

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования
«Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого»

Кафедра «Электроснабжение»

Ю. Н. Колесник, Ю. А. Рудченко

ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

**по одноименному курсу для студентов специальностей
1-43 01 03 «Электроснабжение», 1-43 01 07 «Техническая
эксплуатация энергооборудования организаций»,
1-43 01 02 «Электроэнергетические системы и сети»
дневной формы обучения**

Гомель 2009

УДК 621.311(075.8)
ББК 31.27я73
К60

*Рекомендовано научно-методическим советом
энергетического факультета ГГТУ им. П. О. Сухого
(протокол № 10 от 25.06.2008 г.)*

Рецензент: канд. техн. наук, доц. каф. «Электроснабжение» ГГТУ им. П. О. Сухого *А. Г. Ус*

Колесник, Ю. Н.

К60

Электроснабжение промышленных предприятий : лаборатор. практикум по одному курсу для студентов специальностей 1-43 01 03 «Электроснабжение», 1-43 01 07 «Техническая эксплуатация энергооборудования организаций», 1-43 01 02 «Электроэнергетические системы и сети» днев. формы обучения / Ю. Н. Колесник, Ю. А. Рудченко. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2009. – 80 с. – Систем. требования: PC не ниже Intel Celeron 300 МГц ; 32 Mb RAM ; свободное место на HDD 16 Mb ; Windows 98 и выше ; Adobe Acrobat Reader. – Режим доступа: <http://lib.gstu.local>. – Загл. с титул. экрана.

Содержатся краткие теоретические сведения, описание приборов и оборудования, порядок и правила техники безопасности, необходимые для выполнения лабораторных работ по курсу «Электроснабжение промышленных предприятий» в 8 семестре.

Для студентов дневной формы обучения.

УДК 621.311(075.8)
ББК 31.27я73

© Учреждение образования «Гомельский
государственный технический университет
имени П. О. Сухого», 2009

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

Тема: Использование графиков электрических нагрузок в решении задач электроснабжения

Цель работы:

1. Изучить типы графиков нагрузки потребителей электроэнергии, их характеристики, а также практические задачи электроснабжения, решаемые на основе графиков электрических нагрузок;

2. Ознакомиться со справочными материалами по режимам электрических нагрузок приемников и потребителей электроэнергии;

3. Для одного из потребителей электроэнергии, согласно варианту задания, выполнить следующее:

а) определить физические величины графика нагрузки и безразмерные коэффициенты;

б) рассчитать расход электроэнергии, потери мощности и электроэнергии в системе электроснабжения предприятия, оценить расчетную электрическую нагрузку.

Теоретическая часть

При проектировании и эксплуатации систем электроснабжения имеют дело с тремя видами электрической нагрузки:

- активная мощность нагрузки P ;
- реактивная мощность нагрузки Q ;
- ток I .

Кривая, характеризующая изменение нагрузки во времени называется графиком электрической нагрузки (рис. 1.1).

Под величиной нагрузки в данный момент времени понимается ее действующее значение, показываемое измерительными приборами с достаточно малой инерцией.

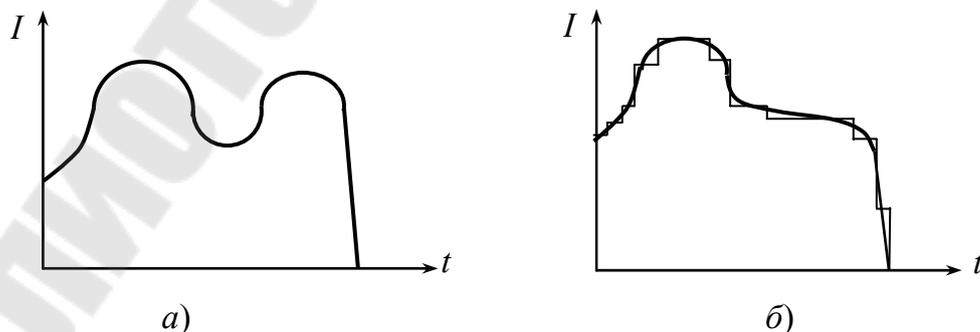


Рис. 1.1. Непрерывный (а) и дискретный (б) графики нагрузки

Для решения практических задач электроснабжения непрерывный график заменяют дискретным (рис. 1.1, б). Он может быть получен при помощи счётчиков электрической нагрузки.

Различают индивидуальные и групповые графики электрической нагрузки – соответственно, для отдельных электроприёмников и для группы электроприёмников.

Зная индивидуальные графики нагрузки можно получить групповой:

$$P(t) = \sum_{i=1}^n p_i(t); Q(t) = \sum_{i=1}^n q_i(t); I(t) = \frac{\sqrt{P^2(t) + Q^2(t)}}{\sqrt{3} \cdot U_H}.$$

Выражение $I(t) \approx \sum_1^n i_i(t)$ можно использовать тогда, когда коэффициенты мощности электроприёмников, формирующих групповой график нагрузки, примерно равны.

Для групповых графиков нагрузки степень регулярности определяется не только типами слагающих его индивидуальных графиков, но и взаимозависимостями нагрузок отдельных электроприёмников.

С точки зрения периодичности различают следующие типы групповых графиков нагрузки:

- нерегулярные;
- почти периодические.

В большинстве случаев имеют место почти периодические групповые графики нагрузки (рис. 1.2).

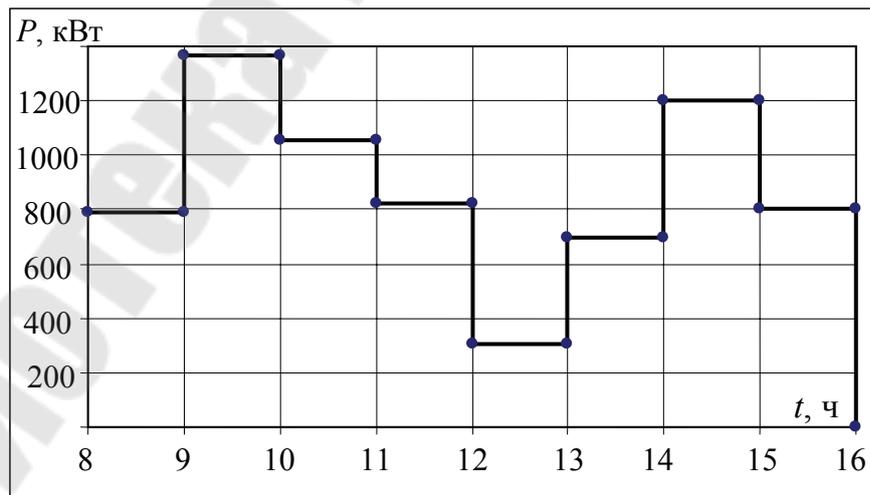


Рис. 1.2. Групповой график нагрузки потребителя электроэнергии за смену

Групповые графики нагрузки, для которых характерна повторяемость нагрузки в течение разных смен в определённые временные интервалы, называют почти периодическими.

Групповые графики нагрузки, используемые для решения практических задач электроснабжения, делятся на: суточные (сменные); годовые (по месяцам); упорядоченные; типовые.

Суточные (сменные) графики нагрузки (рис. 1.2) характеризуют изменение нагрузки в течение суток (смены). При этом следует различать рабочие сутки, а также выходные и праздничные дни, нагрузка в которые существенно ниже. Особенностью суточных графиков нагрузки является их неравномерность, когда наблюдаются утренний и вечерний максимумы. Ночью нагрузка существенно снижается. Исключение составляют потребители с непрерывным техническим процессом.

Годовые графики нагрузки характеризуют изменение нагрузки по месяцам в течение года (рис. 1.3).

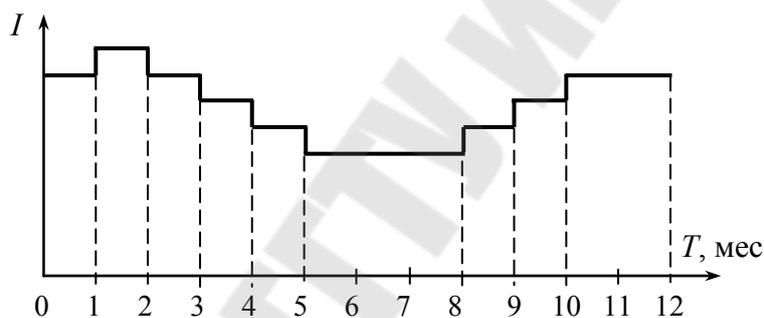


Рис. 1.3. Годовой график нагрузки потребителя электроэнергии

Различают два периода:

- 1) осенне-зимний (1 и 4 кварталы года);
- 2) весенне-летний (2 и 3 кварталы года).

Для годовых графиков нагрузки характерно снижение нагрузки в течение летнего периода и увеличение её в зимний период. Данные графики используются для определения сезонного фактора нагрузки, что имеет существенное значение при проектировании систем электроснабжения потребителей электроэнергии сельскохозяйственного производства.

Упорядоченные графики нагрузки показывают время работы потребителя с определённой нагрузкой за принятый временной промежуток, например, за сутки, или за год (рис. 1.4).

Упорядоченные графики используют для определения расхода электроэнергии и времени использования максимума нагрузки T_m ,

времени максимальных потерь τ , а также для установления закона распределения вероятности нагрузки.

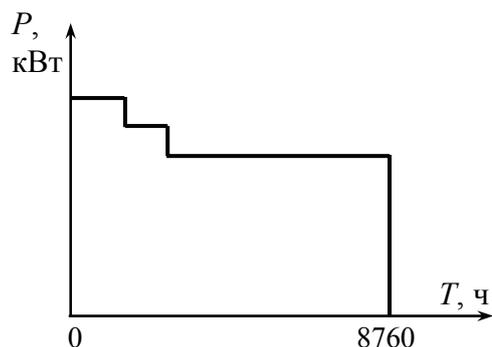


Рис. 1.4. Упорядоченный график нагрузки потребителя электроэнергии

Типовой график нагрузки – усреднённый по времени и набору электроприёмников график нагрузки аналогичных по режиму работы потребителей.

При большом количестве электроприёмников, входящих в группу (цех, завод, жилой дом, район) их групповой график нагрузки становится устойчивым, почти периодическим.

Различают типовые графики сельскохозяйственных потребителей, промышленных потребителей (по отраслям) и потребителей коммунально-бытового сектора. Данные типовых графиков нагрузки приводятся в справочной литературе в относительных единицах и используются при проектировании систем электроснабжения потребителей.

Нагрузка типового графика, как правило, нормируется относительно максимального значения и представляется в процентах.

В отличие от промышленных потребителей вечерний максимум нагрузки потребителей коммунально-бытового сектора больше, чем утренний.

При рассмотрении типовых графиков нагрузки имеют место характерные графики за летний и зимний дни. Для различия графиков нагрузки по сезонам года используют коэффициент сезонности (в основном, для потребителей сельского хозяйства).

Коэффициент сезонности – отношение математического ожидания максимума нагрузки данного месяца к математическому ожиданию годового максимума нагрузки.

При проектировании систем электроснабжения следует учитывать, что время наступления максимальной нагрузки у различных по-

требителей разное, поэтому при совместном электропитании этих потребителей необходимо учитывать эффект несовмещения максимумов их нагрузки.

Очевидно, что суммарная максимальная нагрузка потребителей меньше суммы их максимумов:

$$P_{\text{м.у}} \leq \sum P_{\text{м.и}}.$$

Данное явление характеризуется коэффициентом совмещения максимумов:

$$K_0 = K_{\Sigma} = \frac{P_{\text{м.у}}}{\sum P_{\text{м.и}}}.$$

Значения этого коэффициента представлены в справочной литературе для различных потребителей электроэнергии. Также он может быть определен в зависимости от коэффициента использования и времени использования максимума нагрузки потребителей электроэнергии по справочным номограммам:

$$K_0 = f(K_{\text{и}}; T_{\text{м}}).$$

Таким образом, типовые графики нагрузки (как правило, суточные) приводятся в справочной литературе, где нагрузка представлена в относительных единицах. Однако на практике оперировать с графиками нагрузки не всегда удобно, поэтому при расчётах электрических нагрузок, согласовании технических условий на электроснабжение, решении задач на лимитирование и управление электропотреблением пользуются показателями, характеризующими графики нагрузки.

При известной установленной мощности $P_{\text{уст}}$ и известном графике электрических нагрузок можно определить физические величины и безразмерные коэффициенты ГЭН.

Физические величины графиков нагрузки

Физические величины, характеризующие графики электрических нагрузок, следующие:

1. $P_{\text{с}}$ – средняя нагрузка ($Q_{\text{с}}, S_{\text{с}}, I_{\text{с}}$);
2. $P_{\text{ск}}$ – среднеквадратичная (эффективная) нагрузка ($Q_{\text{ск}}, S_{\text{ск}}, I_{\text{ск}}$);
3. $P_{\text{м}}$ – максимальная нагрузка ($Q_{\text{м}}, S_{\text{м}}, I_{\text{м}}$):
 - а) $P_{\text{р}}$ – расчётная (максимальная длительная) нагрузка;
 - б) $P_{\text{пик}}$ – пиковая (максимальная кратковременная) нагрузка.

Средняя нагрузка – постоянная, неизменная во времени нагрузка в течение рассматриваемого промежутка времени, которая вызывает такой же расход электроэнергии, что и реальная, изменяющаяся нагрузка за этот же промежуток времени (T):

$$P_c = \frac{\int_0^T P(t) dt}{T}.$$

На практике средняя нагрузка определяется по показателям электрических счётчиков, либо других приборов, с помощью формул:

$$P_c = \frac{W}{T}; \quad Q_c = \frac{V}{T}; \quad P_c = \frac{\sum P_i \cdot \Delta t_i}{T};$$

$$i_c = \frac{1}{\sqrt{3}U_H \cdot T} \int_0^T \sqrt{P^2 + Q^2} dt \approx \frac{\sqrt{P_c^2 + Q_c^2}}{\sqrt{3}U_H};$$

$$P_c = \sum p_{c_i}; \quad Q_c = \sum q_{c_i}; \quad I_c \approx \sum i_{c_i}.$$

В практических целях в качестве средней нагрузки используется среднечасовая, средняя нагрузка за смену, за сутки, среднегодовая нагрузка. Для определения расчётной нагрузки используется средняя нагрузка за наиболее нагруженную смену, в качестве которой выбирается смена с наибольшим расходом электроэнергии. Средняя мощность используется также и для определения расхода электроэнергии потребителей.

Среднеквадратичная нагрузка – такая неизменная в течение промежутка времени T нагрузка, которая вызывает потери мощности и энергии в элементах системы электроснабжения потребителей такие же, как реальная изменяющаяся за это же время (T) нагрузка:

$$P_{ск} = \sqrt{\frac{1}{T} \cdot \int_0^T P^2(t) dt}; \quad I_{ск} = \sqrt{\frac{1}{T} \cdot \int_0^T I^2(t) dt}; \quad P_{ск} = \sqrt{\frac{\sum P_i^2 \cdot \Delta t_i}{T}}.$$

Среднеквадратичная нагрузка используется для определения потерь мощности и энергии в элементах системы электроснабжения.

Понятие «среднеквадратичной нагрузки» приводит к понятиям «дисперсия нагрузки» и «стандартного отклонения нагрузки»:

$$DP = P_{ск}^2 - P_c^2; \quad DI = I_{ск}^2 - I_c^2;$$

$$\sigma_P = \sqrt{DP}; \quad \sigma_I = \sqrt{DI}.$$

Максимальная нагрузка – это наибольшая из средних нагрузок за рассматриваемый промежуток времени. При этом различают максимальную длительную и кратковременную нагрузки.

Максимальная длительная нагрузка характеризуется периодом усреднения от нескольких минут до нескольких часов. Она используется для выбора токоведущих частей СЭС по условию нагрева.

Максимальная кратковременная нагрузка характеризуется периодом усреднения от доли до нескольких секунд. Её называют пиковой нагрузкой:

$$I_{\text{пик}} > I_{\text{м}} \geq I_{\text{ск}} \geq I_{\text{с}}.$$

Пиковая нагрузка используется для расчётов релейной защиты и автоматики, выбора предохранителей и автоматических выключателей.

Из максимальной длительной нагрузки важнейшее значение имеет расчётная нагрузка. Под расчётной нагрузкой понимается такая условная нагрузка, которая эквивалентна реальной нагрузке по наиболее тяжелому тепловому эффекту. В связи с этим рассматривают следующие 2 определения расчётной нагрузки:

- 1) расчётная нагрузка, определяющая нагрев (износ) изоляции;
- 2) расчётная нагрузка, определяющая нагрев токоведущих частей.

Из 2-х значений расчётной мощности используют наибольшее значение. Как правило, этим значением является нагрузка, которая обуславливает наибольший нагрев проводника над температурой окружающей среды. При этом значение расчётной мощности определяется, как:

$$P_{\text{р}} = \sqrt{3} \cdot I_{\text{р}} \cdot U_{\text{н}} \cdot \cos\varphi_{\text{ср.взв}}; \quad \cos\varphi_{\text{ср.взв}} = \frac{W}{\sqrt{W^2 + V^2}}.$$

Так как нагрев проводника определяется продолжительностью нагрузки, то должны существовать определённые периоды усреднения графика нагрузки. В качестве такого периода принимается величина, равная утроенному значению постоянной времени нагрева токоведущих частей системы электроснабжения, на которые рассчитывается нагрузка:

Коэффициенты графиков нагрузки

Наряду с физическими величинами графики нагрузки описываются безразмерными коэффициентами. Эти коэффициенты устанавливают связь между основными физическими величинами, характеризуют неравномерность графиков нагрузки, а также использование электроприёмников и потребителей электроэнергии по мощности и времени.

Рассмотрим коэффициенты, характеризующие связь между основными физическими величинами графиков нагрузки:

1. Коэффициент максимума графика:

$$k_{\text{м.г.}} = \frac{P_{\text{м.}}}{P_{\text{с.}}}$$

В практике электроснабжения при определении расчетных нагрузок методом упорядоченных диаграмм, вместо коэффициента максимума используют коэффициент расчетной нагрузки:

$$k_{\text{р}} = \frac{P_{\text{р}}}{k_{\text{и}} P_{\text{уст}}},$$

где $P_{\text{р}}$ – расчетная нагрузка, представляет собой максимальную нагрузку, эквивалентную реальной по тепловому эффекту.

Коэффициент максимума относится к групповым графикам нагрузки и устанавливает связь между средней и максимальной нагрузками за наиболее загруженную смену.

Коэффициент расчетной нагрузки определяется по справочным номограммам в зависимости от группового коэффициента использования, эффективного количества электроприемников и постоянной времени нагрева токоведущих частей:

$$k_{\text{р}} = f(k_{\text{и}}; n_{\text{э}}; T_0).$$

При этом РТМ 36.18.34.4-92 приняты следующие постоянные времени нагрева:

$T_0 = 10$ мин – для сетей напряжением до 1 кВ, выполненных распределительными шинопроводами и шкафами;

$T_0 = 2,5$ ч – для магистральных шинопроводов, вводно-распределительных устройств и цеховых трансформаторных подстанций;

$T_0 \geq 30$ мин – для кабелей напряжением 6-10 кВ, питающих цеховые трансформаторные подстанции и распределительные пункты. Расчетная мощность нагрузки для этих элементов определяется при $K_{\text{р}} = 1$.

2. Коэффициент заполнения графика:

$$k_{\text{з.г.}} = \frac{P_{\text{с.}}}{P_{\text{м}}} = \frac{1}{k_{\text{м}}}.$$

Данный коэффициент определяется, как для группового, так и для индивидуального графика нагрузки.

3. Коэффициент формы графика:

$$k_{\text{ф.г.}} = \frac{P_{\text{ск}}}{P_{\text{с}}}, \quad k_{\text{ф.г.}} \geq 1,$$

где $k_{\text{ф.г.}} = 1-1,2$ – для групповых графиков;

$k_{\text{ф.г.}} = 1-3$ – для индивидуальных графиков.

Например, режим работы насосного агрегата привода нефтедобывающего станка-качалки, характеризуется периодическим графиком нагрузки (рис. 1.5). Коэффициент формы такого графика составляет около 2-х, что приводит к высоким потерям мощности и энергии в элементах электроснабжения данной установки. Поэтому, с целью снижения потерь, к одному источнику питания (трансформатору) подключают несколько таких агрегатов, в результате чего выравнивается групповой график нагрузки.

