$

угол ротора δ и время t , и постоянная времени T_j выражаются в радианах; мощности генератора и турбины, и избыточная мощность ΔP – в относительных единицах;

б)
$$T_j \frac{d^2 \delta}{dt^2} = 18000 \Delta P(\delta),$$

угол ротора δ выражается в электрических градусах; время t и постоянная времени T_j – в секундах, а избыточная мощность – в относительных единицах.

Постоянная времени механической инерции ротора агрегата генератор-турбина, приведенная к номинальной мощности генератора:

$$T_{j(н)} = \frac{2,74GD^2n^2}{S_{ном}} 10^{-6} = \frac{J \left[\frac{2\pi}{60} \right]^2 n^2}{S_{ном}} 10^{-3},$$

где $T_{j(н)}$ – в секундах; маховый момент GD^2 – в тонна-метрах²; J – момент инерции в тонна-метрах²; скорость вращения n – оборот в минуту; номинальная мощность $S_{ном}$ – МВА.

Эквивалентная постоянная механической инерции n одинаковых генераторов станции:

$$T_{jэ} = T_j n.$$

Приближенно для разных генераторов:

$$T_{jэ} = \sum_{i=1}^n T_j.$$

Постоянная механической инерции, приведенная к базисной мощности:

$$T_{j(б)} = T_{j(н)} \frac{S_{(н)}}{S_{б}}.$$

Изменение угла ротора генератора (выбег ротора) во времени при постоянном избыточном моменте (активной мощности) и, следовательно, при постоянном ускорении:

$$\Delta\delta(t) = \frac{1}{2}at^2 + \omega_0 t,$$

где $a = \Delta P/T_j$ – ускорение; ω_0 – начальная относительная скорость.

Угол ротора генератора, предельный по условию сохранения динамической устойчивости (для случая $r = 0$; $g = 0$), (рис. 7):

$$\cos \delta_{откл.пред} = \frac{P_0(\delta_{кр} - \delta_0) \frac{\pi}{180} + P_m^{III} \cos \delta_{кр}^{III} - P_m^{II} \cos \delta_0}{P_m^{III} - P_m^{II}},$$

$$\delta_{откл.пред} = \arccos \delta_{откл.пред},$$

где P_0 – активная мощность генератора в исходном режиме (обычно принимают $P_0 = \text{const}$); P_m^{II} – амплитуда характеристики мощности в аварийном режиме; P_m^{III} – амплитуда характеристики мощности в

послеаварийном режиме; δ_0 – угол ротора генератора в исходном режиме (в электрических градусах); $\delta_{кр} = 180^\circ - \arcsin \frac{P_0}{P_m^{III}}$ – критический угол ротора генератора (в электрических градусах); P_m^{II} и P_m^{III} определяются с учетом ЭДС $E'_q = \text{const}$ или приближенно с учетом $E' = \text{const}$.

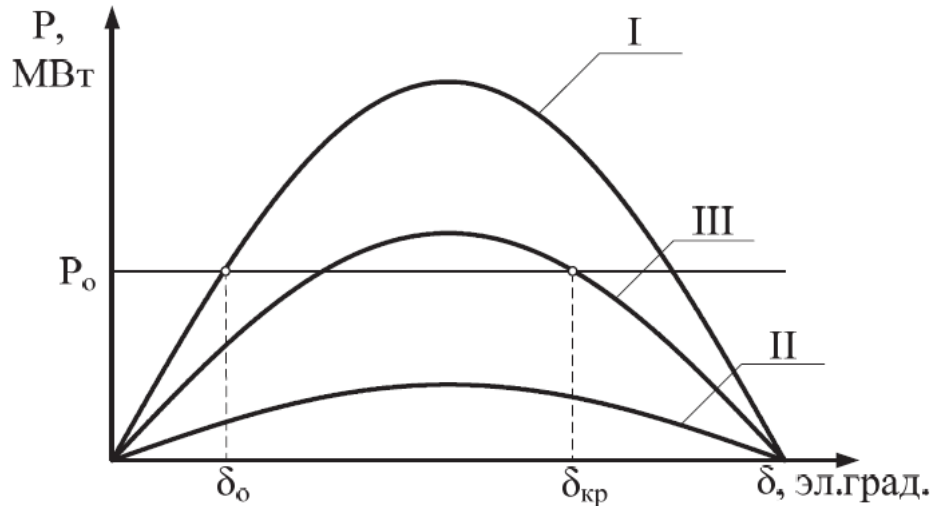


Рис. 7. Угол ротора

Предельное время отключения короткого замыкания (в секундах) при условии $\Delta P = \text{const}$:

$$t_{\text{откл.пред}} = \sqrt{\frac{(\delta_{\text{откл.пред}} - \delta_0)T_j}{9000\Delta P}},$$

$\delta_{\text{откл.пред}}$ и δ_0 – в электрических градусах; T_j – в секундах; ΔP – в относительных единицах (T_j и ΔP должны быть приведены к единой базисной мощности).