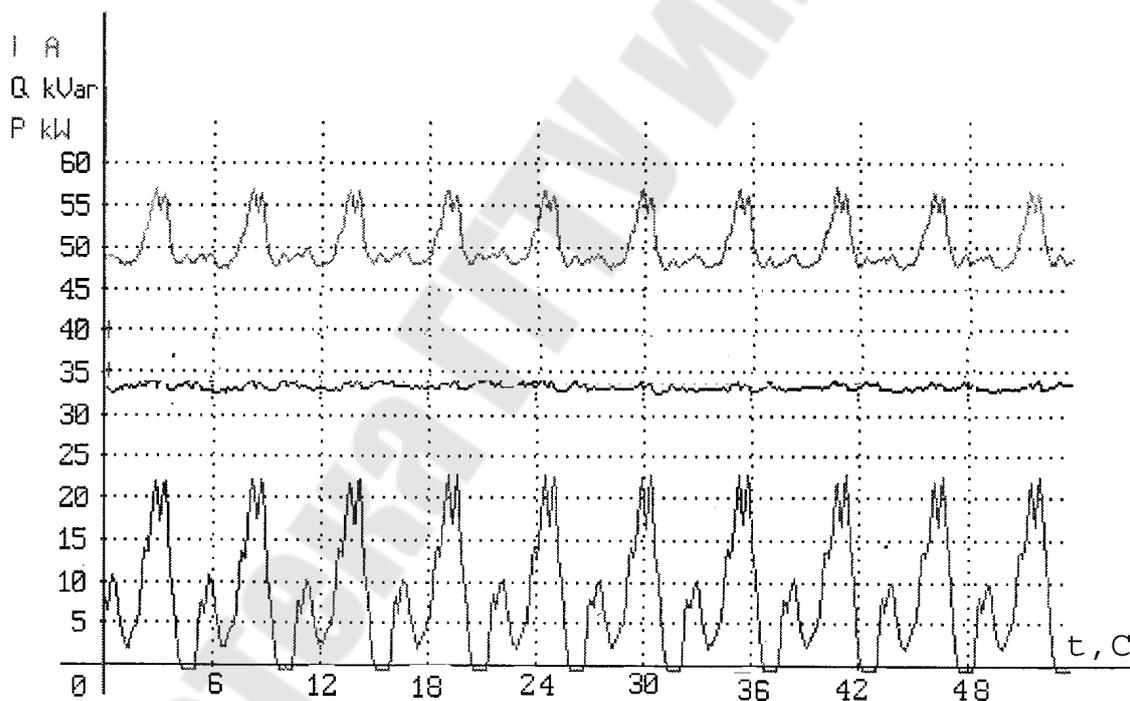


Рис. 1.5. График нагрузки агрегата нефтедобычи типа ШГН с двигателем марки Asle ($P_{\text{н}} = 50$ кВт, $\cos\phi_{\text{н}} = 0,85$)

Коэффициент формы характеризует степень неравномерности графика нагрузки, прямо пропорционален величине потерь мощности и энергии в элементах системы электроснабжения потребителя.

Коэффициенты, характеризующие режимы работы приемников и потребителей электроэнергии

1. Коэффициент включения:

$$k_B = \frac{t_B}{t_B + t_O + t_{XX}},$$

где t_B – время включения и работы электроприёмников;

t_O – время отключения электроприёмника;

t_{XX} – время работы в режиме холостого хода.

Для групповых графиков коэффициент включения определяется, как средневзвешенное значение коэффициентов включения входящих в группу электроприёмников:

$$K_B = \frac{\sum k_{B_i} \cdot P_{H_i}}{\sum P_{H_i}}.$$

Коэффициент включения K_B характеризует использование электроприёмников по времени.

1. Коэффициент загрузки:

$$k_3 = \frac{P_{CB}}{P_H},$$

где P_{CB} – средняя мощность нагрузки за время включения электроприёмника:

$$P_{CB} = \frac{T_{Ц}}{T_B} \cdot P_C; \quad P_{CB} = \frac{\sum P_i \cdot \Delta t_i}{T_B},$$

где $T_{Ц}$ – время цикла;

T_B – время включения;

P_C – средняя нагрузка за цикл или смену.

Коэффициент загрузки характеризует использование электроприёмников по мощности.

3. Коэффициент использования:

$$k_{И} = \frac{P_C}{P_H}.$$

При заданных индивидуальных коэффициентах использования групповой коэффициент рассчитывается, как средневзвешенное значение по выражению:

$$K_{\text{и}} = \frac{\sum k_{\text{и}i} \cdot P_{\text{н}i}}{\sum P_{\text{н}i}}.$$

Коэффициент использования характеризует использование электроприёмников по мощности и по времени – это один из основных коэффициентов, применяемых при определении расчётной нагрузки. Его значения приведены в справочниках для электрооборудования различных типов (например, для металлообрабатывающих станков, $k_{\text{и}} = 0,12 - 0,2$).

$$k_{\text{и}} = k_{\text{з}} \cdot k_{\text{в}}.$$

4. Коэффициент спроса:

$$K_{\text{с}} = \frac{P_{\text{р}}}{\sum_1^n P_{\text{пасп}i}}; \quad K_{\text{с}} = K_{\text{и}} \cdot K_{\text{м.г.}}$$

Несложно показать, что при известных коэффициентах могут быть определены такие необходимые для практики величины, как:

время использования максимума нагрузки $T_{\text{м}}$:

$$T_{\text{м}} = K_{\text{з.г.}} \cdot T.$$

Время максимальных потерь τ :

$$\tau = (K_{\text{ф.г.}} \cdot K_{\text{з.г.}})^2 \cdot T.$$

Таким образом, режимы работы потребителей электроэнергии (графики электрических нагрузок) характеризуются следующими показателями:

- средняя нагрузка $P_{\text{с}}$, среднеквадратическая (эффективная) нагрузка $P_{\text{ск}}$, максимальная нагрузка $P_{\text{м}}$;
- коэффициент максимума $K_{\text{м.г.}}$, коэффициент заполнения графика нагрузки $K_{\text{з.г.}}$; коэффициент формы графика $K_{\text{ф.г.}}$;
- коэффициент использования $K_{\text{и}}$, коэффициент загрузки $K_{\text{з}}$, коэффициент включения $K_{\text{в}}$, коэффициент спроса $K_{\text{с}}$.

С использованием данной системы показателей решается значительное количество задач электроснабжения:

- определение расхода электроэнергии;
- определение потерь мощности и энергии в элементах системы электроснабжения;
- определение расчетной нагрузки и выбор токоведущих элементов электроснабжения.

Определение расхода электроэнергии

1. Определение расхода электроэнергии по графику нагрузки

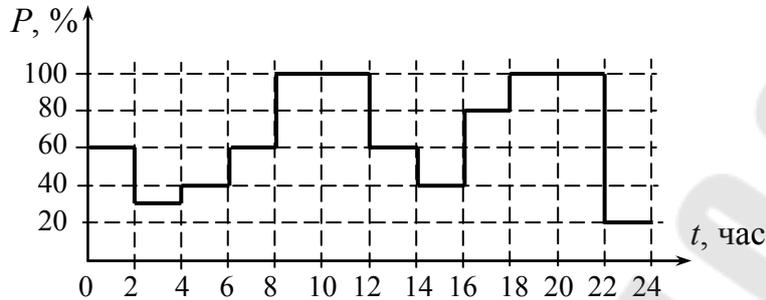


Рис. 1.6. График нагрузки потребителя электроэнергии

Расход электроэнергии численно равен площади фигуры ограниченной графиком электрической нагрузки:

$$W = \sum P_i \cdot \Delta t_i.$$

Метод является точным, однако на практике часто отсутствуют графики электрической нагрузки, поэтому используются укрупнённые методы определения расхода электроэнергии.

2. Определение расхода электроэнергии методом коэффициента использования

Годовой расход электроэнергии определяется по выражению:

$$W_{\Gamma} = P_{\text{уст}} \cdot K_{\text{и}} \cdot \alpha \cdot T_{\Gamma},$$

где T_{Γ} — годовой фонд рабочего времени;

α — коэффициент сменности по энергоиспользованию. Он показывает связь между средней нагрузкой за наиболее нагруженную смену и среднегодовой нагрузкой:

$$\alpha = \frac{P_{\text{с.г.}}}{P_{\text{с}}}.$$

Значения этого коэффициента приводятся в справочной литературе для различных потребителей электроэнергии.

В случаях, когда отсутствуют данные об α , годовой расход электроэнергии определяется по выражению:

$$W_{\Gamma} = P_{\text{с}} \cdot (T_1 + T_2 \cdot \beta_2 + T_3 \cdot \beta_3) \cdot C,$$

где T_1, T_2, T_3 — годовой фонд рабочего времени за 1-ю, 2-ю и 3-ю рабочие смены;

β_2, β_3 — коэффициенты, учитывающие степень менее нагруженной 2-й и 3-й смены относительно первой;

C – коэффициент, учитывающий работу в выходные и праздничные дни.

Данный метод на практике используется очень редко.

3. Определение расхода электроэнергии через максимальную нагрузку

Годовой расход электроэнергии определяется по выражению:

$$W_{\Gamma} = P_{\text{M}} \cdot T_{\text{M}},$$

где P_{M} – максимальная нагрузка потребителя;

T_{M} – время использования максимума нагрузки, т.е. время, в течение которого потребитель израсходует столько же электроэнергии при работе с максимальной нагрузкой, сколько и при работе по реальной нагрузке за годовой фонд рабочего времени (рис. 1.7):

$$W_{\Gamma} = Pc \cdot T, \quad W_{\Gamma} = P_{\text{M}} \cdot K_{3\Gamma} \cdot T.$$

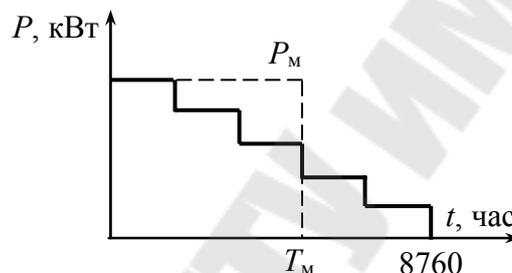


Рис. 1.7. Определение расхода электроэнергии через максимальную нагрузку

4. Определение расхода реактивной энергии

Расход реактивной энергии определяется аналогично расходу активной энергии. В общем случае реактивное энергопотребление определяется по выражению:

$$V_{\Gamma} = W_{\Gamma} \cdot \text{tg} \phi_{\text{ср.вз}},$$

где $\text{tg} \phi_{\text{ср.вз}}$ – средневзвешенный коэффициент реактивной мощности, может быть выражен через средневзвешенный коэффициент активной мощности:

$$\cos \phi_{\text{ср.вз}} = \frac{W}{\sqrt{W^2 + V^2}}.$$

Определение расхода реактивной энергии необходимо для осуществления денежных расчётов за реактивное электропотребление (при необходимости), а также для выбора компенсирующих устройств.

Определение потерь мощности и энергии в системах электроснабжения

На практике, порядка (10-15) % электрической энергии теряется при её транспортировке и трансформации. Поэтому актуальной является задача воздействия на факторы, определяющие потери электроэнергии, с целью их снижения.

Основные потери электрической энергии в системах электроснабжения имеют место в линиях электропередачи и трансформаторах. Существуют несколько способов определения потерь мощности и энергии.

1. Определение потерь мощности и энергии по средней (среднеквадратичной) нагрузке:

$$\Delta P = 3(I_c \cdot K_{ф.г.})^2 \cdot R = \left(\frac{S_c \cdot K_{ф.г.}}{U_n} \right)^2 \cdot R = \left(\frac{S_{ск}}{U_n} \right)^2 \cdot R,$$

где I_c , S_c – средний ток и мощность потребителя;

$K_{ф.г.}$ – коэффициент формы графика нагрузки;

R – сопротивление элемента системы электроснабжения;

$S_{ск}$ – среднеквадратичная нагрузка потребителя.

В данном случае потери электрической энергии определяются по выражению:

$$\Delta W_{год} = \Delta P \cdot T_r,$$

где T_r – годовой фонд рабочего времени.

2. Определение потерь мощности и энергии по максимальной мощности нагрузки (метод времени максимальных потерь):

$$\Delta P_m = \left(\frac{S_m}{U_n} \right)^2 \cdot R,$$

где S_m – максимальная мощность нагрузки.

Потери электрической энергии здесь определяются по выражению:

$$\Delta W_{год} = \Delta P_m \cdot \tau,$$

где τ – время максимальных потерь. Это время, в течение которого теряется столько же энергии при работе с максимальной нагрузкой, сколько за время работы потребителя по реальному графику:

$$\tau = \left(\frac{P_{\text{ск}}}{P_{\text{м}}} \right)^2 \cdot T = (K_{\text{ф.г.}} \cdot K_{\text{з.г.}})^2 \cdot T.$$

Время максимальных потерь может также определяться по эмпирическому выражению:

$$\tau = (0,124 + T \cdot 10^{-4})^2 \cdot 8760.$$

Данное выражение может быть использовано для определения годового времени максимальных потерь потребителей, у которых $T_{\text{м}} > 3000$ ч, если $\cos \varphi > 0,6$.

$T_{\text{м}}$ – время использования максимальной нагрузки – время, в течение которого потребитель израсходует столько же энергии при работе с максимальной нагрузкой, сколько и при работе с реальной нагрузкой за годовой фонд рабочего времени:

$$T_{\text{м}} = K_{\text{з.г.}} \cdot T_{\text{г.}}$$

Для определения τ могут также использоваться номограммы, представляющие собой зависимости $\tau = f(T_{\text{м}}, \cos \varphi)$.

3. Приближённый расчёт потерь мощности в линиях электропередачи и трансформаторах

На предпроектных стадиях, когда отсутствуют сведения о схеме электроснабжения и неизвестны параметры ее элементов, при определении расчётной нагрузки вспомогательными методами потери мощности в линиях и трансформаторах допускается учитывать приближенно используя следующие выражения:

потери в трансформаторах:

$$\Delta P_{\text{т}} = 0,02 \cdot S_{\text{р}\Sigma}; \quad \Delta Q_{\text{т}} = 0,1 \cdot S_{\text{р}\Sigma},$$

где $S_{\text{р}\Sigma}$ – суммарная расчётная мощность нагрузки потребителя;

потери в линиях электропередачи:

$$\Delta P_{\text{л}} = 0,035 \cdot S_{\text{р}\Sigma}; \quad \Delta Q_{\text{л}} \approx 0.$$

На предприятиях канализация электроэнергии осуществляется, как правило, кабельными линиями. При этом активное сопротивление кабеля в 10 и более раз превышает реактивное сопротивление, поэтому потерями реактивной мощности пренебрегают.

Определение расчётной нагрузки

Для определения расчётной нагрузки при известном графике нагрузки используют статистический метод. Данный метод основывается на результатах исследований, согласно которым групповая нагруз-

ка (начиная с 4 – 5 электроприемников) подчиняется нормальному закону распределения случайных величин. По этому закону, нагрузка от электроприемников может быть описана следующим выражением:

$$P = P_c \pm \beta \cdot \sigma;$$

где P_c – средняя нагрузка при достаточно большом количестве осреднений m продолжительностью $3 \cdot T_0$:

$$P_c = \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_m}{m};$$

σ – среднеквадратичное (стандартное) отклонение, определяемое по выражению:

$$\sigma = \sqrt{\frac{(P_1 + P_c)^2 + (P_2 + P_c)^2 + \dots + (P_m + P_c)^2}{m}};$$

P_1, P_2, \dots, P_m – средние значения нагрузки на каждом интервале осреднения продолжительностью $3 \cdot T_0$;

β – принятая кратность меры рассеяния (коэффициент Стьюдента) ($\beta = -3 \dots + 3$).

Придавая β различные значения, можно получить возможные значения нагрузки. В теории вероятностей часто пользуются «трех-сигмовой» вероятностью, т.е. вероятностью появления максимальной нагрузки:

$$P_{\text{макс}} = P_c + 3 \cdot \sigma,$$

а также минимальной ее величины:

$$P_{\text{мин}} = P_c - 3 \cdot \sigma.$$

Этим значениям нагрузки соответствуют предельные вероятности 0,001 и 0,999, которые крайне редки. При определении расчетной нагрузки на практике часто пользуются значением $\beta = 2,5$, поэтому выражение для определения максимальной нагрузки принимает следующий вид:

$$P_{\text{макс}} = P_c + 2,5 \cdot \sigma,$$

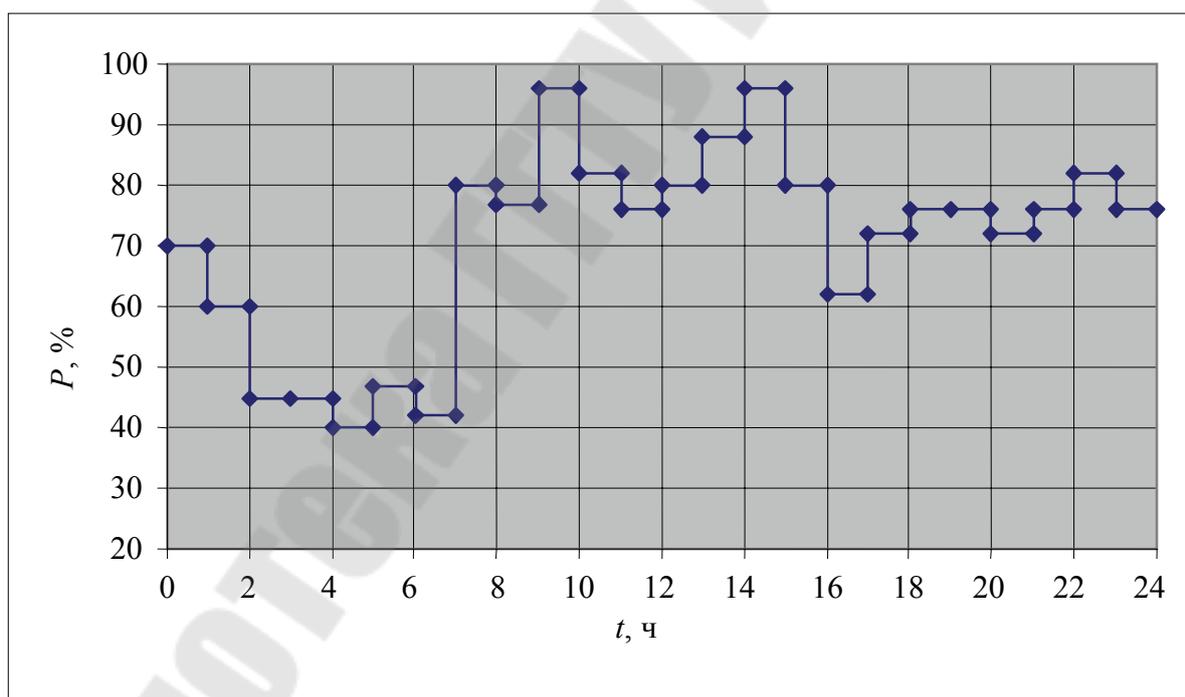
В этом случае вероятность того, что фактическая нагрузка превысит значение P_p , составит 0,005, т. е. 0,5 % общего времени действия нагрузок (смена, месяц, год). Принятие значения $\beta = 2,5$ оставляет неиспользованным значительный резерв в тепловом износе проводников, особенно для линий с неравномерным графиком нагрузки. Частота же появления нормированной температуры проводника будет близкой к вероятности 0,001. Также на практике пользуются значени-

ем $\beta = 1,65$, в этом случае вероятность того, что фактическая нагрузка превысит значение P_p , составит 0,05.