Условия успешной синхронизации при сохранении динамической устойчивости:

$$\Delta\omega_{\text{вкл.пред}} = \sqrt{\frac{2P_m}{T_j}(1 + \cos \delta_0)},$$

$\Delta\omega_{\text{вкл.пред}}$ – предельно-допустимая относительная скорость ротора (скольжение) в относительных единицах; P_m – амплитуда характеристики активной мощности в относительных базисных единицах;

δ_0 – угол ротора генератора в момент синхронизации; T_j – постоянная механической инерции агрегата генератора в радианах, приведенная к базисной мощности.

3.3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Изучить теоретические положения.
2. Решить задачи:

Задача №1

Сохранится ли динамическая устойчивость системы, если двухфазное короткое замыкание на землю отключается релейной защитой через 0,3 с? Схема системы представлена на рис. 8. Характер переходного процесса показан на рис. 9, где $P_m^I = 2$; $P_m^{III} = 1,5$; $P_m^{II} = 0,5$; $\delta_0 = 30^\circ$; $P_0 = 1$.

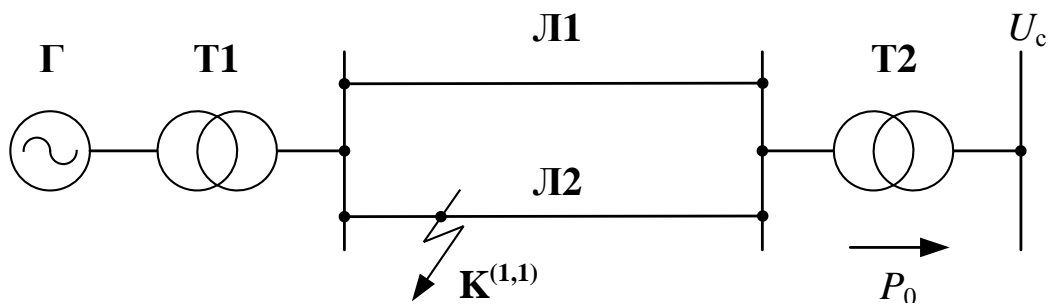


Рис. 8. Схема системы к задаче №1

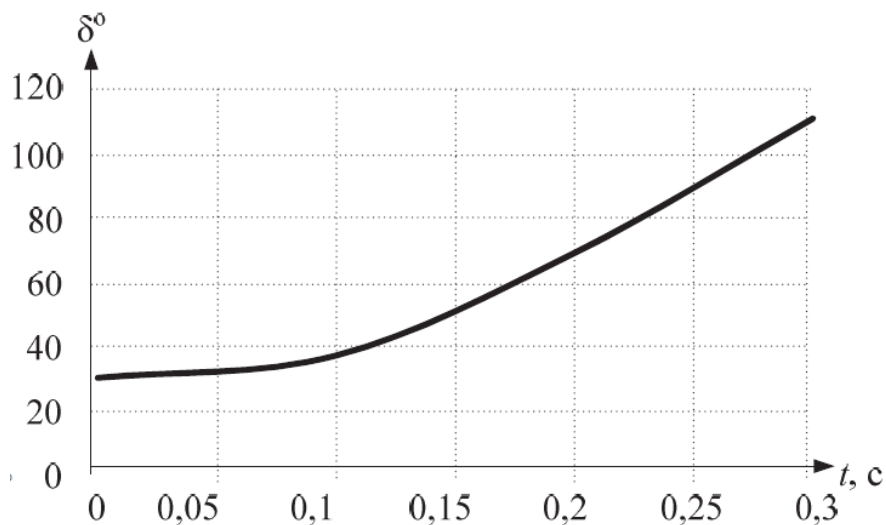


Рис. 9. Характер переходного процесса к задаче №1

Задача №2

Определить предельный угол и предельное время отключения короткого замыкания. Выполнить расчет динамической устойчивости методом площадей (энергий) при трехфазном коротком замыкании в приведенной схеме (рис. 10).