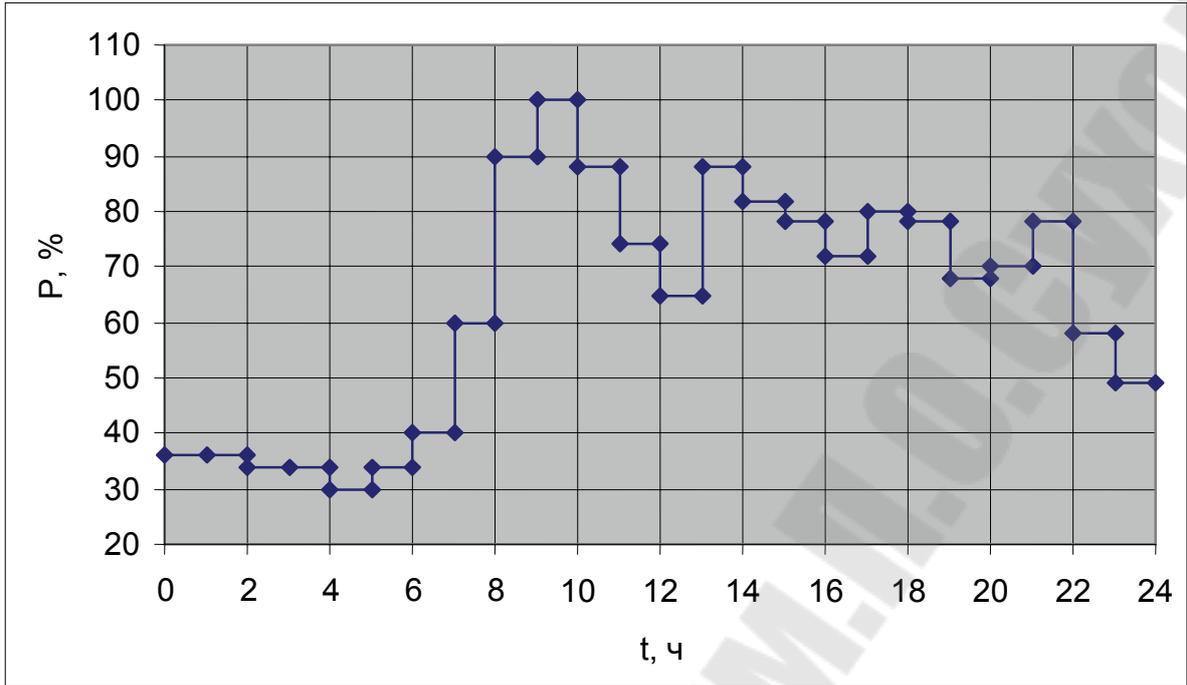
ЗАДАНИЕ 1:

Для варианта заданы суточный характерный график нагрузки (таблица 1.1) и установленная мощность электроприемников потребителя (таблица 1.2). Определить:

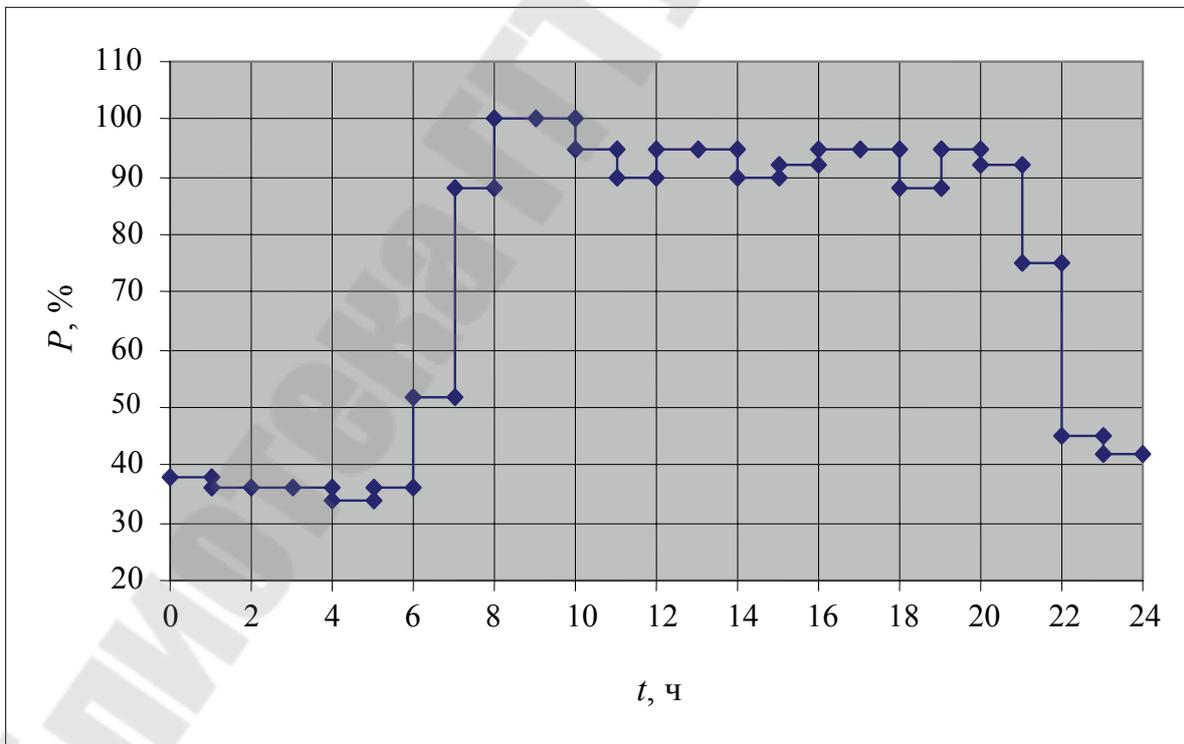
- физические величины и безразмерные коэффициенты ГЭН;
- время использования максимума нагрузки и время максимальных потерь за сутки и за год;
- статистическим методом определить расчетную нагрузку;
- используя приближенный метод расчета определить потери мощности в элементах системы электроснабжения предприятия;
- годовой расход электроэнергии с учетом коэффициента сменности по энергоиспользованию при заданном режиме работы (числе смен).



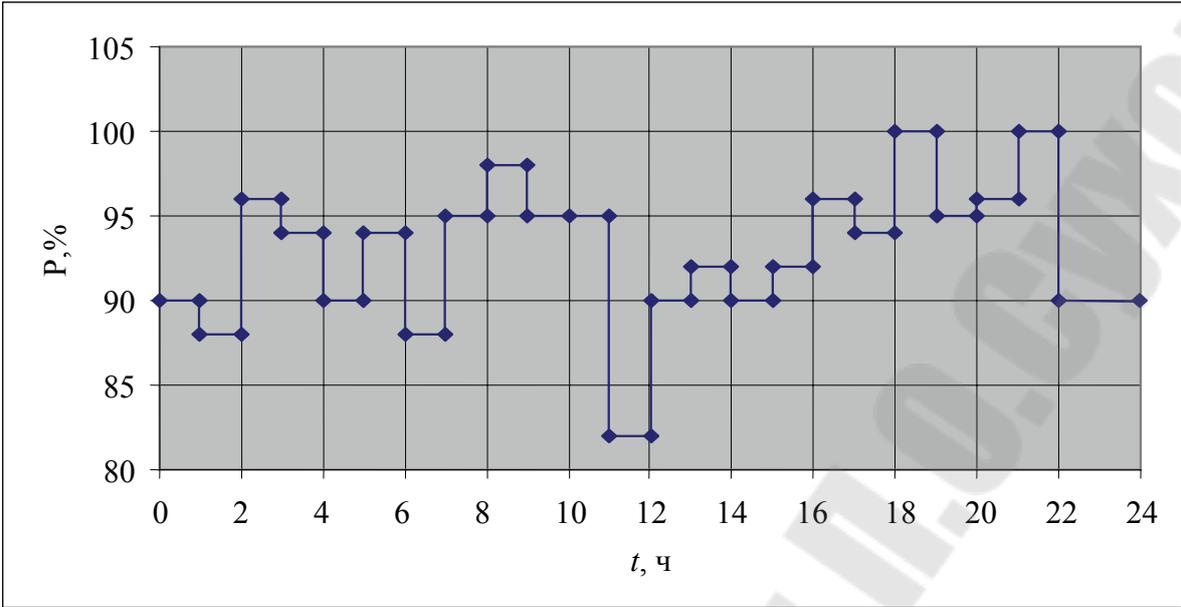
Вариант 1. Автомобильная промышленность



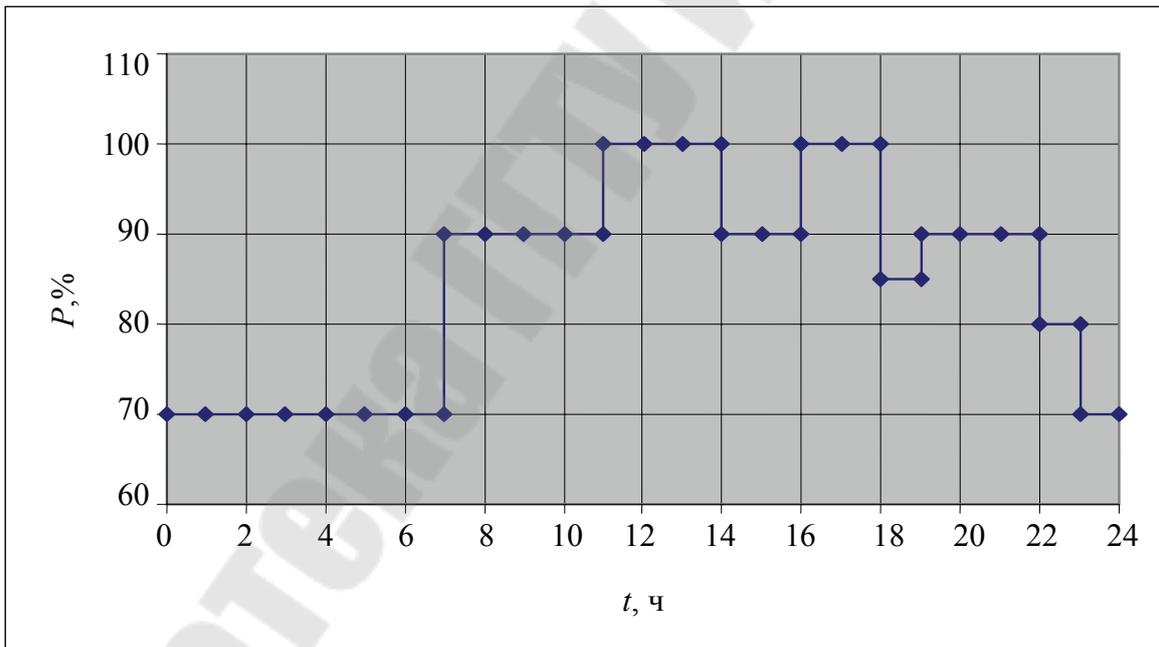
Вариант 2. Деревообрабатывающая промышленность



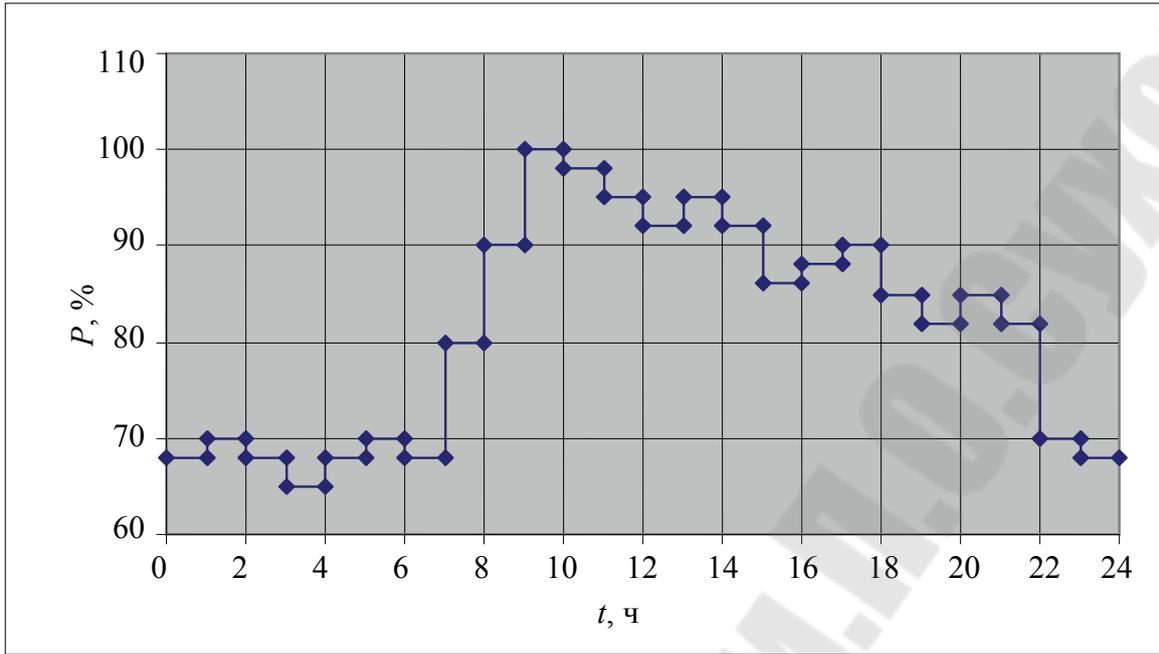
Вариант 3. Легкая промышленность



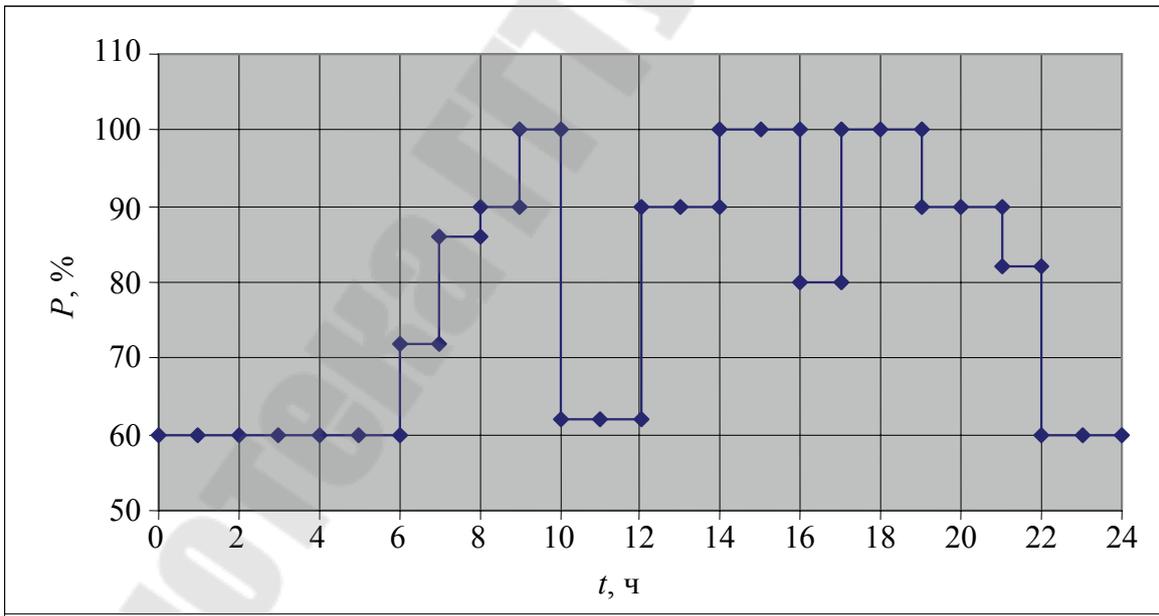
Вариант 4. Нефтепереработка



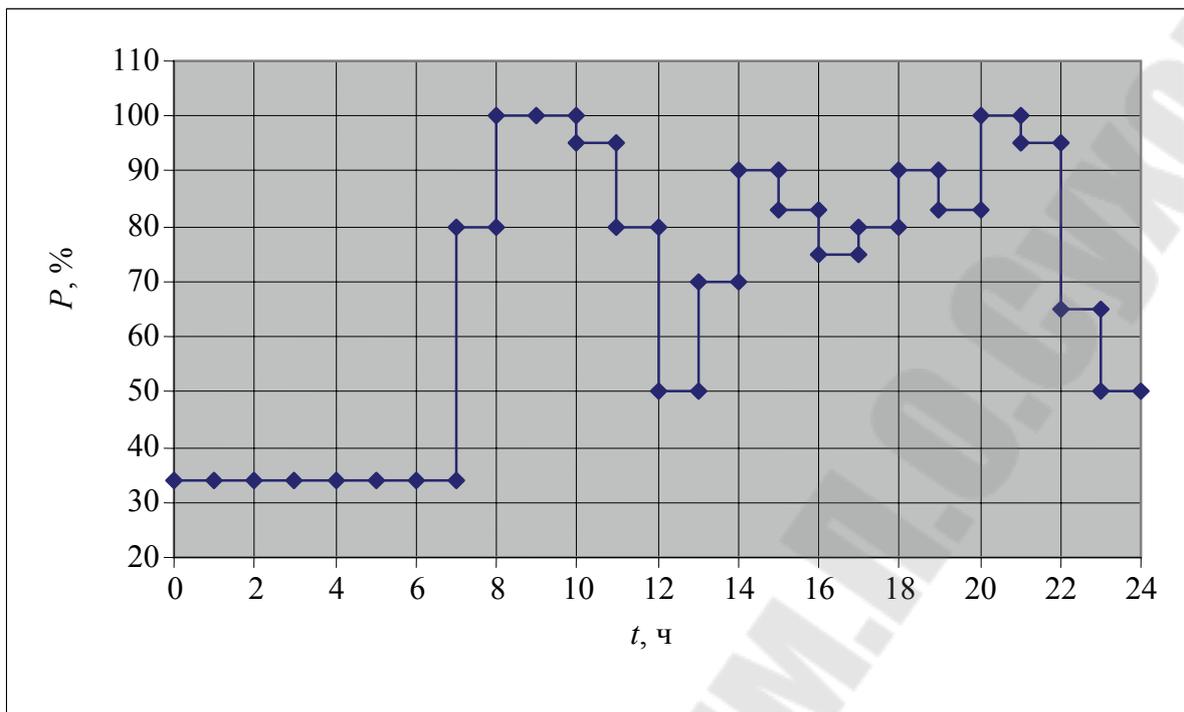
Вариант 5. Печатные и отделочные фабрики