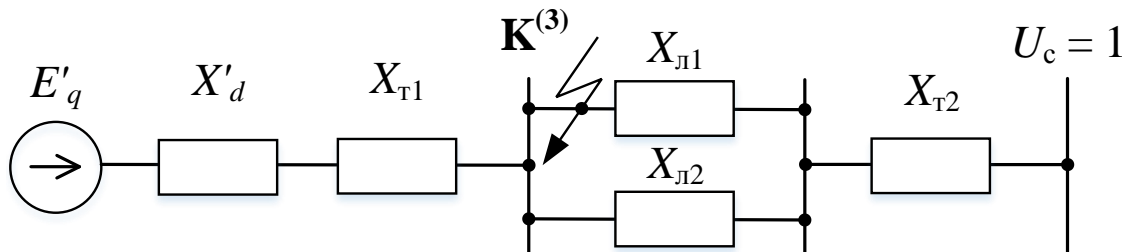


Рис. 10. Схема замещения системы к задаче №2

$$E'_q = 1,403; \quad x'_d = 0,513; \quad x_{T1} = 0,1267; \quad x_{T2} = 0,1495; \\ x_{Л1} = 0,5503; \quad x_{Л2} = 0,452; \quad P_0 = 1; \quad T_{j(6)} = 10,78 \text{ с.}$$

Все указанные величины даны в относительных единицах и $S_6 = 520$ МВА. Трехфазное короткое замыкания длится 0,12 секунды, затем отключается поврежденная линия Л1.

3. Подготовить отчет о выполнении практической работы в соответствии с указанными требованиями.

3.4. ТРЕБОВАНИЯ К ОТЧЕТУ

Отчет о выполнении работы должен содержать:

- наименование и цель работы;
- подробную последовательность расчетов;
- ответ по каждой задаче.

3.5. ФОРМЫ И СРОКИ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ

Защиту отчета по практической работе принимает преподаватель, проводящий практические занятия, до тринадцатой контрольной неделе. Защита проводится в форме собеседования по контрольным вопросам. Преподавателю предоставляется право задавать обучающимся дополнительные вопросы, а также, помимо тео-

ретических вопросов, давать задачи и примеры, связанные с тематикой практической работы.

Практическая работа считается защищенной, если студент дал полные ответы на все заданные вопросы, не допустив при этом существенных неточностей, а отчет оформлен в соответствии с изложенными требованиями.

3.6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Дать понятие о динамической устойчивости.
2. Факторы, влияющие на динамическую устойчивость?
3. Критерий динамической устойчивости системы.
4. Расчет динамической устойчивости методом площадей.
5. Какой вид КЗ является наиболее тяжелым с точки зрения устойчивости?

4. РАСЧЕТ НАДЕЖНОСТИ СХЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

4.1. ЦЕЛИ ЗАНЯТИЯ

1. Ознакомиться с элементами структурной надежности.
2. Изучить метод расчета надежности схем сети с помощью блок-схем.
3. Изучить табличный метод расчета надежности распределительных устройств.
4. Выполнить расчет надежности схемы сети и распределительного устройства подстанции.

4.2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1. Расчет надежности схемы сети с помощью блок-схем

Наименее надежными элементами ЭЭС являются линии электропередачи. Поэтому в ряде случаев можно оценивать надежность электроснабжения потребителей, учитывая показатели надежности только линий электропередачи. Такой подход детально обоснован и с той точки зрения, что линейные выключатели, разъединители, отделители и короткозамыкатели (т. е. линейная коммутационная аппаратура), как правило, входят в состав распределительных устройств (РУ).

Для формализации расчетов в этих случаях удобно применять блок-схемы надежности, где каждый элемент ЭЭС (в данном случае ЛЭП) представляется своим блоком. Каждый блок (рис. 11) характеризуется показателями работоспособности (параметром потока отказа ω и временем восстановления T_B) и ремонтпригодности (частотой проведения плановых ремонтов μ и продолжительностью плановых ремонтов T_P).



Рис. 11. Показатели работоспособности блока

Анализ надежности ведется с помощью преобразования схемы электроснабжения в последовательно и параллельно соединенные элементы. Для этого генерирующие источники и потребители объединяют в шины генерирующих источников ШГ и шины потребителей ШП, т. е. того потребителя, для которого определяется уровень надежности электроснабжения.