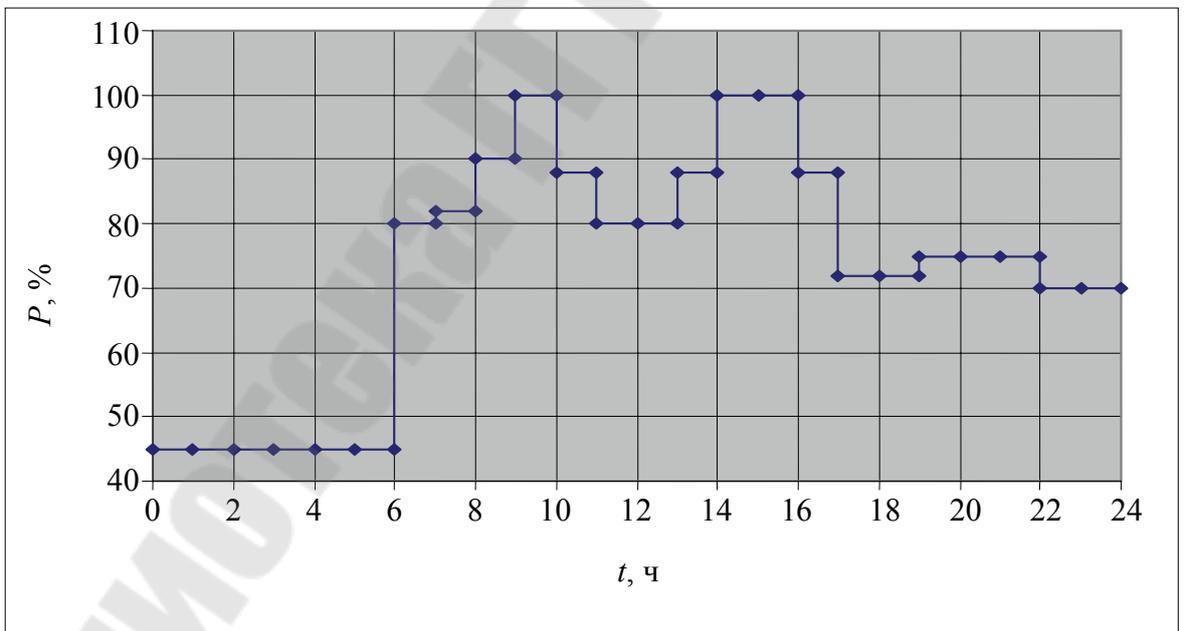
Вариант 6. Пищевая промышленность



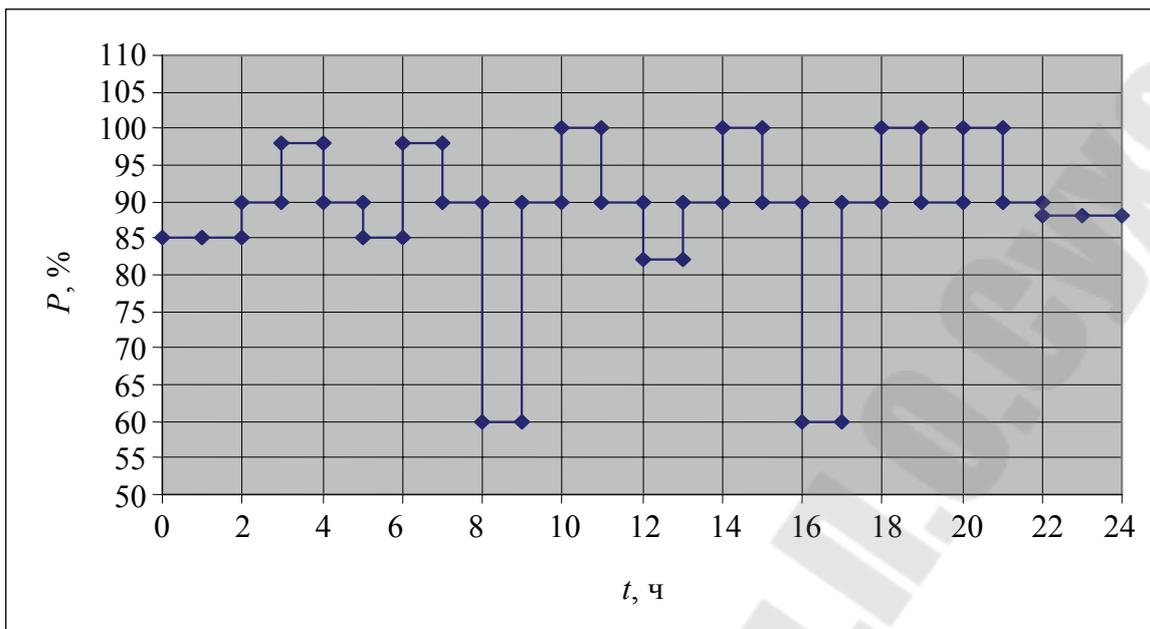
Вариант 7. Прядильно-ткацкая фабрика



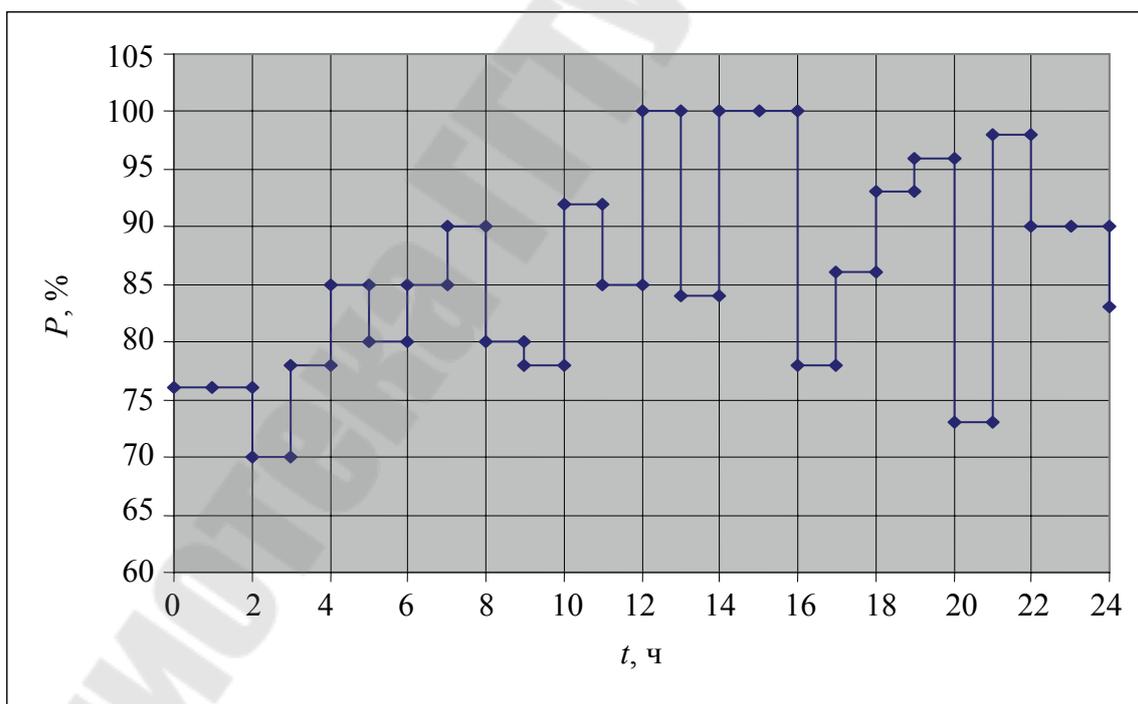
Вариант 8. Ремонтно-механический завод



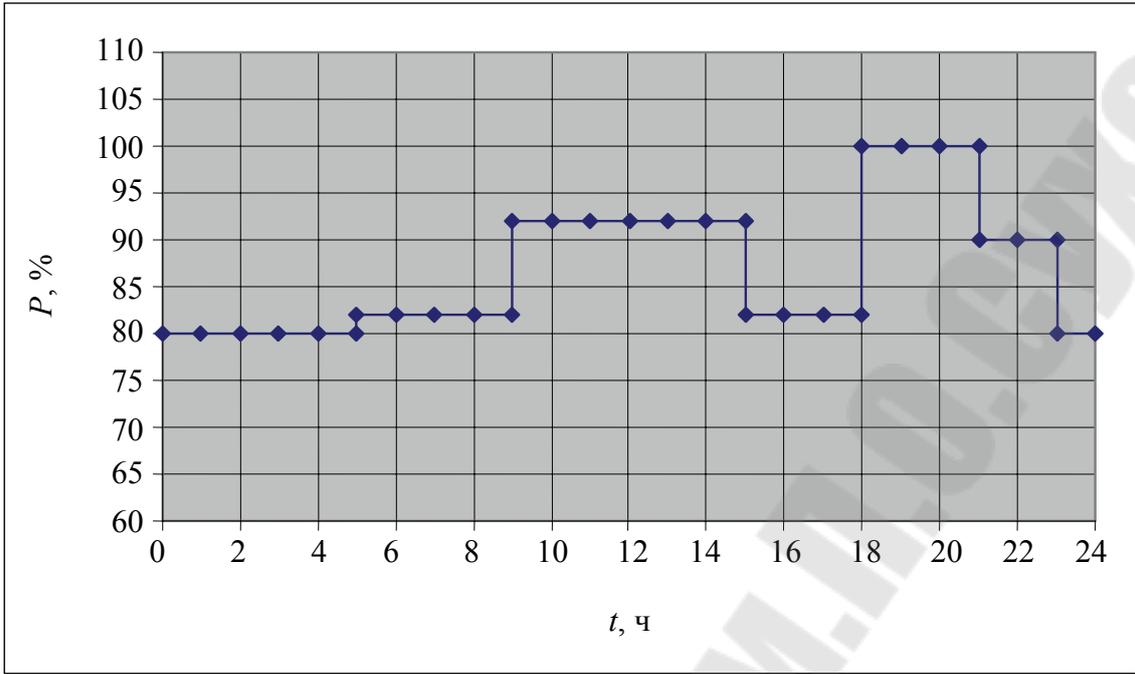
Вариант 9. Станкостроительство



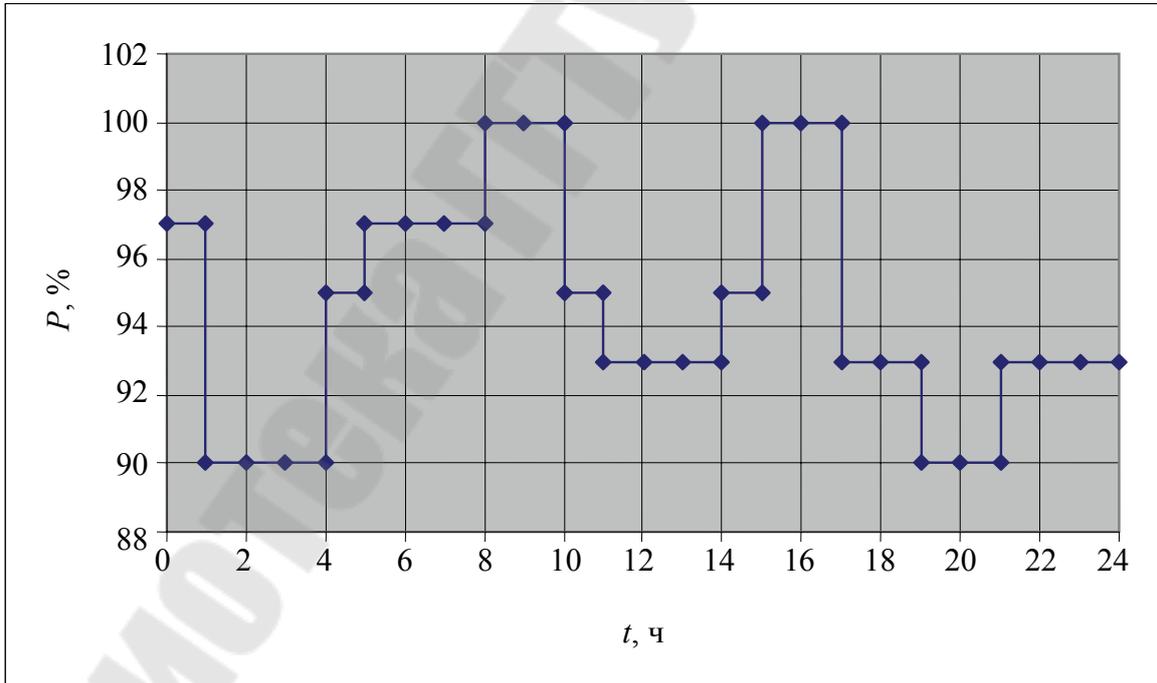
Вариант 10. Торфоразработка



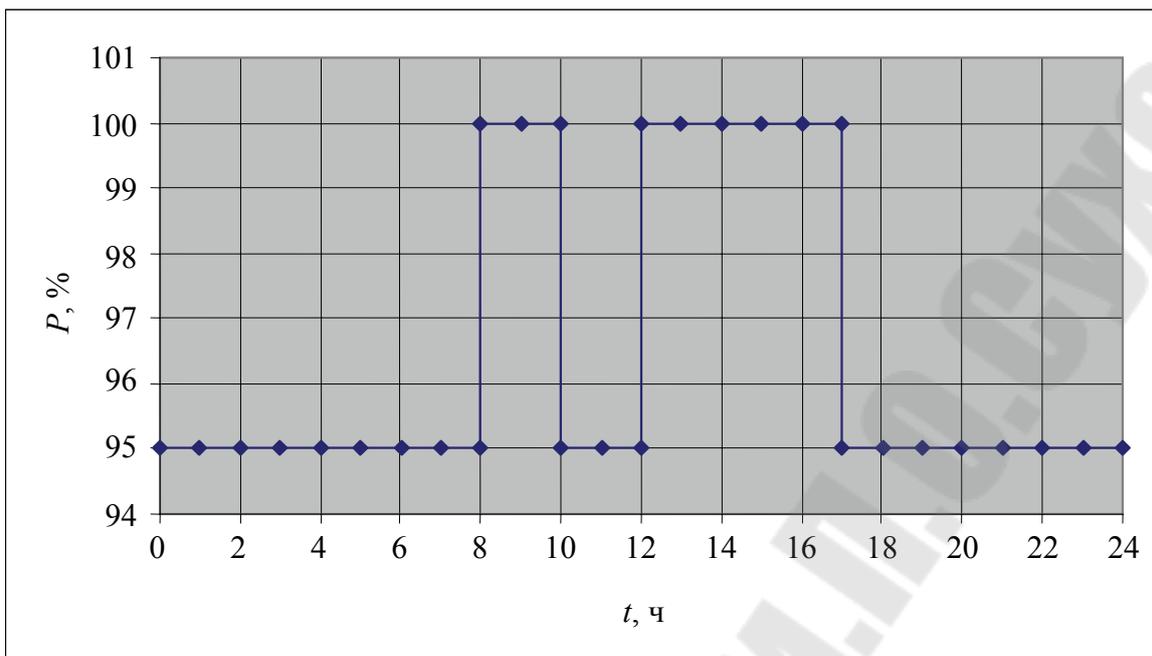
Вариант 11. Тяжелое машиностроение



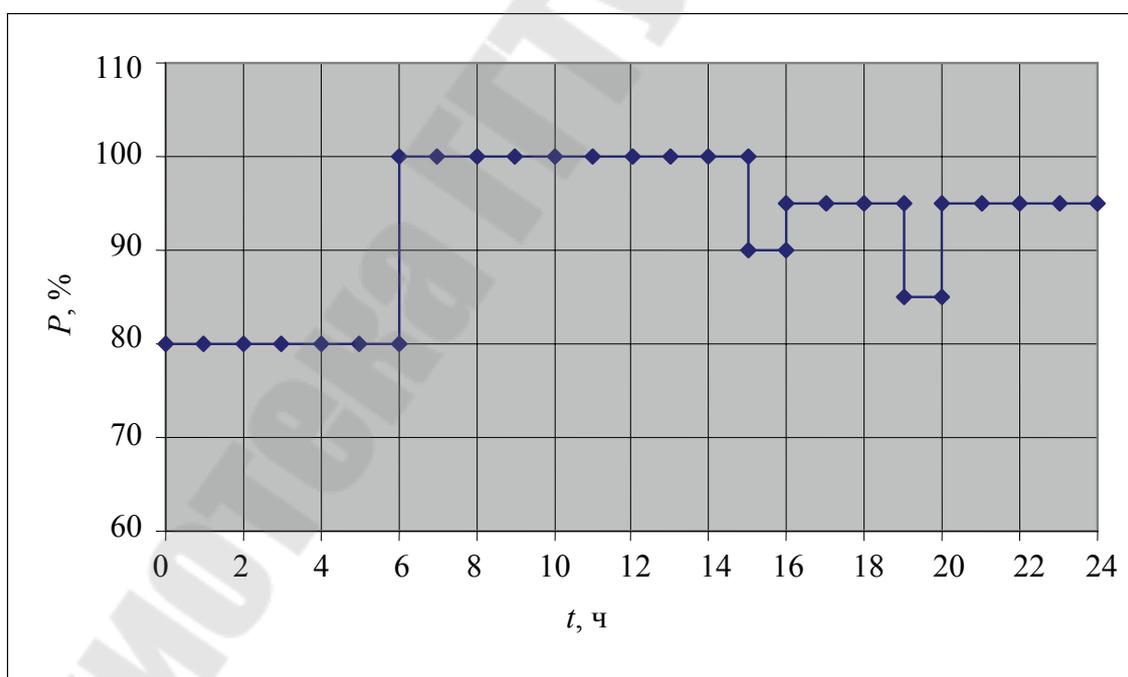
Вариант 12. Угледобыча



Вариант 13. Химическая промышленность



Вариант 14. Цветная металлургия



Вариант 15. Целлюлозно-бумажная промышленность

Таблица 1.1

Данные типовых графиков нагрузки, по вариантам

t, ч	Потребляемая мощность в часы смены, %														
	Номер варианта														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0-1	70	36	38	90	70	68	60	34	45	85	76	80	97	95	80
1-2	60	36	36	88	70	70	60	34	45	85	76	80	90	95	80
2-3	45	34	36	96	70	68	60	34	45	90	70	80	90	95	80
3-4	45	34	36	94	70	65	60	34	45	98	78	80	90	95	80
4-5	40	30	34	90	70	68	60	34	45	90	85	80	95	95	80
5-6	47	34	36	94	70	70	60	34	45	85	80	82	97	95	80
6-7	42	40	52	88	70	68	72	34	80	98	85	82	97	95	100
7-8	80	60	88	95	90	80	86	80	82	90	90	82	97	95	100
8-9	77	90	100	98	90	90	90	100	90	60	80	82	100	100	100
9-10	96	100	100	95	90	100	100	100	100	90	78	92	100	100	100
10-11	82	88	95	95	90	98	62	95	88	100	92	92	95	95	100
11-12	76	74	90	82	100	95	62	80	80	90	85	92	93	95	100
12-13	80	65	95	90	100	92	90	50	80	82	100	92	93	100	100
13-14	88	88	95	92	100	95	90	70	88	90	84	92	93	100	100
14-15	96	82	90	90	90	92	100	90	100	100	100	92	95	100	100
15-16	80	78	92	92	90	86	100	83	100	90	100	82	100	100	90
16-17	62	72	95	96	90	88	80	75	88	60	78	82	100	100	95
17-18	72	80	95	94	90	90	100	80	72	90	86	82	93	95	95
18-19	76	78	88	100	85	85	100	90	72	100	93	100	93	95	95
19-20	76	68	95	95	90	82	90	83	75	90	96	100	90	95	85
20-21	72	70	92	96	90	85	90	100	75	100	73	100	90	95	95
21-22	76	78	75	100	90	82	82	95	75	90	98	90	93	95	95
22-23	82	58	45	90	80	70	60	65	70	88	90	90	93	95	95
23-24	76	49	42	66	70	68	60	50	70	88	90	80	93	95	95

Таблица 1.2

Данные по установленной мощности предприятий

Значения	Номер варианта														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$P_{уст}, \text{МВт}$	30	20	10	500	15	12	12	4	7	40	80	80	250	300	50

Пример выполнения задания

Для предприятия черной металлургии (установленная мощность электроприемников $P_{уст} = 500$ МВт), типовой график нагрузки которого приведен на рис. 1.8, табл. 1.3, определить:

- физические величины и безразмерные коэффициенты графика нагрузки;
- время использования максимума нагрузки и время максимальных потерь за сутки и за год;
- статистическим методом определить расчетную нагрузку;
- рассчитать потери мощности и годовые потери электроэнергии в трансформаторах через среднеквадратичную нагрузку;
- используя приближенный метод расчета определить потери мощности в элементах системы электроснабжения предприятия;
- определить годовой расход электроэнергии с учетом коэффициента сменности по энергоиспользованию при заданном режиме работы (кол-ве смен), через среднюю нагрузку и через максимальную нагрузку.

Расчеты представить в виде таблицы 1.4.