Расчет надежности по блок-схемам проводится посредством преобразований последовательно и параллельно соединенных блоков до тех пор, пока генерирующий и потребляющий узлы не окажутся связанными одним эквивалентным блоком. Преобразования сети выполняются следующим образом. Например, необходимо рассчитать показатели надежности электроснабжения потребителя П (рис. 12, а).

Все источники питания (И1, И2, И3) объединяются на одну шину – шину генерации (ШГ). Тогда если каждая линия представлена отдельным блоком, то исходная схема надежности имеет вид, показанный на рис. 12, б. Далее осуществляется сворачивание схемы: учитывается параллельное преобразование элементов 1 и 2, последовательное соединение полученного блока и блока 3 и т. д. Параметры надежности эквивалентного блока Э представляют собой показатели надежности всей схемы электроснабжения относительно потребителя П, т. е. поставленная задача решена.

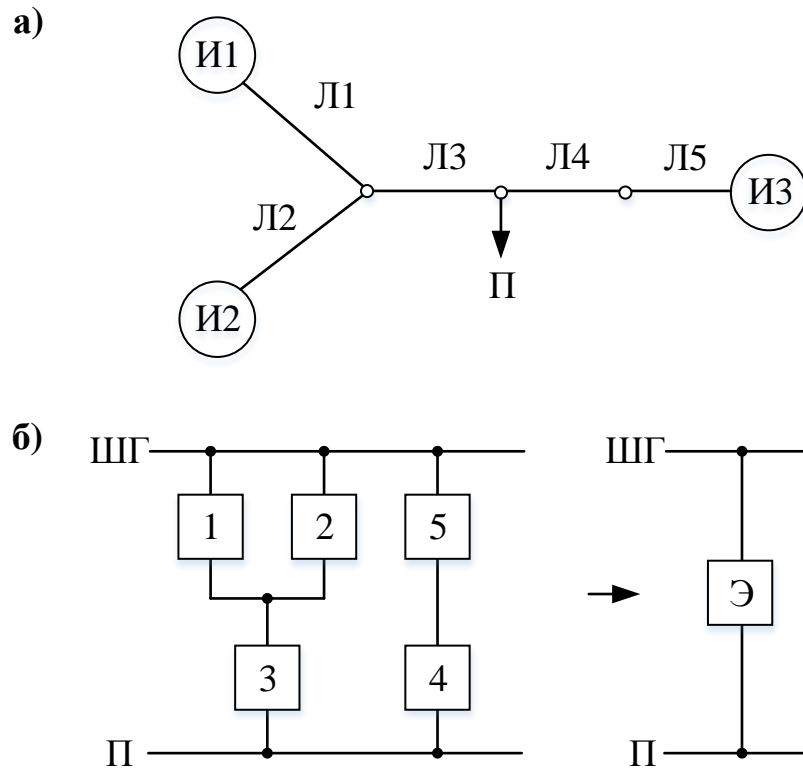


Рис. 12. Расчет надежности схемы сети методом блок-схем: а – пример схемы электроснабжения потребителей; б – этапы расчета надежности схемы электроснабжения

Последовательным соединением называется такое, при котором отказ любого приводит к полному отказу всей группы.

В этом случае, если в группе n последовательно соединенных элементов известны их параметры отказов и времена восстановления, легко определить конечные основные показатели надежности такой группы. Так как параметры потока отказов каждого элемента являются несовместными событиями, то вероятность их суммы определится как:

$$\omega = \sum_{i=1}^n \omega_i .$$

Коэффициент вынужденного простоя группы будет равен:

$$K_{\text{в}} = \omega T_{\text{в}} .$$

Отсюда:

$$T_{\text{в}} = \frac{K_{\text{в}}}{\omega} .$$

В свою очередь, по тем же соображениям результирующий $K_{\text{в}}$ можно записать следующим образом:

$$K_B = \sum_{i=1}^n K_{Bi} = \sum_{i=1}^n \omega T_{Bi}.$$

Аналогичным образом могут быть получены результирующие показатели ремонтпригодности:

$$\mu = \sum_{i=1}^n \mu_i.$$

При определении результирующего времени плановых простоев группы последовательно соединенных элементов необходимо учитывать то обстоятельство, что элемент, имеющий меньшее $T_{\Pi i}$, может быть отремонтирован внутри интервала планового простоя элемента, имеющего наибольшее $T_{\Pi j}$. Для этого надо сравнить частоту проведения планового ремонта i и j элементов. Тогда:

$$T_{\Pi} = \frac{\gamma}{\mu} \sum_{i=1}^{n-m} (\mu_i - \mu_{i-1}) T_{\Pi i}.$$

Причем элементы i в сумме располагаются в порядке убывания $T_{\Pi i}$. Слагаемые, для которых $\mu_i - \mu_{i-1} \leq 0$, в сумму не включаются (их количество обозначено m). Коэффициент $\gamma = 1,2$ при числе элементов $n > 3$, $\gamma = 1$ при $n \leq 3$.