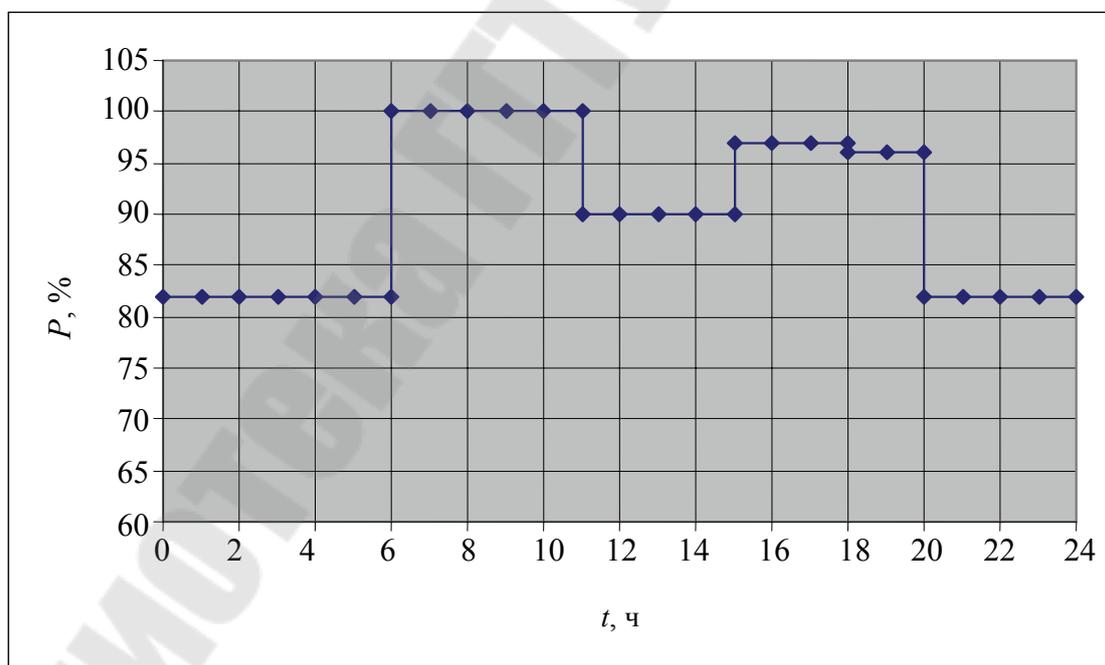


Рис. 1.8. Типовой график нагрузки предприятия черной металлургии

Таблица 1.3

Данные типового графика нагрузки предприятия черной металлургии

<i>t</i> , час	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8
<i>P</i> , %	82	82	82	82	82	82	100	100
<i>t</i> , час	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16
<i>P</i> , %	100	100	100	90	90	90	90	97
<i>t</i> , час	16-17	17-18	18-19	19-20	20-21	21-22	22-23	23-24
<i>P</i> , %	97	97	96	96	82	82	82	82

Таблица 1.4

Ход и результаты расчетов

Величина	Расчет	Значение	
		о.е.	именован-ные
Уст. мощность, $P_{уст}$	Согласно варианту задания	-	500 МВт
Коэффициент спроса, K_c	Определяются по справочным данным	0,5	-
$\cos\varphi$		0,8	-
Средняя нагрузка, P_c	$P_c = \frac{\sum P_i \cdot \Delta t_i}{T}$	0,9	225,2 МВт
Среднеквадратическая нагрузка, $P_{ск}$	$P_{ск} = \sqrt{\frac{\sum P_i^2 \cdot \Delta t_i}{T}}$	0,904	226 МВт
Максимальная нагрузка, P_m	$P_m = P_{уст} \cdot K_c$	1	250 МВт
Коэффициент максимума графика, $K_{м.г.}$	$K_{м.г.} = \frac{P_m}{P_c}$	1,11	-
Коэффициент заполнения графика, $K_{з.г.}$	$K_{з.г.} = \frac{P_c}{P_m}$	0,901	-
Коэффициент формы графика, $K_{ф.г.}$	$K_{ф.г.} = \frac{P_{ск}}{P_c}$	1,003	-
Коэффициент использования, $K_{и}$	$K_{и} = \frac{P_c}{P_{уст}}$	0,45	-
Коэффициент спроса, K_c	$K_c = \frac{P_m}{P_{уст}}$	0,5	-
*Время использования максимума нагрузки, T_m	$T_m = K_{зг} \cdot T$	-	21,6 ч/сут; 7880 ч/год

Время максимальных потерь, τ	$\tau_{\text{сут}} = (K_{\text{ф.г.}} \cdot K_{\text{з.г.}})^2 \cdot T_{\text{сут}}$ $\tau = (0,124 + T_{\text{м.г.}} \cdot 10^{-4})^2 \cdot T_{\text{г}}$	-	19,6 ч/сут; 7290 ч/год
Среднеквадратичное отклонение, σ	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (P_i - P_c)^2 \cdot \Delta t_i}{T}}$	0,075	37,5 МВт
Расчетная мощность нагрузки, P_p	$P_p = P_c + \beta \cdot \sigma, \text{ при } \beta = 1,65$	-	287 МВт
**Потери мощности в трансформаторах, $\Delta P_{\text{тр}}$	$\Delta P_{\text{тр}} = \frac{\Delta P_{\text{кз}}}{n_{\text{тр}}} \cdot \left(\frac{S_{\text{м}}}{S_{\text{нт}}} \right)^2 + n_{\text{тр}} \cdot \Delta P_{\text{хх}}$	0,002	0,517 МВт
Потери электроэнергии в трансформаторах, $\Delta W_{\text{тр}}$	$\Delta W_{\text{тр}} = \frac{\Delta P_{\text{кз}}}{n_{\text{тр}}} \cdot \left(\frac{S_{\text{м}}}{S_{\text{нт}}} \right)^2 \cdot \tau + n_{\text{тр}} \cdot \Delta P_{\text{хх}} \cdot T_{\text{г}}$	-	$4,09 \cdot 10^6$ кВт·ч/год
Потери мощности в элементах системы электроснабжения	$\Delta P_{\text{тр}} = 0,02 \cdot S_p;$ $\Delta Q_{\text{тр}} = 0,1 \cdot S_p;$ $\Delta P_{\text{л}} = 0,035 \cdot S_p$	-	7,2 МВт; 3,6 Мвар; 12,6 МВт
Годовой расход электроэнергии, $W_{\text{г}}$	$W_{\text{г}} = \alpha \cdot P_c \cdot T_{\text{г}} = \alpha \cdot P_{\text{уст}} \cdot K_{\text{и}} \cdot T_{\text{г}}$	-	$1,778 \cdot 10^9$ кВт·ч/год
	$W_{\text{г}} = \alpha \cdot P_{\text{м}} \cdot T_{\text{м}} = \alpha \cdot P_{\text{м}} \cdot \frac{T_{\text{г}}}{K_{\text{м.г.}}}$	-	$1,776 \cdot 10^9$ кВт·ч/год

* $T_{\text{г}} = 8760$ ч, т. к. предприятие с непрерывным технологическим процессом;

** на предприятии установлены 2 трансформатора типа ТДЦ-250000/150:

$\Delta P_{\text{кз}} = 0,38$ МВт, $\Delta P_{\text{хх}} = 0,11$ МВт.

Содержание отчета

1. Тема и цель работы.
2. Постановка и ход решения задания.
3. Выводы.

Контрольные вопросы

1. Какими параметрами характеризуются графики электрических нагрузок? Как рассчитываются безразмерные коэффициенты графиков нагрузки?
2. Какова взаимосвязь между физическими величинами, показателями графиков и режимов электрических нагрузок потребителей? Какие величины являются справочными?
3. Как рассчитываются и в чем заключается физический смысл величин, характеризующих графики нагрузки?

4. Как классифицируются графики нагрузки потребителей электроэнергии? Для решения каких практических задач они используются?
5. Как определить расход электроэнергии потребителя при известном графике нагрузки; при заданных величинах графиков нагрузки?
6. Каким методом определяется расчетная нагрузка потребителя электроэнергии, если известны графики нагрузки? Приведите расчетные формулы.
7. Возможно ли, используя график нагрузки потребителя, рассчитать потери мощности в элементах его системы электроснабжения? Приведите расчетные формулы для ориентировочного определения потерь мощности в элементах системы электроснабжения.

Список литературы

1. Ус А.Г., Евминов Л.И. Электроснабжение промышленных предприятий и гражданских зданий. Мн.: "Пион", 2002. – 457 с.
2. Радкевич В.Н. Проектирование систем электроснабжения. – Мн.: НПООО «Пион», 2001. – 292 с.
3. Справочник по электроснабжению и электрооборудованию. В двух томах. Под общей ред. Федорова А.А. М.: Энергоатомиздат, 1987.
4. Волобринский С.Д., Каялов Г.М., Клейн П.Н., Мешель Б.С. Электрические нагрузки промышленных предприятий. – Л.: Энергия, 1971.
5. Шидловский А.К., Вагин Г.Я., Куренный Э.Г. Расчеты электрических нагрузок систем электроснабжения промышленных предприятий. М.: Энергоатомиздат, 1992. – 224 с.
6. Колесник Ю.Н., Смягликов Д.С. Способ учета постоянной времени нагрева при выборе проводников и их согласовании с защитным аппаратом. Вестник ГГТУ им. П.О. Сухого, № 3, 2004 г.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

Тема: Определение параметров схемы замещения трехобмоточного трансформатора

Цель работы:

1. Изучить схемы замещения трансформаторов и методы определения их параметров.
2. Для трехобмоточного трансформатора, модель которого выполнена в виде схемы замещения:
 - а) провести опыты короткого замыкания и холостого хода;
 - б) рассчитать параметры схемы замещения трансформатора по результатам опыта.

Теоретическая часть

При расчете электрических сетей с трансформаторами, последние представляются в виде схем замещения.

Схемы замещения двухобмоточного трансформатора представлены на рис. 2.1.

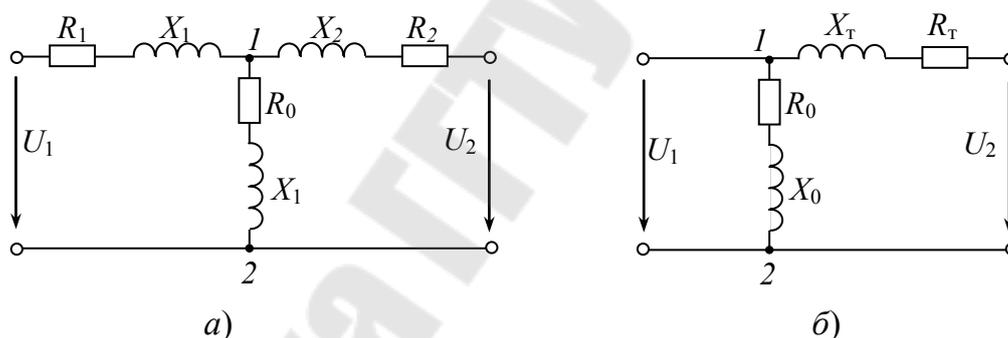


Рис. 2.1. Схемы замещения двухобмоточного трансформатора:
а) Т-образная; б) Г-образная.

Часто в схеме замещения ветвь намагничивания 12 (рис. 2.1) представляется в виде двух параллельных ветвей и характеризуется не магнитными сопротивлениями, а проводимостями (рис. 2.2).

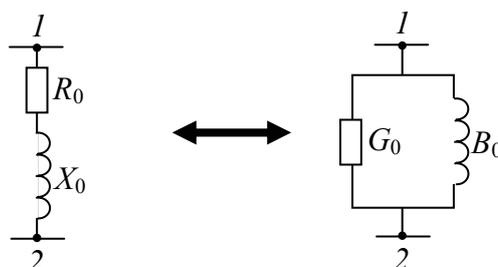


Рис. 2.2. Намагничивающая цепь схемы замещения

Трехобмоточные трансформаторы в расчетах представляют схемой замещения в виде эквивалентной трехлучевой звезды (рис. 2.3). Проводимость трехобмоточного трансформатора включают со стороны луча обмотки трансформатора, подключенной к источнику питания.

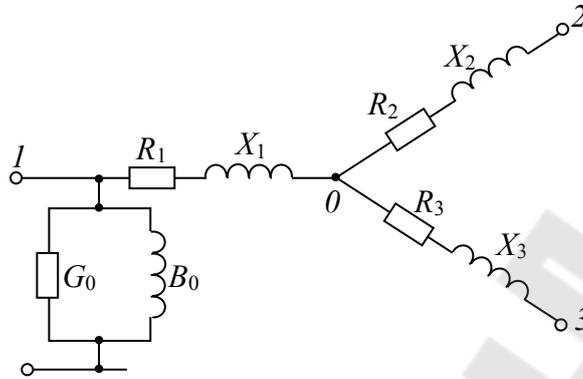


Рис. 2.3. Схема замещения трехобмоточного трансформатора

Опытное определение параметров схемы замещения трансформатора

Опыт холостого хода. Опытное определение параметров схемы замещения трансформатора производится по данным опытов холостого хода и короткого замыкания.

Схемы опытов холостого хода однофазного ($m = 1$) и трехфазного ($m = 3$) двухобмоточных трансформаторов приведены на рис. 2.4. Первичная обмотка трансформатора подключается на синусоидальное напряжение, а вторичная обмотка разомкнута. Измеряются первичные напряжения $U_1 = U_0$, ток $I_1 = I_0$ и мощность $P_1 = P_0$, а также вторичное напряжение U_2 . Из данных опыта для однофазного трансформатора определяются полное, активное и индуктивное сопротивления холостого хода:

$$\begin{aligned} z_0 &= U_0 / I_0; \\ r_0 &= P_0 / I_0^2; \\ x_0 &= \sqrt{z_0^2 - r_0^2}, \end{aligned} \quad (2.1)$$

а так же коэффициент трансформации:

$$k = w_1 / w_2 \approx U_1 / U_2. \quad (2.2)$$

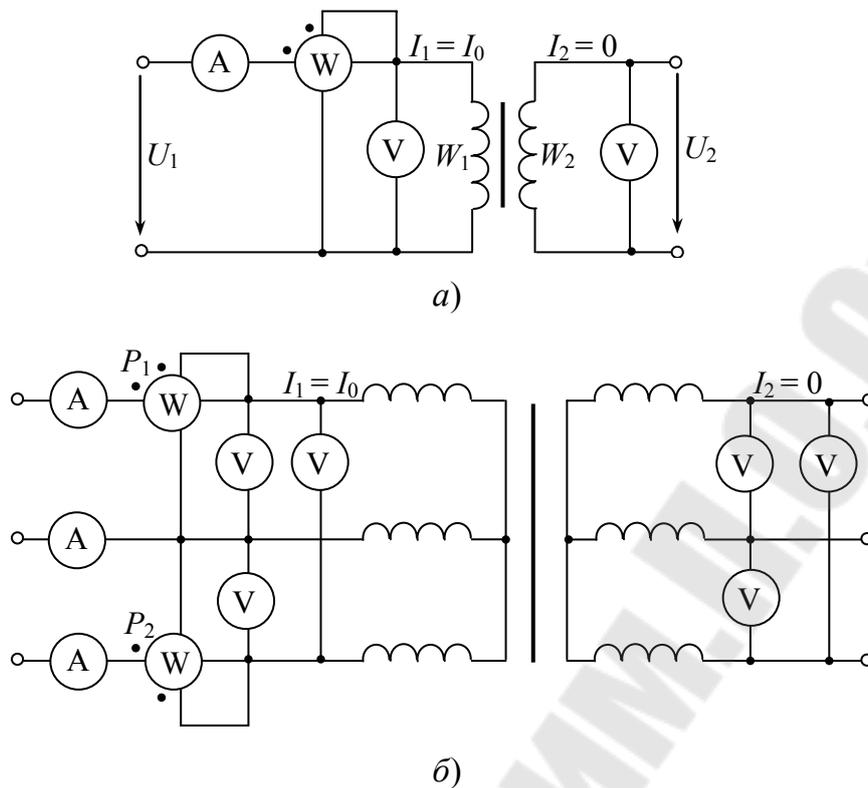


Рис. 2.4. Схемы опытов холостого хода однофазного (а) и трехфазного (б) двухобмоточных трансформаторов.

Для трехфазного трансформатора по показаниям трех амперметров и вольтметров определяются средние значения линейного тока I_0 и линейного напряжения U_0 , а по показаниям ваттметров – мощность холостого хода трех фаз $P_0 = P_1 + P_2$. Физический смысл имеют только значения сопротивлений, рассчитанные для фазы обмотки. Поэтому необходимо принять во внимание схему соединения обмотки. В случае соединения первичной обмотки в звезду

$$\begin{aligned}
 z_0 &= \frac{U_0}{\sqrt{3}I_0}; \\
 r_0 &= \frac{P_0}{3I_0^2}; \\
 x_0 &= \sqrt{z_0^2 - r_0^2},
 \end{aligned}
 \tag{2.3}$$

а при соединении ее в треугольник

$$\begin{aligned}
 z_0 &= \frac{\sqrt{3}U_0}{I_0}; \\
 r_0 &= \frac{P_0}{I_0^2}; \\
 x_0 &= \sqrt{z_0^2 - r_0^2}.
 \end{aligned}
 \tag{2.4}$$

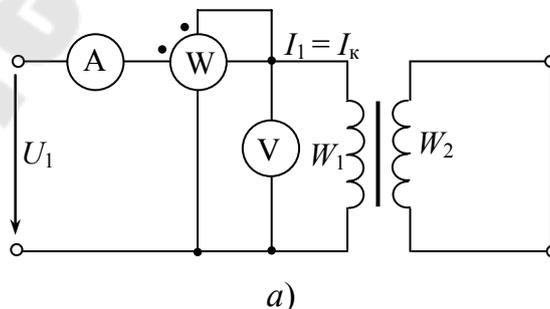
Опыт холостого хода для трехобмоточных трансформаторов проводится аналогично опыту холостого хода для двухобмоточных трансформаторов. Напряжение холостого хода подается на обмотку высокого напряжения, а обмотки среднего и низкого напряжения размыкаются.

Опыт короткого замыкания производится по схемам рис. 2.5. Вторичные обмотки замыкаются накоротко, а к первичным обмоткам во избежание перегрева и повреждения трансформатора подводится пониженное напряжение с таким расчетом, чтобы ток находился в пределах номинального.

Полное z_k , активное r_k и реактивное x_k сопротивления короткого замыкания рассчитываются по формулам, аналогичным для случая холостого хода.

Для однофазного трансформатора

$$\begin{aligned}
 z_k &= \frac{U_k}{I_k}; \\
 r_k &= \frac{P_k}{I_k^2}; \\
 x_k &= \sqrt{z_k^2 - r_k^2}.
 \end{aligned}
 \tag{2.5}$$



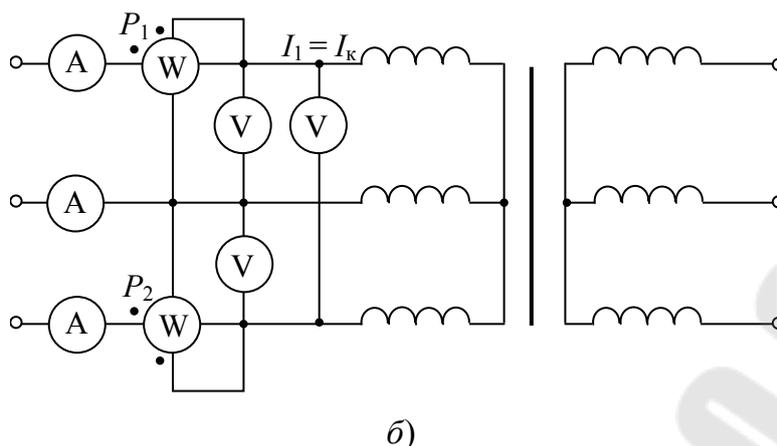


Рис. 2.5. Схемы опытов короткого замыкания однофазного (а) и трехфазного (б) двухобмоточных трансформаторов

Для трехфазного трансформатора по показаниям приборов определяются средние значения линейного напряжения U_K , линейного тока I_K и мощности короткого замыкания трех фаз P_K . При соединении первичной обмотки в звезду параметры короткого замыкания на фазу будут следующие:

$$\begin{aligned} z_K &= \frac{U_K}{\sqrt{3}I_K}; \\ r_K &= \frac{P_K}{3I_K^2}; \\ x_K &= \sqrt{z_K^2 - r_K^2}, \end{aligned} \quad (2.6)$$

а при соединении первичной обмотки треугольником

$$\begin{aligned} z_K &= \frac{\sqrt{3}U_K}{I_K}; \\ r_K &= \frac{P_K}{I_K^2}; \\ x_K &= \sqrt{z_K^2 - r_K^2}. \end{aligned} \quad (2.7)$$

Параметры схемы замещения трехобмоточного трансформатора $R_1, R_2, R_3, X_1, X_2, X_3$ (рис. 2.3) определяются из данных трех опытов короткого замыкания (рис. 2.6).

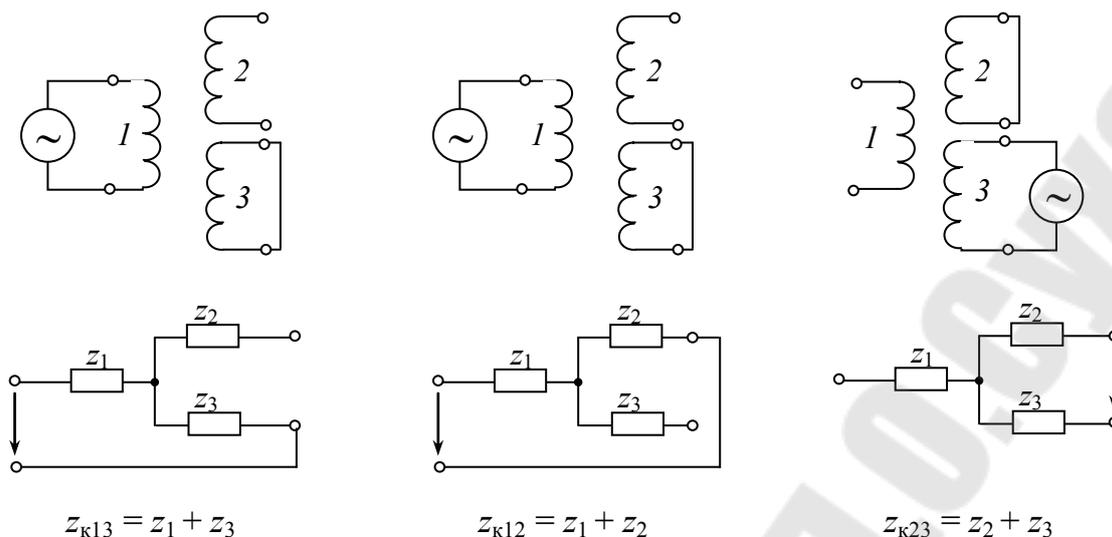


Рис. 2.6. Схемы опытов короткого замыкания трехобмоточного трансформатора

По выражению (2.6), (2.7) рассчитываются сопротивления короткого замыкания каждой пары обмоток.

$$\begin{aligned}
 z_{k12} &= z_1 + z_2 = r_{k12} + jx_{k12} = (r_1 + r_2) + j(x_1 + x_2); \\
 z_{k13} &= z_1 + z_3 = r_{k13} + jx_{k13} = (r_1 + r_3) + j(x_1 + x_3); \\
 z_{k23} &= z_2 + z_3 = r_{k23} + jx_{k23} = (r_2 + r_3) + j(x_2 + x_3).
 \end{aligned}
 \tag{2.8}$$

Из выражения (2.8) можно найти

$$\begin{aligned}
 z_1 &= \frac{z_{k12} + z_{k13} - z_{k23}}{2}; \\
 z_2 &= \frac{z_{k12} + z_{k23} - z_{k13}}{2}; \\
 z_3 &= \frac{z_{k13} + z_{k23} - z_{k12}}{2}.
 \end{aligned}
 \tag{2.9}$$

По аналогичным формулам через активные и индуктивные составляющие z_{k12} , z_{k13} , z_{k23} выражаются также r_1 , r_2 , r_3 и x_1 , x_2 , x_3 .

Приборы и оборудование

На лабораторном стенде (рис. 2.7) представлена модель трехфазного трехобмоточного трансформатора в виде схемы замещения, сопротивление которой выполнены в соответствующем масштабе.

На панель стенда вынесены выводы сопротивлений модели и источника питания (ИП). Регулятор напряжения ИП находится в правом нижнем углу панели.

Порядок выполнения работы

1. Опыт короткого замыкания (КЗ)

Для трехобмоточного трансформатора опыт короткого замыкания проводится с каждой парой обмоток, при разомкнутой третьей обмотке (В – высокого, С – среднего или Н – низкого напряжения).

Для определения напряжения и потерь короткого замыкания для обмоток высокого и среднего напряжения ($U_{\text{квс}}$ и $P_{\text{квс}}$) собирается схема, согласно рис. 2.8.

Вращая по часовой стрелке ручку регулятора напряжения ИП, повышают напряжение, подаваемое на вход модели до величины, при которой в схеме будет протекать ток, равный номинальному (задается преподавателем).

Схема для проведения опытов по определению $U_{\text{квн}}$, $P_{\text{квн}}$ и $U_{\text{кcn}}$, $P_{\text{кcn}}$ составляются студентами самостоятельно и проверяется преподавателем. Измерения аналогичны первому опыту. Данные измерений заносятся в таблицу.

По результатам опыта КЗ рассчитываются параметры схемы замещения $R_{\text{в}}$, $R_{\text{с}}$, $R_{\text{н}}$, $X_{\text{в}}$, $X_{\text{с}}$, $X_{\text{н}}$ (рис. 2.3).

2. Опыт холостого хода (ХХ)

Для измерения тока и потерь мощности холостого хода студентами самостоятельно собирается схема и проверяется преподавателем. Вращая по часовой стрелке ручку регулятора напряжения ИП, повышают напряжение до номинального значения (задается преподавателем) и замеряют ток и мощность холостого хода. Данные измерений заносят в таблицу.

По результатам опыта ХХ рассчитываются параметры цепи намагничивания R_0 , X_0 или G_0 , B_0 .

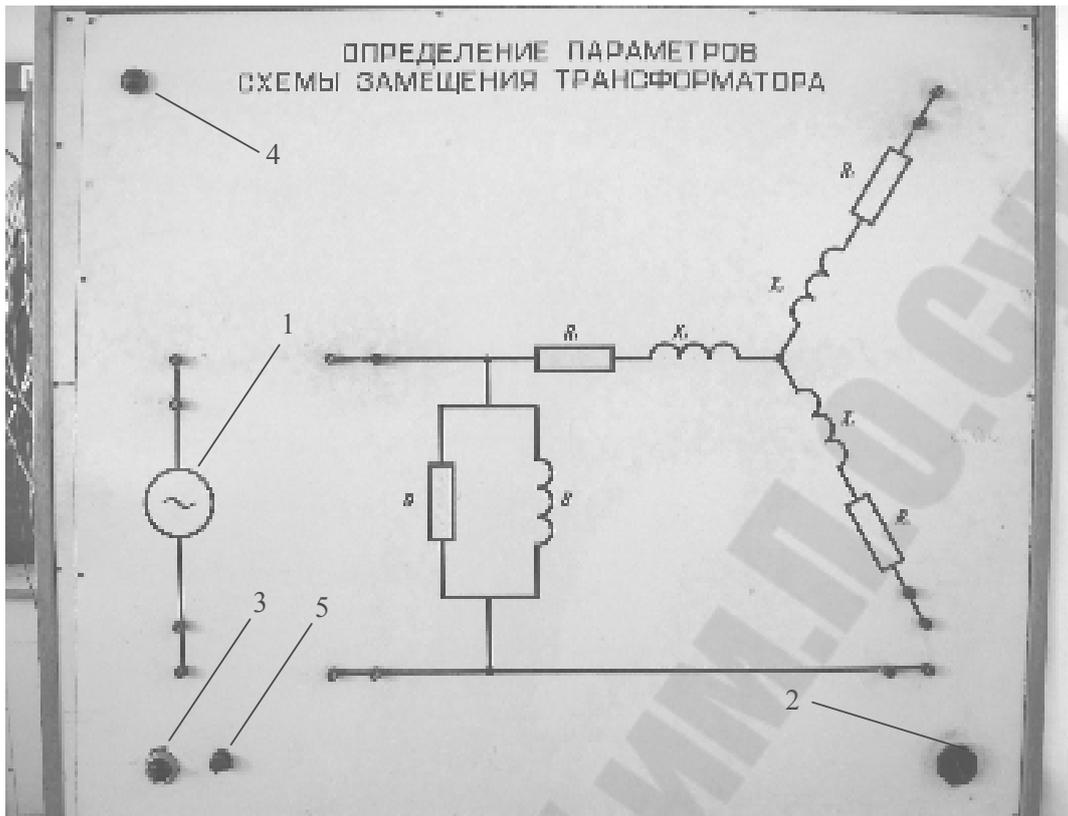


Рис. 2.7. Лицевая панель лабораторного стенда: 1 – источник питания; 2 – ручка ЛАТРА; 3 – тумблер включения/выключения питания; 4 – сигнальная лампа; 5 – гнездо для предохранителя

Меры безопасности

1. Не включать стенд без разрешения преподавателя.
2. Не касаться токоведущих частей стенда при включенном питании.
3. Не включать токовые цепи приборов параллельно источнику питания.
4. Ток модели не должен превышать 2 А.

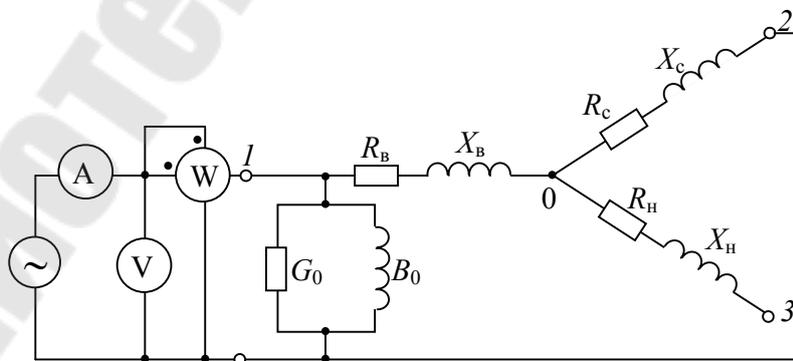


Рис. 2.8. Схема проведения опыта К3

Содержание отчета

2. Тема и цель работы.
3. Схемы проведения опытов.
4. Таблица с экспериментальными данными.
5. Расчет параметров схемы замещения.
6. Выводы.

Контрольные вопросы

1. Как проводится опыт КЗ?
2. Порядок проведения опыта ХХ?
3. Какие параметры схемы замещения определяют по результатам опыта КЗ?
4. Какие параметры схемы замещения определяют по результатам опыта ХХ?
5. Какие физические явления, происходящие в трансформаторе при его работе, характеризуют параметры схемы замещения?

Список литературы

1. Вольдек А.И. Электрические машины. – Л.: Энергия, 1978. – 892 с.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

Тема: Режимы работы нейтрали в электрических сетях

Цель работы:

1. Изучить режимы работы нейтрали в электрических сетях.
2. Выяснить особенности схем с различными видами нейтрали.

Теоретическая часть

Выбор способа заземления нейтрали связан, главным образом, с поведением системы при замыканиях на землю и, в первую очередь, с возникающими при этом перенапряжениями.

Кроме того, при выборе способа заземления нейтрали затрагиваются следующие вопросы:

1. Надежность работы сети.
2. Бесперебойное снабжение электрической энергией потребителей.
3. Экономичность системы.
4. Ограничение электромагнитного влияния на линии связи.
5. Безопасность системы.
6. Возможность перспективного развития системы.

Как известно, подавляющее большинство замыканий на земле, возникает в электрических сетях в результате импульсного перекрытия изоляции при разрядах с последующим переходом импульсного перекрытия в дуговой разряд. Поэтому принятый способ заземления нейтрали должен в первую очередь обеспечить наиболее быструю ликвидацию дуги замыкания на землю по возможности без нарушения электроснабжения потребителей.

Вопрос о режимах работы нейтрали в электрических сетях в настоящее время решается следующим образом:

В системах электроснабжения напряжением 6, 10, 20 и 35 кВ применяется изолированная нейтраль, если величина емкостных токов на землю не превосходят 10 А при напряжении сетей 35 кВ, 15 А – 15-20 кВ, 20 А – 10 кВ, 30 А – 6 кВ, 5 А – в схемах блоков генератор-трансформатор (на генераторном напряжении 6-20 кВ).

Если токи однофазного замыкания на землю превышают указанные выше допустимые значения, то применяют либо компенсацию емкостных токов путем введения в нейтраль дугогасящей катушки, либо заземление нейтрали.

Применение дугогасящих катушек с автоматической настройкой способствует более широкому распространению систем с компенса-

цией емкостных токов технически более совершенных, чем система с изолированной нейтралью. При напряжениях 6 и 10 кВ нейтраль генераторов обычно заземляется через активное сопротивление. В системах напряжением 110, 220 кВ и выше применяется глухое заземление нейтрали с разземлением нейтрали части трансформаторов при необходимости ограничения тока однофазного КЗ.

В электроустановках напряжением до 1000 В применяются следующие режимы нейтрали:

1. Глухое заземление нейтрали трансформаторов и генераторов.
2. Полностью изолированная нейтраль (только у генераторов).
3. Нормально изолированная нейтраль трансформатора с включенным в нейтраль или фазу заземленным пробивным предохранителем.

В четырёхпроводных сетях переменного тока (220/127 и 380/220 В) или трехпроводных сетях постоянного тока, глухое заземление обязательно; при номинальном напряжении 500 и 600 В электроустановок трехфазного тока нейтраль должна быть изолирована. В трехфазных трехпроводных сетях напряжением 380 и 220 В применяется и изолированная, и глухозаземленная нейтраль (ПУЭ не регламентирует запрещение того или иного режима нейтрали). Однако выбор того или иного режима нейтрали должен проводиться с учетом всех местных условий с целью обеспечения наилучших условий безопасности.

Рассмотрим более подробно работу систем с различными режимами нейтрали.

В трехфазной системе каждая единица длины сети обладает емкостью и сопротивлением изоляции по отношению к земле. В сетях напряжением выше 1000 В преобладает емкостная связь (емкостные сопротивления значительно превышают активные и индуктивные сопротивления). Распределенные, вдоль линии емкости и сопротивления изоляции каждого провода относительно земли условно могут быть представлены в виде сосредоточенных эквивалентных емкостей C_A , C_B , C_C , C_N и r_A , r_B , r_C , r_N . Полные проводимости проводов трехфазной четырехпроводной системы относительно земли в комплексной могут быть представлены в виде:

$$\begin{aligned}
 y_A &= g_A + j\omega \cdot C_A; \\
 y_B &= g_B + j\omega \cdot C_B; \\
 y_C &= g_C + j\omega \cdot C_C; \\
 y_N &= g_N + j\omega \cdot C_N,
 \end{aligned}
 \tag{3.1}$$

где g_A, g_B, g_C, g_0 – активные проводимости изоляции между фазными проводами (А, В, С), нулевым проводом (N) и землей, равные соответственно:

$$g_A = \frac{1}{r_A}, \quad g_B = \frac{1}{r_B}, \quad g_C = \frac{1}{r_C}, \quad g_N = \frac{1}{r_N}.$$

Комплексная проводимость нулевой точки (0) трансформатора, генератора и т.п. относительно земли в зависимости от способа заземления нейтрали может учитываться:

а) сопротивление заземляющего устройства:

$$r_0 = r_3 \quad \text{или} \quad y_0 = g_0 = \frac{1}{r_3};$$

б) сопротивление дугогасящей катушки:

$$r_0 = Z_k = r_k + j\omega L_k \quad \text{или} \quad y_0 = \frac{1}{Z_k} = \frac{1}{r_k + j\omega L_k},$$

где r_k и L_k – соответственно, активное сопротивление и индуктивность катушки;

в) активное сопротивление в цепи нейтрали:

$$r_0 = R \quad \text{или} \quad y_0 = g_0 = \frac{1}{R};$$

г) реактивное индуктивное сопротивление:

$$y_0 = \frac{1}{j\omega L} \quad \text{и т. д.}$$

В трехфазной системе с изолированной нейтралью $y_0 = 0$.

В симметричной трехфазной системе (нагрузка симметрична и $g_A = g_B = g_C, C_A = C_B = C_C$) в нормальном режиме напряжения фаз относительно земли U_A, U_B и U_C симметричны, равны по модулю и равны фазному напряжению U_ϕ . Геометрические суммы активных токов утечки I_{gA}, I_{gB}, I_{gC} и емкостных токов I_{CA}, I_{CB}, I_{CC} соответственно образуют токи I_A, I_B, I_C в фазах, которые равны по модулю, т.е. $I_A = I_B = I_C$ и геометрическая сумма их равна нулю, т.е. $\underline{I}_A + \underline{I}_B + \underline{I}_C = 0$, а напряжение смещения нейтрали U_0 равно нулю.

В случаях, если $g_A \neq g_B \neq g_C$, или $C_A \neq C_B \neq C_C$ симметрия системы нарушается, даже при симметричной нагрузке. Напряжение смещения нейтрали U_0 в соответствии с теорией несимметричных режимов трехфазных цепей определяется по формуле:

$$\dot{U}_0 = \frac{\dot{U}_A \dot{y}_A + \dot{U}_B \dot{y}_B + \dot{U}_C \dot{y}_C}{\dot{y}_A + \dot{y}_B + \dot{y}_C + \dot{y}_0}. \quad (3.2)$$

Примем, что $U_A = U_\Phi$, тогда $U_B = a^2 \cdot U_\Phi$, $U_C = a \cdot U_\Phi$, где a – фазовый множитель, учитывающий сдвиг фаз.

Выражение (3.2) может быть записано в виде:

$$\dot{U}_0 = U_\Phi \frac{\dot{y}_A + a^2 \cdot \dot{y}_B + a \cdot \dot{y}_C}{\dot{y}_A + \dot{y}_B + \dot{y}_C + \dot{y}_0}.$$

Напряжения фаз относительно земли при несимметрии систем определяются выражениями:

$$\begin{aligned} \dot{U}'_A &= \dot{U}_A - \dot{U}_0 = U_\Phi \frac{(1-a^2)\dot{y}_B + (1-a)\dot{y}_C + \dot{y}_0}{\dot{y}_A + \dot{y}_B + \dot{y}_C + \dot{y}_0}; \\ \dot{U}'_B &= \dot{U}_B - \dot{U}_0 = U_\Phi \frac{(a^2-1)\dot{y}_A + (a^2-a)\dot{y}_C + a^2 \cdot \dot{y}_0}{\dot{y}_A + \dot{y}_B + \dot{y}_C + \dot{y}_0}; \\ \dot{U}'_C &= \dot{U}_C - \dot{U}_0 = U_\Phi \frac{(a-1)\dot{y}_A + (a-a^2)\dot{y}_C + a \cdot \dot{y}_0}{\dot{y}_A + \dot{y}_B + \dot{y}_C + \dot{y}_0}. \end{aligned} \quad (3.3)$$

Токи при несимметрии системы равны

$$\begin{aligned} \dot{I}'_A &= \dot{U}'_A \dot{y}_A = U_\Phi \dot{y}_A \frac{(1-a^2)\dot{y}_B + (1-a)\dot{y}_C + \dot{y}_0}{\dot{y}_A + \dot{y}_B + \dot{y}_C + \dot{y}_0}; \\ \dot{I}'_B &= \dot{U}'_B \dot{y}_B = U_\Phi \dot{y}_B \frac{(a^2-1)\dot{y}_A + (a^2-a)\dot{y}_C + a^2 \cdot \dot{y}_0}{\dot{y}_A + \dot{y}_B + \dot{y}_C + \dot{y}_0}; \\ \dot{I}'_C &= \dot{U}'_C \dot{y}_C = U_\Phi \dot{y}_C \frac{(a-1)\dot{y}_A + (a-a^2)\dot{y}_C + a \cdot \dot{y}_0}{\dot{y}_A + \dot{y}_B + \dot{y}_C + \dot{y}_0}. \end{aligned} \quad (3.4)$$

Ток в нулевом проводе определяется как

$$\dot{I}_0 = \dot{I}'_A + \dot{I}'_B + \dot{I}'_C = \dot{U}_0 \dot{y}_0 = U_\Phi \dot{y}_0 \frac{\dot{y}_A + a^2 \dot{y}_B + a \cdot \dot{y}_C}{\dot{y}_A + \dot{y}_B + \dot{y}_C + \dot{y}_0}. \quad (3.5)$$

Выражения (3.2-3.5) являются основными при анализе и расчетах трехфазных систем во всех возможных несимметричных режимах.

Расчетные схемы замещения трехфазных систем с различными способами заземления нейтрали в нормальном режиме представлены на рис. 3.1, а; 3.2, а; 3.3, а; 3.4, а.

Системы с изолированной нейтралью

В большинстве случаев емкостные проводимости фаз относительно земли можно полагать равными, т. е.

$$y_A = y_B = y_C.$$

Расчетная схема замещения в нормальном режиме представлена на рис. 3.1, а. Фазные напряжения относительно земли U_A , U_B , U_C и емкостные токи утечки I_A , I_B , I_C в нормальном режиме равны между собой по модулю и представляют собой симметричную систему токов и напряжений (рис. 3.1, в). Напряжение смещения нейтрали в этом случае равно нулю $U_0 = 0$.

В случае повреждения изоляции и замыкания, например, фазы А на землю (рис. 3.1, б) через место аварии в землю протекает ток I_3 равный

$$\dot{I}_3 = -(\dot{I}'_B + \dot{I}'_C), \quad (3.6)$$

где \dot{I}'_B , \dot{I}'_C – емкостные токи утечки здоровых фаз (В и С) в аварийном режиме.

Емкостная проводимость фазы А при этом шунтируется рассматриваемым замыканием и емкостной ток утечки фазы А в аварийном режиме равен нулю $\dot{I}'_A = 0$. Векторная диаграмма токов и напряжений системы с изолированной нейтралью представлена на рис. 3.1, г. Так как проводимости фаз относительно земли в аварийном режиме не равны (проводимость фазы А на много больше), то возникает несимметрия и как следствие напряжение смещения нейтрали (напряжение между точками O' и O) равно напряжению фазы А

$$\dot{U}_O = \dot{U}_A.$$

Фазные напряжения здоровых фаз в этом случае равны соответственно

$$\begin{aligned} \dot{U}'_B &= -\dot{U}_{AB}, \\ \dot{U}'_C &= -\dot{U}_{CA}, \end{aligned}$$

где U_{AB} и U_{CA} – линейные напряжения между соответствующими фазами в нормальном режиме.