Упрощенно, не учитывая вышесказанное, результирующее время планового простоя можно рассчитать как:

$$T_{\Pi} = \sum_{i=1}^n \mu_i T_{\Pi i}.$$

Соответствующие коэффициенты вынужденного и планового простоев рассчитываются по выражениям:

$$K_B = \omega T_B \text{ (если размерность } T_B - \text{ год),}$$

$$K_B = \frac{\omega T_B}{8760} \text{ (если размерность } T_B - \text{ час),}$$

Имея в виду, что $K_{\Gamma} + K_B = 1$, в расчетах достаточно определять один из этих показателей, как правило – K_B .

Следует отметить, что вероятность безотказной работы для восстанавливаемых элементов в качестве показателя надежности в расчетах не используется. Это связано с тем, что в этом показателе не учитывается процесс восстановления работоспособного состояния элемента.

Параллельное соединение элементов называют также резервированием. Само резервирование может осуществляться различными

ми способами и при этом быть или полным (когда пропускная способность резервного элемента соответствует пропускной способности отказавшего), или частичным (при этом пропускная способность резервного элемента меньше пропускной способности отказавшего). Кроме этого при определении показателей надежности в зависимости от условий поставленной задачи могут быть учтены или не учтены плановые ремонты.

При отсутствии плановых ремонтов надежность работы элемента можно характеризовать двумя показателями: коэффициентом готовности и коэффициентом вынужденного простоя, которые показывают вероятность нахождения данного элемента или в работоспособном, или в неработоспособном состоянии, т. е. $K_{\Gamma} + K_{\text{В}} = 1$.

Если два элемента соединены параллельно (т. е. представляют собой резервированную систему), то отключение одного элемента (или цепи) не вызывает перебоя питания. Такое резервирование называется пассивным.

Активным резервированием называется такое, при котором в группе автоматически после отключения повреждений элемента (цепи) включается резервный элемент, до этого находящийся в отключенном состоянии.

Найдем выражение для определения параметра потока отказов группы, состоящей из двух элементов i и j , резервирующих один другого с учетом наложения отказов одного на ремонт другого с одновременным отказом двух элементов:

$$\omega = \omega_{\text{В}i\Pi j} + \omega_{\text{В}j\Pi i} + \omega_{\text{В}i\text{В}j}.$$

Известно, что:

$$\omega_{\text{В}i\Pi j} = K_{\omega} \omega_i K_{\Pi j},$$

$$\omega_{\text{В}j\Pi i} = K_{\omega} \omega_j K_{\Pi i},$$

где K_{ω} – коэффициент благоприятности проведения плановых ремонтов. Исходя из его физического смысла $K_{\omega} \leq 1$.

$$\omega_{\text{В}i\text{В}j} = \omega_i K_{\text{В}j} + \omega_j K_{\text{В}i}.$$

В результате получим выражение:

$$\omega = \omega_i (K_{\text{В}j} + K_{\omega} K_{\Pi j}) + \omega_j (K_{\text{В}i} + K_{\omega} K_{\Pi i}).$$

Время восстановления такой группы, как известно, будет:

$$T_{\text{В}} = \frac{8760 K_{\text{В}}}{\omega},$$

где $K_{\text{В}}$ – коэффициент вынужденного простоя группы элементов.

Так как элементы группы могут находиться в одном из трех состояний, то:

$$K = K_{Bi\Pi j} + K_{Bj\Pi i} + K_{BiBj}.$$

Вероятность нахождения элементов в одном из трех состояний определится как:

$$\begin{aligned} K_{Bi\Pi j} &= \frac{\omega_{Bi\Pi j} T_{Bi\Pi j}}{8760} = \frac{K_{\omega} \omega_i K_{\Pi j} T_{Bi\Pi j}}{8760}, \\ K_{Bj\Pi i} &= \frac{\omega_{Bj\Pi i} T_{Bj\Pi i}}{8760} = \frac{K_{\omega} \omega_j K_{\Pi i} T_{Bj\Pi i}}{8760}, \\ K_{BiBj} &= \frac{\omega_{BiBj} T_{BiBj}}{8760} = \frac{T_{BiBj} (\omega_i K_{Bj} + \omega_j K_{Bi})}{8760}. \end{aligned}$$

В результате получим выражение:

$$T_B = \frac{1}{\omega} \left[T_{BiBj} (\omega_i K_{Bj} + \omega_j K_{Bi}) + K_{\omega} (\omega_i K_{\Pi j} T_{Bi\Pi j} + \omega_j K_{\Pi i} T_{Bj\Pi i}) \right].$$

В данном случае неизвестными являются следующие параметры:

- время одновременного простоя двух элементов при наложении вынужденного простоя первого элемента i на вынужденный простой второго j – T_{BiBj} ;
- время одновременного простоя двух элементов при наложении вынужденного простоя первого элемента i на плановый простой второго j – $T_{Bi\Pi j}$;
- время одновременного простоя двух элементов при наложении вынужденного простоя второго элемента j на плановый простой первого i – $T_{Bj\Pi i}$.

Время одновременного простоя двух элементов при наложении вынужденного простоя первого элемента i на вынужденный простой второго j – T_{BiBj} определяется по выражению:

$$T_{BiBj} = \frac{T_{Bi} T_{Bj}}{T_{Bi} + T_{Bj}}.$$

Время одновременного вынужденного простоя $i(j)$ элемента и планового $j(i)$ находится исходя из следующих соображений.

Предположим, что для двух элементов заданы: μ_i и $T_{\Pi i}$ – для первого; ω_j и T_{Bj} – для второго. Математическое ожидание числа

наложений на плановый ремонт первого элемента параметра потока отказов второго (по исходному заданию) определится как:

$$\omega_{\Pi i B j} = \omega_j K_{\Pi i},$$

где $K_{\Pi i}$ – коэффициент планового простоя первого элемента.

Средняя продолжительность одновременного простоя двух элементов, т. е. время восстановления нормальной работы данной группы элементов, будет зависеть от соотношения $T_{\Pi i}$ и $T_{B j}$.

Рассмотрим эти соотношения.

1) Первый случай – $T_{B j} \geq T_{\Pi i}$. Если отказ второго элемента происходит внутри интервала $T_{\Pi i}$, то одновременный простой закончится в момент окончания планового ремонта первого элемента.

Если сделать допущение о равномерном распределении отказов второго элемента внутри планового интервала первого $T_{\Pi i}$, то время одновременного простоя можно определить следующим образом:

$$T_{\Pi i B j} = 0,5 T_{\Pi i}.$$

2) Если $T_{B j} \leq T_{\Pi i}$, то при отказах в пределах времени $T_{\Pi i B j}$, считая от начала планового ремонта, длительность одновременного простоя равна времени восстановления второго элемента, а при отказах в пределах остальной части $T_{\Pi i}$ (равной $T_{B j}$) одновременный простой заканчивается с окончанием планового ремонта и его средняя длительность $0,5 T_{B j}$. Учитывая вероятности попадания отказа на первую и вторую части $T_{\Pi i}$, равные соответственно $T_{\Pi i} - T_{B j} / T_{\Pi i}$ и $T_{B j} / T_{\Pi i}$, получаем среднее время одновременного простоя:

$$T_{B j \Pi i} = T_{B j} - \frac{T_{B j}^2}{2 \cdot T_{\Pi i}}.$$

Если $T_{B j} \ll T_{\Pi i}$, то получаем:

$$T_{B j \Pi i} = T_{B j}.$$

2. Расчет надежности распределительного устройства на основе упрощенной модели отказов выключателей

В упрощенной модели выключателя различаются два вида отказов – внезапный, когда отключаются все выключатели смежные с отказавшим, и обнаруживаемые персоналом при обходах или осмотрах и требующие лишь вывода данного выключателя во вне-

плановый ремонт. Напомним, что при этом под выключателем понимается все оборудование, находящееся в его ячейке РУ, - сам выключатель, разъединители, участок сборных шин, измерительные трансформаторы, разрядники.

В распределительных устройствах радиального типа, в которых каждая цепь защищена одним выключателем, внезапные отказы приводят к отключению всех цепей, присоединенных к той же системе (секции) сборных шин, что и отказавший выключатель.