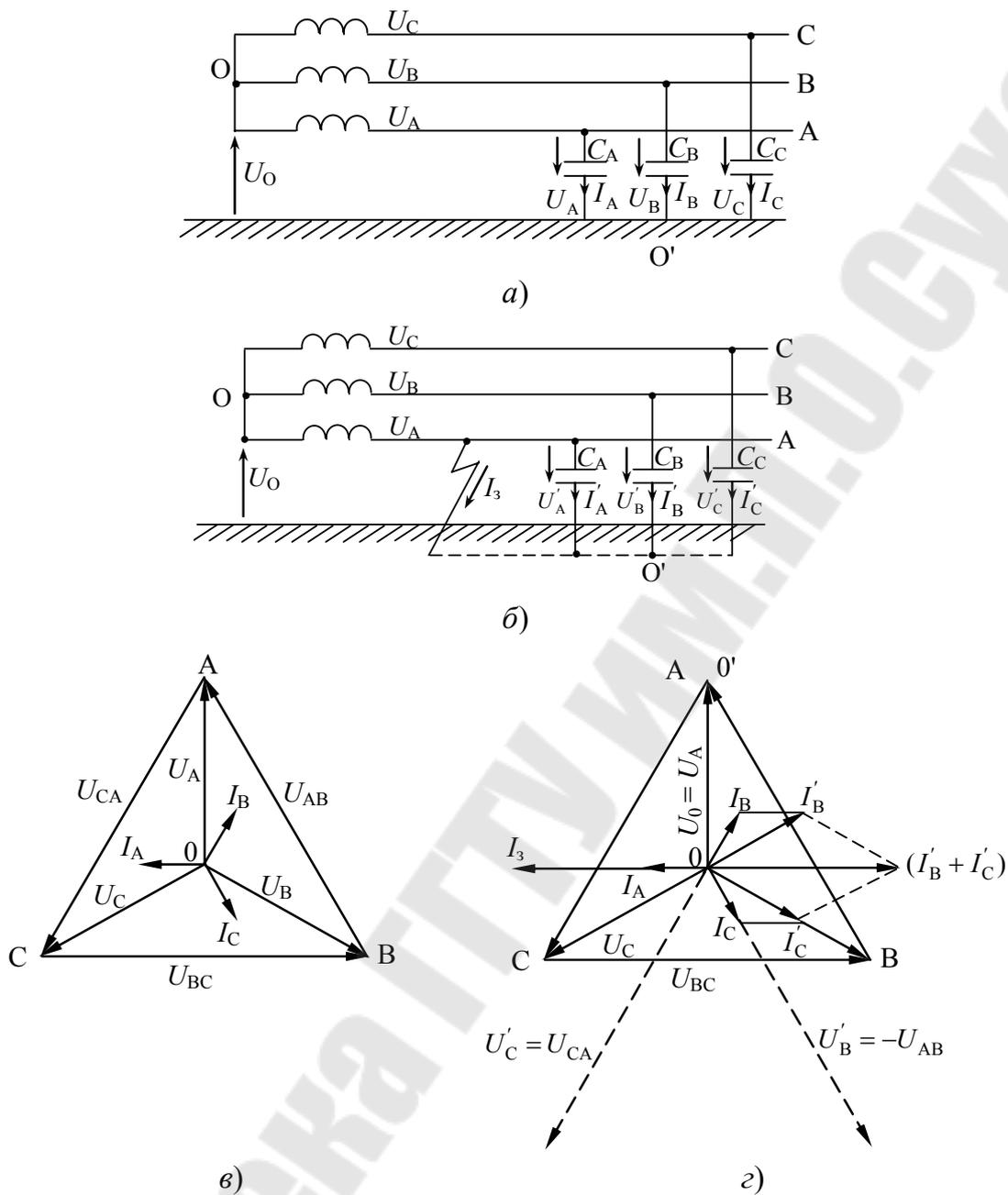


Рис. 3.1. Система с напряжением выше 1000 В с изолированной нейтралью:

- а) расчетная схема замещения в нормальном режиме;
- б) расчетная схема замещения в аварийном режиме работы;
- в) векторная диаграмма токов и напряжений в нормальном режиме;
- г) векторная диаграмма токов и напряжений в аварийном режиме

Следовательно, напряжения здоровых фаз относительно земли увеличиваются в $\sqrt{3}$ раз, во столько же увеличатся емкостные токи утечки I'_B и I'_C . Угол между напряжениями U'_B и U'_C , а также токами I'_B и I'_C будет равен 60° (рис. 3.1, г). Напряжение поврежденной фазы

относительно земли будет равно нулю $U'_A = 0$.

Ток замыкания на землю I_3 определяется выражением (3.6) и в 3 раза больше емкостного тока утечки фазы в землю при нормальном режиме работы системы

$$\dot{I}_3 = -(\dot{I}'_B + \dot{I}'_C) = 3 \cdot \dot{I}'_A.$$

Системы с компенсацией емкостных токов замыкания на землю

Для уменьшения емкостных токов замыкания на землю между нейтралью источников электроэнергии и землей включаются компенсирующие устройства: заземляющие катушки с настроенной индуктивностью или заземляющие трансформаторы. Наибольшее распространение получили заземляющие катушки, которые состоят из сердечника и обмотки, помещенных в кожухе, заполненном трансформаторным маслом. Индуктивность катушки L_k регулируется изменением числа витков или величины зазора сердечника. Активное сопротивление катушки R_k мало по сравнению с индуктивным, поэтому при анализе процессов им можно пренебречь.

Принцип компенсации емкостных токов заземляющими катушкой и трансформаторами практически одинаков, поэтому рассмотрим аварийный режим в системе напряжением выше 1000 В с компенсацией емкостных токов однофазного замыкания на землю при помощи заземляющей катушки. Расчетные схемы замещения системы в нормальном и аварийном режимах представлены на рис. 3.2. Условия нормального режима аналогичны приведенным выше для изолированной нейтрали, ток в катушке равен нулю $I_k = 0$ (рис. 3.2, в). При замыкании фазы А на землю напряжения и емкостные токи утечки здоровых и поврежденной фазы изменяются также как и в системе с изолированной нейтралью (рис. 3.2, з), т.е.

$$U'_A = 0; \quad U'_B = U'_C = \sqrt{3} \cdot U_\Phi;$$

$$I'_A = 0; \quad I'_B = I'_C = \sqrt{3} \cdot I_\Phi;$$

$$I'_A = 0,$$

где U_Φ , I_Φ – фазные напряжения и токи утечки в системе при нормальной работе.

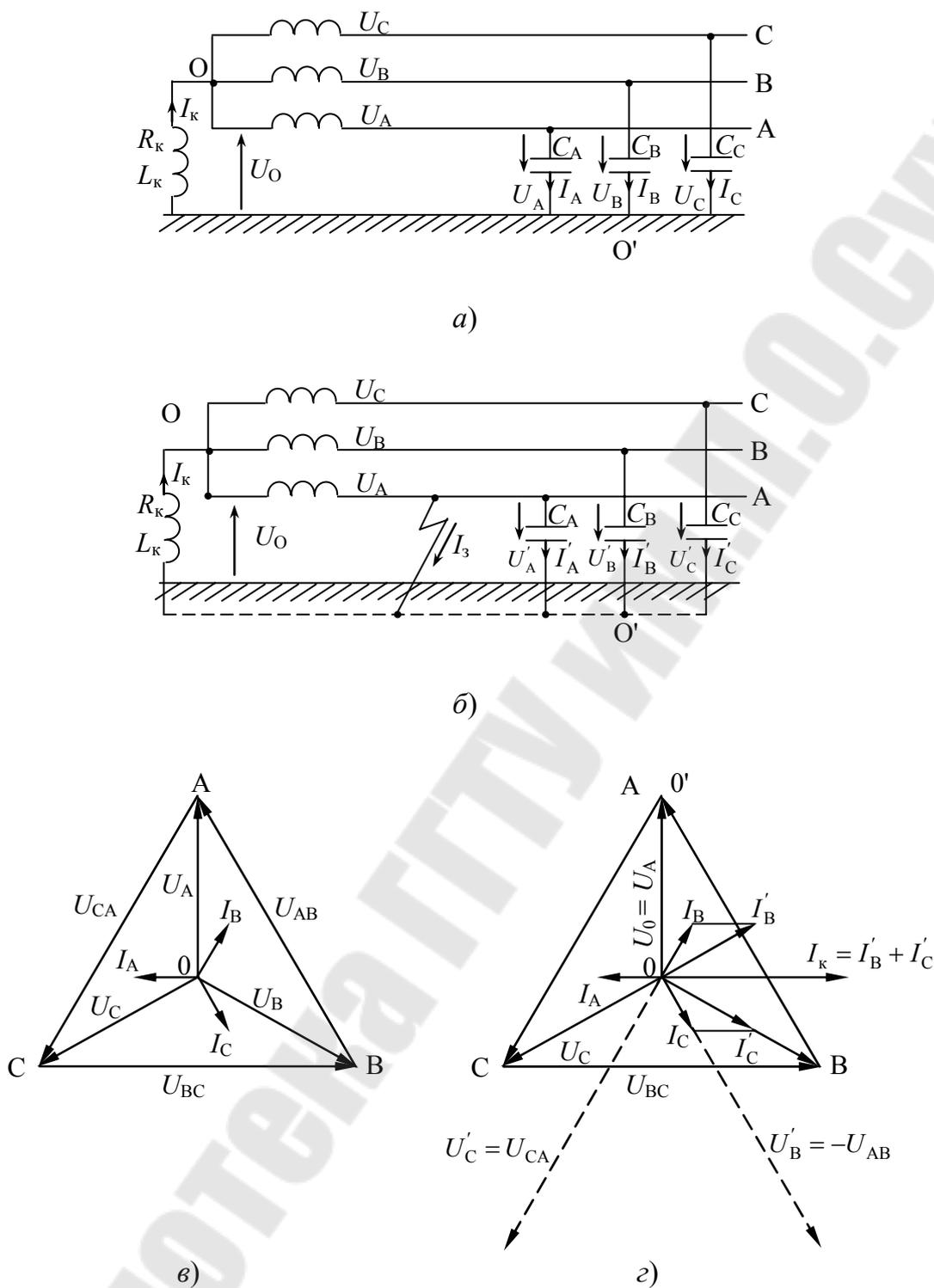


Рис. 3.2. Система с напряжением выше 1000 В с компенсированной нейтралью:

- а) расчетная схема замещения в нормальном режиме;
- б) расчетная схема замещения в аварийном режиме работы;
- в) векторная диаграмма токов и напряжений в нормальном режиме;
- г) векторная диаграмма токов и напряжений в аварийном режиме

При этом заземляющая катушка оказывается под фазным напряжением

$$\dot{U}_O = \dot{U}_A$$

и протекает индуктивный ток катушки I_k , который отстает от напряжения катушки на 90° (рис. 3.2, з). Ток замыкания на землю в этом случае определяется по следующему выражению

$$\dot{I}_3 = \dot{I}_k - (\dot{I}'_B + \dot{I}'_C).$$

При резонансной настройке катушки, когда

$$j\omega L_k = \frac{1}{j3\omega C} \quad (3.7)$$

теоретически ток замыкания на землю равен нулю. Однако на практике, из-за наличия активных составляющих в сопротивлении катушки и изоляции фаз относительно земли, ток замыкания на землю не равен нулю.

Системы с глухозаземленной нейтралью

Однофазное замыкание на землю в системах с глухозаземленной нейтралью (трехпроводной и четырехпроводной напряжением до и выше 1000 В) представляет собой однофазное короткое замыкание (рис. 3.3), так как поврежденная фаза оказывается короткозамкнутой через землю и нейтраль трансформатора или генератора. Ток в месте повреждения ограничен только сопротивлениями источников питания и линий и поэтому является током КЗ. При этом ток замыкания практически не зависит от величины сопротивления изоляции и емкости системы относительно земли.

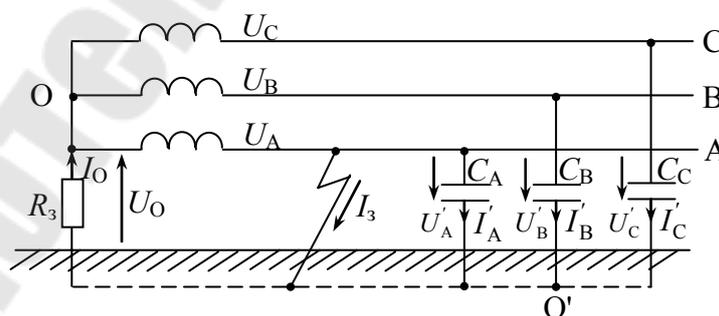


Рис. 3.3. Система с глухозаземленной нейтралью в аварийном режиме

Ток однофазного замыкания на землю, например, фазы А определяется выражением

$$I_3 = \frac{U_A}{R_3 + R_A},$$

где R_3 – сопротивление заземления нейтрали,

R_A – сопротивление провода фазы А до места повреждения.

И так как величины сопротивлений R_3 и R_A малы, то ток КЗ достигает больших значений (тысячи ампер) и приводит в действие релейную защиту, отключающую поврежденный участок системы.

Приборы и оборудование

Лабораторная установка собрана в виде модели системы электроснабжения 3-х фазного тока, позволяющая путем простейших переключений создавать различные режимы нейтрали. Принципиальная схема лабораторной установки приведена на рис.4. Распределение емкости проводов относительно земли в трехфазной системе представлены на стенде в виде сосредоточенных емкостей C_A , C_B , C_C , соответственно фаз А, В и С относительно земли.

Изменяя величины С1-С9 при помощи выключателей S1-S9, можно получить систему с разными параметрами C_A , C_B , C_C .

Ввод трехфазного переменного тока на стенд осуществляется автоматом QF1. Выключатели S10-S12 позволяют осуществить работу системы с различными режимами нейтрали.

Перед началом работы все автоматы и выключатели на стенде должны быть в положении «отключено».

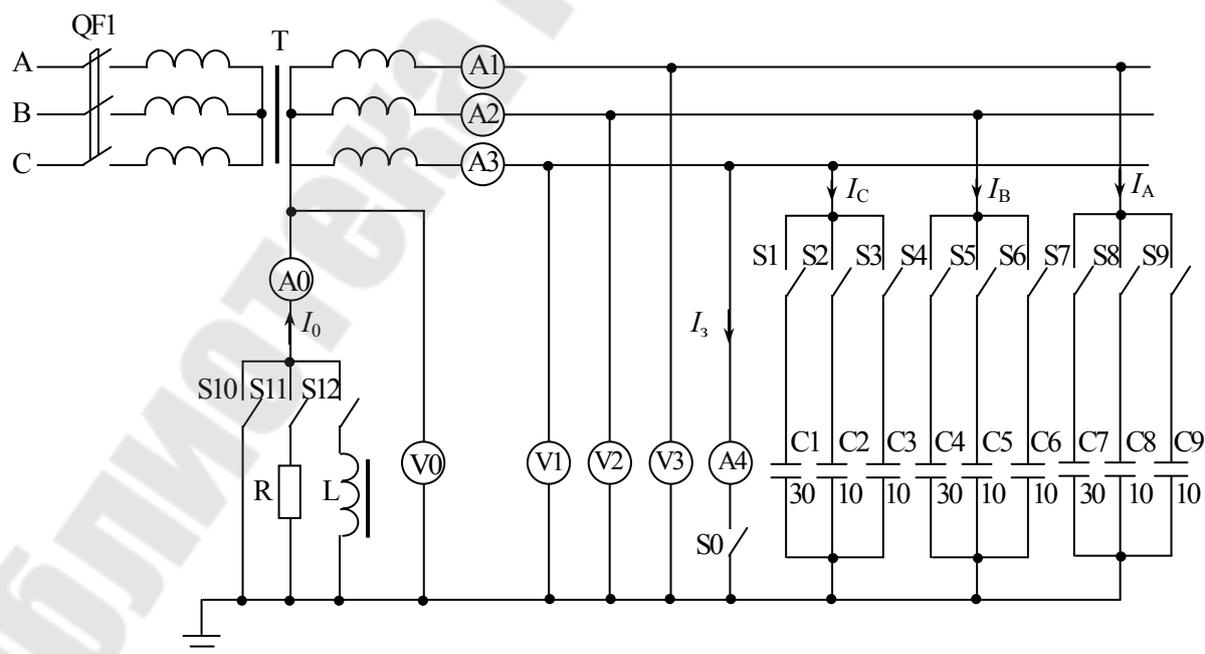


Рис. 3.4. Принципиальная схема лабораторной установки

Порядок выполнения работы

I. Ознакомиться со схемой, приборами и оборудованием лабораторной установки.

II. Выявить особенности системы с глухозаземленной нейтралью в нормальном и аварийном режимах.

Для проведения опытов заземлить нейтраль включением S10 и подать напряжение в систему автоматом QF1.

ОПЫТ 1. Нормальный режим работы системы (симметричный).

1. Установить симметричное состояние системы $C_A = C_B = C_C = 50$ мкФ включением выключателей S1-S9.

2. Измерить величины напряжения каждой фазы U_A, U_B, U_C (с помощью вольтметров V1-V3) и нулевой точки трансформатора U_0 (с помощью вольтметра V0) относительно земли и величины токов в проводах фаз I_A, I_B, I_C , (амперметрами A1-A3) и нейтрали I_0 (амперметр A0). Результаты измерений записать в таблицу (см. образец формы).

ОПЫТ 2. Нормальный режим работы системы (несимметричный).

1. Установить несимметричное состояние системы; $C_A = 10$ мкФ; $C_B = 30$ мкФ; $C_C = 50$ мкФ.

2. Измерить величины $U_A, U_B, U_C, U_0, I_A, I_B, I_C, I_0$. Результаты измерений записать в таблицу.

ОПЫТ 3. Аварийный режим работы сети.

1. Произвести замыкание фазы С на землю при любом состоянии системы с глухозаземленной нейтралью. Замыкание осуществить включением автомата S0. При этом следует **убедиться в отсутствии** в схеме амперметра A4, который может выйти из строя при прохождении через него тока замыкания на землю в системе с глухозаземленной нейтралью. Система должна отключиться защитой.

2. Возвратить все выключатели в положение «отключено».

III. Выявить особенности системы с нейтралью, заземленной через активное сопротивление в нормальном и аварийном режимах.

Для проведения опытов заземлить нейтраль через активное сопротивление R включением S11 и подать напряжение в систему.

ОПЫТ 4. Нормальный режим работы системы (симметричный).

1. Установить симметричное состояние системы $C_A = C_B = C_C = 50$ мкФ включением выключателей S1-S9.

2. Измерить величины $U_A, U_B, U_C, U_0, I_A, I_B, I_C, I_0$. Результаты измерений записать в таблицу.

ОПЫТ 5. Нормальный режим работы системы (несимметричный).

1. Установить несимметричное состояние системы; $C_A = 10$ мкФ; $C_B = 30$ мкФ; $C_C = 50$ мкФ.

2. Измерить величины $U_A, U_B, U_C, U_0, I_A, I_B, I_C, I_0$. Результаты измерений записать в таблицу.

ОПЫТ 6. Аварийный режим работы системы.

1. Установить симметричное состояние системы $C_A = C_B = C_C = 20$ мкФ.

2. Произвести замыкание фазы С на землю включением автомата S0.

3. Измерить величины $U_A, U_B, U_C, U_0, I_A, I_B, I_C, I_0$ и ток замыкания на землю I_3 . Результаты измерений внести в таблицу.

4. По данным измерений подсчитать величину сопротивления R , через которое заземлена нейтраль и внести ее в таблицу.

5. Возвратить все выключатели в положение «отключено».

IV. Выявить особенности системы с изолированной нейтралью в нормальном и аварийном режимах.

Для проведения опытов в системе с изолированной нейтралью подать напряжение в систему автоматом QF1.

ОПЫТ 7. Нормальный режим работы системы (симметричный).

1. Установить симметричное состояние системы $C_A = C_B = C_C = 50$ мкФ включением выключателей S1-S9.

2. Измерить величины $U_A, U_B, U_C, U_0, I_A, I_B, I_C$. Результаты измерений записать в таблицу.

ОПЫТ 8. Нормальный режим работы системы (несимметричный).

1. Установить несимметричное состояние системы; $C_A = 10$ мкФ; $C_B = 30$ мкФ; $C_C = 50$ мкФ.

2. Измерить величины $U_A, U_B, U_C, U_0, I_A, I_B, I_C$. Результаты измерений записать в таблицу.

ОПЫТ 9. Аварийный режим работы системы (симметричный).