В РУ с одиночной секционированной системой сборных шин или двойной системой сборных шин и с фиксированным присоединением цепей при этом отключается половина всех цепей, коммутируемых в РУ.

В РУ кольцевого типа, в которых каждая цепь защищена двумя выключателями, отказы этого вида особенно опасны в ремонтных режимах работы, когда схема РУ ослаблена выводом отдельных выключателей в плановый ремонт. Здесь возможно одновременное отключение двух-трех цепей.

Последствия отказов второго вида менее опасны, так как распространяются лишь на защищаемую данным выключателем цепь, приводят к вынужденному простоя ее в схемах радиального типа без обходного выключателя или к ослаблению схемы РУ при выводе отказавшего выключателя во внеплановый ремонт.

Расчет надежности схем РУ заключается в определении математических ожиданий чисел отключений элементов (линий, трансформаторов, генераторов) и делений РУ на электрически не связанные части, а также длительностей вынужденного простоя отключившихся элементов или работы с делением РУ вследствие отказов выключателей РУ в нормальном и ремонтном режимах работы РУ. Ниже излагается формализованный метод расчета указанных характеристик надежности РУ, основанный на идее табличного метода В. Д. Таривердиева.

Исходными данными для расчета являются схема РУ и показатели надежности выключателей – частота внезапных отказов выключателей РУ (ω_{Bi} , 1/год, время восстановления выключателей T_B , ч, периодичность и длительность плановых ремонтов μ , 1/год и $T_{П}$, ч, а также время, необходимое для выявления отказавшего выключателя, T_o , ч, и время для отключения (включения) разъединителя T_p , ч.

Расчет ведется по форме табл. 2, где в первых двух левых столбцах указаны выключатели, последствия отказов которых рассматриваются, и соответствующие частоты отказов, а в головке - ремонтируемые выключатели и соответствующие коэффициенты режимов работы РУ:

$$K_j = \frac{\mu T_{\Pi}}{8760}.$$

Нормальному режиму работы РУ приписан индекс 0; коэффициент нормального режима:

$$K_0 = 1 - nK_j,$$

где n – количество выключателей в РУ.

Таблица 2

Форма таблицы для анализа надежности схемы РУ

i	ω_i , 1/год	j						
		0	1	2	3	4	...	m
1			-					
2				-				
3					-			
4						-		
...							...	
n								-

Для каждого режима (нормального и ремонтных) производится оценка последствий отказов поочередно каждого выключателя, а именно выявляются отключившиеся элементы (генераторы, трансформаторы, линии), и деления РУ на электрически не связанные части, а также вычисляется частота таких отказов, 1/год:

$$\omega_{ij} = \omega_i K_j,$$

и длительность вынужденного простоя отключенных элементов или работы с делением РУ, ч.

Результаты анализа последствий отказов («аварийной ситуации») и расчета записываются в три строки клеток на пересечении

соответствующих строк и столбцов. Аварийная ситуация записывается в виде группировки элементов, получающейся после отказов выключателей. В записи группировки знаком «/» выделены отключившиеся элементы или выделившиеся группы элементов. Основная часть элементов, оставшихся объединенными, в записи опущена. Например, группировка 1/2/ означает отключение элементов 1 и 2, а группировка 1/2,5/ – отключение элемента 1 и выделение элементов 2 и 5.

Суммируя математические ожидания отказов, имеющих одинаковые последствия, можно сделать выборку, характеризующую надежность рассматриваемого РУ. Объем выборки может быть различным в зависимости от цели исследования надежности РУ, например, оценка числа отключений генераторов, разрывов связей с приемными системами или источниками питания, чисел и значений набросов мощности на электропередачи и т. п.

Время вынужденного простоя элементов, которые отключаются при отказах выключателей или линий, определяется либо временем, необходимым для отделения отказавшего выключателя или линии, либо длительностью одновременного простоя отказавшего и находящегося в плановом ремонте выключателей. При расчетах времени, необходимого для отделения отказавших выключателя или линии, принято $T_0 = 0,3$. Отказавший выключатель отделяется двумя разъединителями, линия - одним.

4.3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Изучить теоретические положения.
2. Решить задачи:

Задача №1

Выполнить расчет математического ожидания перерывов электроснабжения и их средней длительности для схемы, приведенной на рис. 12, а.

Параметры линий электропередачи и их показатели надежности даны в табл. 3. Возможность проведения плановых ремонтов линий в периоды с благоприятными климатическими условиями учесть коэффициентом $K_{\omega} = 0,5$.

Исходные данные для задачи №1

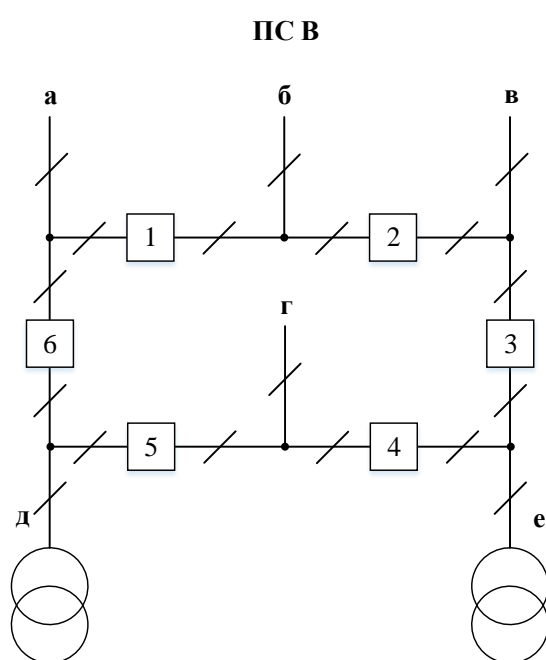
Линия	Напряжение, кВ	Длина, км	ω , 1/год	T_B , ч	μ , 1/год	$T_{П}$, ч
1	220	100	0,70	16	6	8
2	220	120	0,84	16	6	8
3	110	50	0,50	14	5	8
4	110	60	0,60	14	5	8
5	110	40	0,40	14	5	8

Задача №2

Выполнить расчет надежности схемы распределительного устройства, приведенной на рис. 13, а, табличным методом.

Определить частоту отказов и коэффициент вынужденного простоя для следующих аварийных ситуаций: отключение линии а; отключение трансформаторов Т1 и Т2; нарушение транзита между подстанциями А и Б (рис. 13, б).

а)



б)

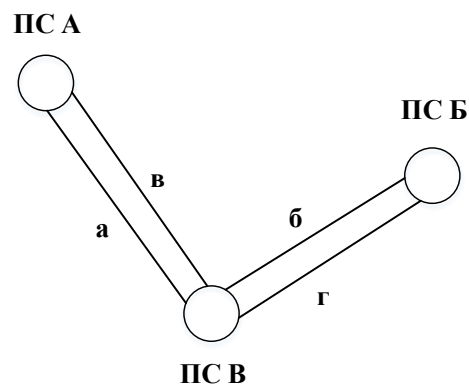


Рис. 13. Расчетная схема для задачи №2: а – схема распределительного устройства подстанции; б – схема транзита мощности между подстанциями

Показатели надежности выключателей рассматриваемого распределительного устройства: $\omega = 0,025$ 1/год; $T_B = 70$ ч; $T_{II} = 120$ ч; $\mu = 0,3$ 1/год.

3. Подготовить отчет о выполнении практической работы в соответствии с указанными требованиями.

4.4. ТРЕБОВАНИЯ К ОТЧЕТУ

Отчет о выполнении работы должен содержать:

- наименование и цель работы;
- подробную последовательность расчетов;
- ответ по каждой задаче.

4.5. ФОРМЫ И СРОКИ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ

Защиту отчета по практической работе принимает преподаватель, проводящий практические занятия, до семнадцатой контрольной недели. Защита проводится в форме собеседования по контрольным вопросам. Преподавателю предоставляется право задавать обучающимся дополнительные вопросы, а также, помимо теоретических вопросов, давать задачи и примеры, связанные с тематикой практической работы.

Практическая работа считается защищенной, если студент дал полные ответы на все заданные вопросы, не допустив при этом существенных неточностей, а отчет оформлен в соответствии с изложенными требованиями.

4.6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Сущность метода расчета надежности схемы сети с помощью блок-схем.
2. Какими показателями характеризуются блоки на блок-схеме надежности?
3. Как определяется время одновременного простоя двух элементов при наложении вынужденного простоя первого элемента на плановый простой второго элемента?
4. Какие виды отказов выключателей рассматриваются в упрощенной модели отказов выключателя?

5. Сущность табличного метода расчета надежности распределительного устройства.