1. Установить симметричное состояние системы $C_A = C_B = C_C = 20$ мкФ.
2. Произвести замыкание фазы С на землю включением автомата S0.
3. Измерить величины $U_A, U_B, U_C, U_0, I_A, I_B, I_C$ и I_3 . Результаты измерений внести в таблицу.

ОПЫТ 10. Аварийный режим работы системы (несимметричный).

1. Установить несимметричное состояние системы; $C_A = 20$ мкФ; $C_B = 30$ мкФ; $C_C = 40$ мкФ.
2. Произвести замыкание фазы С на землю включением автомата S0.
3. Измерить величины $U_A, U_B, U_C, U_0, I_A, I_B, I_C$ и I_3 . Результаты измерений внести в таблицу.
4. Возвратить все выключатели в положение «отключено».

5. Выявить особенности системы с компенсированной нейтралью в нормальном и аварийном режимах.

Для проведения опытов заземлить нейтраль через катушку индуктивности включением S12 и подать в систему напряжение.

ОПЫТ 11. Нормальной режим работы системы (симметричный).

1. Установить симметричное состояние системы $C_A = C_B = C_C = 50$ мкФ включением выключателей S1-S9.
2. Измерить величины $U_A, U_B, U_C, U_0, I_A, I_B, I_C, I_0$. Результаты измерений записать в таблицу.

ОПЫТ 12. Аварийный режим работы системы

1. Установить симметричное состояние системы $C_A = C_B = C_C = 10$ мкФ.
2. Произвести замыкание фазы С на землю включением автомата S0.
3. Измерить величины $U_A, U_B, U_C, U_0, I_A, I_B, I_C, I_0$ и I_3 . Результаты измерений внести в таблицу.
4. Отключить катушку индуктивности от земли автоматом S12. Измерить величины $U_A, U_B, U_C, U_0, I_A, I_B, I_C, I_0$ и I_3 и результаты измерений внести в таблицу.

5. По окончании опыта установить S0 в положение "отключено", а S12 – "включено", подготовив тем самым схему для следующего опыта.

ОПЫТ 13. Аварийный режим работы системы

1. Установить симметричное состояние системы
 $C_A = C_B = C_C = 20 \text{ мкФ}$.

Пункты 2-5 аналогичны соответствующим пунктам опыта 12.

ОПЫТ 14. Аварийный режим работы системы

1. Установить симметричное состояние системы
 $C_A = C_B = C_C = 30 \text{ мкФ}$.

Пункты 2-5 аналогичны соответствующим пунктам опыта 12.

После выполнения опыта 14 все автоматы и выключателя должны быть отключены.

Меры безопасности

5. Не включать стенд без разрешения преподавателя.
6. Не касаться токоведущих частей стенда при включенном питании.
7. При анализе системы с глухозаземленной нейтралью в аварийном режиме (опыт 3) не включать в схему амперметр для измерения тока замыкания.

Содержание отчета

1. Принципиальные схемы исследованных систем с указанием принятых положительных направлений токов и напряжений в нормальном и аварийном режимах.
2. Результаты измерений и расчетов по результатам опытов 1-14 в виде таблиц.
3. Основные расчетные формулы.
4. Векторные диаграммы напряжений и токов в нормальном и аварийном режимах при различных параметрах исследованных систем. Необходимые расчеты для построения диаграмм.
5. Общие выводы по свойствам систем с различными режимами нейтрали.

Образец формы таблицы с результатами измерений и расчетов

№ п/п	Исследуемая система и режим работы	Параметры системы	№ опыта	Результаты измерений							Расчетные данные		
				U_A	U_B	U_C	U_0	I_A	I_B	I_C		I_0	I_3
IV	Нейтраль заземленная через катушку индуктивности	$C_A = C_B = C_C = 50$ мкФ	7										
			1) нормальный режим	8									
		а) симметричное состояние											
			б) несимметричное состояние	$C_B = 30$ мкФ ;									
		2) аварийный режим		$C_C = 50$ мкФ	9								
			а) симметричное состояние										
б) несимметричное состояние	$C_B = 30$ мкФ ;												
		$C_C = 40$ мкФ	10										

Контрольные вопросы

1. Какие факторы являются определяющими при выборе режима работы нейтрали в электрических сетях?
2. Нормы токов короткого замыкания в сетях 6-35 кВ с изолированной нейтралью.
3. Какой тип нейтрали применяется в установках 110 кВ и выше?
4. Какой тип нейтрали применяется в установках до 1 кВ?
5. Как определить параметры индуктивности при компенсации емкостных токов?
6. Какое напряжение будет испытывать изоляция при однофазном замыкании на земле в сетях с изолированной нейтралью?
7. Нормы на величины допустимых значений сопротивления заземляющих устройств в различных сетях.

Список литературы

1. Л.А.Бессонов. Теоретические основы электротехники. – М.: Высшая школа, 1973.
2. А.А. Федоров, В.З. Каменева. Основы электроснабжения промышленных предприятия. – М.: Энергия, 1979.

ЛАБОРАТОЯ РАБОТА № 4

Тема: Определение групп соединения трехфазных трансформаторов

Цель работы: изучение способов определения групп соединения трехфазных трансформаторов.

Теоретические сведения

Согласно ГОСТ силовые трансформаторы имеют стандартные схемы в группы соединения обмоток.

Обмотки высшего и низшего напряжения трехфазных трансформаторов допускают три основных способа соединений: звезда, треугольник, зигзаг.

Группа соединения трансформатора определяет угол сдвига между векторами вторичного и первичного линейных напряжений соответствующих обмоток. Смещение этих векторов, или угол между ними, зависит от схемы соединения обмоток и направления витков обмотки катушек, которое может быть левым или правым.

Соединяя обмотки высокого и низкого напряжения одним из способов, можно получить различные группы соединения трехфазных трансформаторов.

Для трехфазных трансформаторов применяют следующие группы соединения обмоток высшего и низшего напряжений:

$Y/Y-0$; $Y/\Delta-11$; Y/Y_0-0 ; $Y_0/\Delta-11$; $\Delta/\Delta-0$.

Обозначения $Y/Y-0$, $Y/\Delta-11$ и другие указывают схемы и группы соединения обмоток трансформаторов – угловое смещение векторов линейных напряжений обмотки низшего напряжения по отношению к векторам линейных напряжений обмотки высшего напряжения. Первый знак в обозначении относится к обмотке высшего напряжения, второй к обмотке низшего напряжения. Число указывает угловое смещение 0° , число 11 – угловое смещение 330° , так как угловое смещение в 30° принято за единицу.

На практике зачастую необходимо проверить группу соединения обмоток у готового трансформатора. Для этого могут использоваться следующие методы:

1. Метод непосредственного измерения угла между векторами линейных э.д.с. первичной и вторичной обмоток одноименных фаз с помощью фазометра.

2. Путем измерения электромагнитной системы соответствующих напряжений между зажимами обмоток высшего и низшего напряжения. На основании измеренных данных строятся векторная диаграмма напряжения, по которой определяется группа соединения трансформатора.

Чтобы получить заданную группу соединений необходимо, прежде всего, определить начало и конец каждой из обмоток трансформатора.

Определение начала и конца каждой обмотки проводится методом постоянного тока или с помощью фазометра.

В настоящей работе используется метод постоянного тока, как наиболее простой широко применяющийся в практике. В основу этого метода положено сопоставление направления э.д.с, индуцируемых в обмотках высшего и низшего напряжения, расположенных на одном или разных стержнях трансформатора. Наведенные э.д.с. будут иметь одинаковое направление в том случае, если они направлены в любой момент времени в обеих обмотках от начала к концу или наоборот. Причем направление намотки витков обмоток должно быть одинаковым.

Прядок выполнения работы

1. Определение выводов обмоток трансформатора.
2. Определение начала и концов всех обмоток трансформатора методом постоянного тока.
3. Определение группы соединения обмоток трансформатора с помощью фазометра.
4. Определение группы соединения обмоток трансформатора с помощью вольтметра.

Методика проведения эксперимента.

Для определения начала и конца обмотки необходимо иметь источник постоянного тока напряжением 4-6 В и вольтметры магнитоэлектрической системы с двухсторонним отклонением стрелки. На приборах должна быть указана полярность зажимов.

1. *Определение выводов обмоток* может проводиться одним из следующих способов:

- 1.1. С помощью источника постоянного тока и амперметра (рис. 4.1). При подключении источника и амперметра к выводам одной обмотки (рис. 4.1, а) стрелка амперметра отклонится. В случае подключения к выводам различных обмоток (рис. 4.1, б) откло-

нения стрелки не последует, так как не будет электрической цепи для протекания тока.

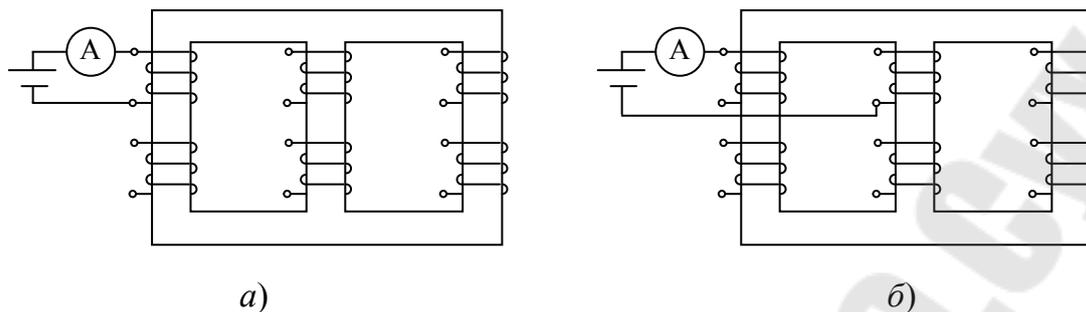


Рис. 4.1. Определение выводов обмоток

1.2. С помощью мегометра. При подключении мегометра к выводам одной обмотки стрелка мегометра покажет сопротивление обмотки. В случае подключения к выводам различных обмоток стрелка мегометра покажет сопротивление равное бесконечности (сопротивление изоляции).

2. *Определение начала и концов обмоток* производится в следующем порядке:

2.1. Произвольно (условно) выбирается начало и конец одной из первичных обмоток.

К выбранной обмотке подключается источник постоянного тока и отмечается зажим, на который подан плюс источника. К остальным обмоткам подключаются вольтметры, как показано на рис.2.

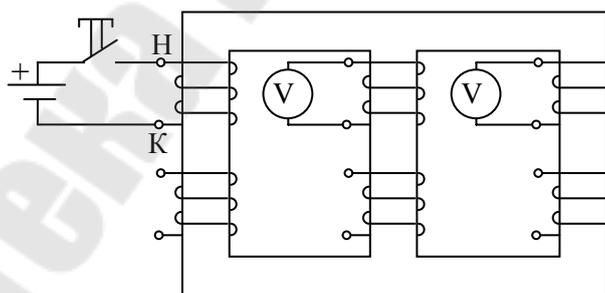


Рис. 4.2. Определение начала и концов обмоток

Включается на короткое время рубильник (нажимается кнопка) и регистрируются отклонения стрелок приборов.

Если зажимы приборов и источника с отметкой (+) подключены к началам всех обмоток трансформатора, то показания приборов, подключенных к обмоткам, расположенных на других стержнях трансформатора, окажутся отрицательными.

Объясняется это тем, что в обмотках, расположенных на одном и том же стержне, индуцируемая э.д.с. совпадает по направлению с э.д.с. исходной обмотки (направление витков обмоток при этом предполагается одинаковым). В обмотках, расположенных на других стержнях, э.д.с. направлены навстречу э.д.с. исходной обмотки, так как для этих стержней изменилось направление магнитного потока.

2.2. Аналогично п. 2.1. определяются начала и концы вторичных обмоток.

2.3. Определяются первичные и вторичные обмотки, расположенные на одном стержне магнитопровода. Для этого собирается схема представленная на рис. 4.3. После подключения источника питания к одной из первичных обмоток (путем нажатия кнопки) стрелки вольтметров подключенных к вторичным обмоткам отклонятся. Максимальное отклонение стрелки будет у вольтметра включенного в обмотку расположенную на одном стержне с обмоткой, к которой подключен источник.

2.4. Проводится окончательная проверка. Для этого к одной из первичных обмоток подключается источник постоянного тока, (+) к началу обмотки. К вторичным обмоткам подключаются вольтметры, (+) к началу обмоток (рис. 4.3).

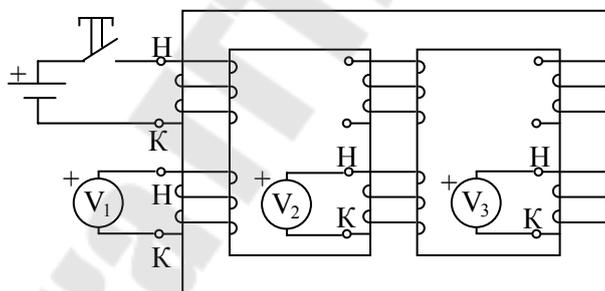


Рис.4.3. Окончательная проверка правильности определения начала и конца обмоток

В случае правильного определения начала и концов обмоток стрелка первого вольтметра отклонится в положительную сторону (т.к. обмотки к которым подключен источник и первый вольтметр находятся на одном стержне, то магнитный поток, а, следовательно, и ЭДС в них совпадают), а стрелка второго и третьего вольтметра – в отрицательную (т.к. обмотки к которым подключен источник и второй (третий) вольтметр находятся на разных стержнях, то магнитный поток, а, следовательно, и ЭДС в них имеют противоположные направления).

Если показания всех приборов противоположны (это объясняется тем, что начала и концы обмоток, к которым подключался источник в п. 2.1, 2.2, выбирались условно), то требуется поменять маркировку (начало \Leftrightarrow конец) у всех первичных либо вторичных обмоток.

В случае недостаточного количества приборов можно производить поочередно определение начал и концов обмоток одним прибором (вольтметром магнитоэлектрической системы).

Результаты определения начал и концов обмоток записываются в тетрадь и показываются для проверки преподавателю.

3. Определение группы соединения обмоток трансформатора с помощью фазометра.

3.1. Преподавателем задается схема соединения обмоток трансформатора.

3.2. Для определения группы соединения обмоток трансформатора собирается схема согласно рис. 4.4.

Обмотка напряжения фазометра подключается к зажимам обмотки высшего напряжения трансформатора (например, к зажимам **A** и **B**).

Токовая обмотка фазометра подключается соответственно к одноименным зажимам обмотки низшего напряжения через добавочное сопротивление (в данном случае к зажимам **a** и **b**). Как видно на рис. 4.4, ток I , протекающий через токовую обмотку фазометра будет совпадать по направлению с э.д.с. возникающей на выводах **a** и **b**. Протекающий по обмотке напряжения ток окажется одинакового направления с э.д.с. появляющейся на зажимах **A** и **B**. Следовательно, угол между токами будет равен углу между соответствующими линейными э.д.с. обмоток трансформатора.

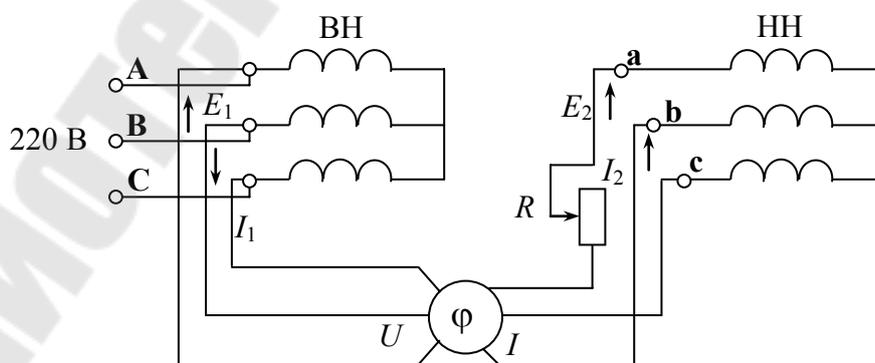


Рис. 4.4

После измерения угла строится векторная диаграмма э.д.с. обмоток высшего и низшего напряжения и определяется группа соединения обмоток трансформатора.

Пользуясь указанным методом, желательно иметь фазометр со шкалой в 360° .

ПРИМЕЧАНИЕ: В случае применения трехфазного фазометра к обмоткам высшего напряжения трансформатора подключают три вывода обмоток напряжения к фазам А, В, С. Два вывода токовой обмотки фазометра подключаются соответственно к зажимам а и в обмотки низшего напряжения.

4. *Определение группы соединения обмоток трансформатора с помощью вольтметра.*

4.1. Преподавателем задается схема соединения обмоток трансформатора.

4.2. Применяя данный метод, соединяют одноименные зажимы, например А и а (рис. 4.5) и производят измерения вольтметром между следующими выводами:

- | | | |
|----------|----------|----------|
| 1) b – В | 3) c – В | 5) A – В |
| 2) b – С | 4) c – С | |

Питание подается на обмотку высшего напряжения трансформатора.

В зависимости от группы соединения результаты измерений будут различными.

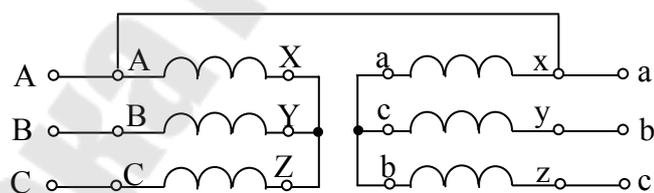


Рис. 4.5. Определение группы соединения обмоток трансформатора методом вольтметра

По данным измерений строится векторная диаграмма напряжений и определяется группа соединений трансформатора.

Пример построения векторной диаграммы

Допустим в результате проведенного эксперимента по п. 4.2 получены следующие результаты:

$B - b = 270 \text{ В};$	$B - c = 200 \text{ В};$
$C - b = 300 \text{ В};$	$C - c = 270 \text{ В}.$

Линейное напряжение, подведенное из сети к обмотки высшего напряжения трансформатора составляет 220 В.

Выбираем следующий масштаб: 1 см = 50 В.

Строим в масштабе треугольник линейных напряжений для обмоток высокого напряжения (рис. 4.6, а). Из точки **B** и **C** делаем засечки раствором циркуля, равным соответственно 270 В и 300 В в выбранном масштабе и получаем точку **b**. Из точек **B** и **C** раствором циркуля равным 200 и 270 В в прежнем масштабе делаем второй раз засечки и находим точку **c**. Точки **A** и **a** на диаграмме совпадают, так как соответствующие зажимы трансформатора были соединены коротко.

По наденным точкам строится треугольник линейных напряжений обмоток низшего напряжения. Выносим отдельно одноименные векторы линейных напряжений (например, U_{AB} и U_{ab}), представляющие собой жесткую систему, как показано на рис. 4.6, б).

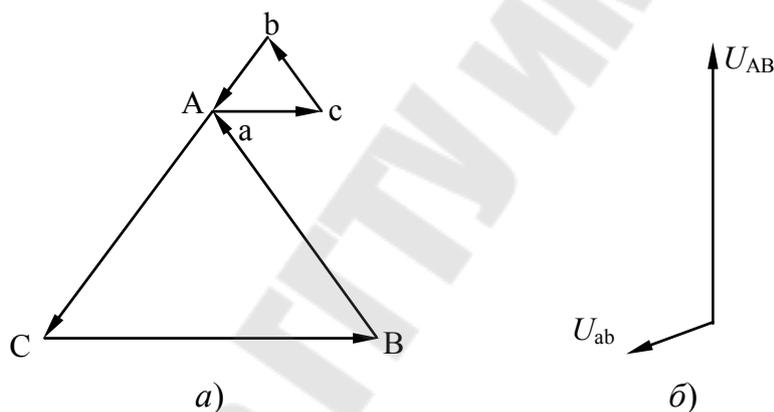


Рис. 4.6. Построение векторной диаграммы

Совместим мысленно вектор высшего напряжения U_{AB} с цифрой 12 циферблата часов, вектор низшего напряжения U_{ab} установится на цифре 8, Это означает, что испытуемый трансформатор имеет 8 группу соединения обмоток.

Меры безопасности

1. Не включать стенд без разрешения преподавателя.
2. Не проводить работы по монтажу схем при включенном стенде.
3. Не прикасаться к незащищенным частям стенда и измерительных приборов (клеммам) при включенном стенде.

Содержание отчета

1. Тема и цель работы.
2. Краткое описание проведенных экспериментов по определению начал и концов обмоток, и групп соединения обмоток трансформатора.
3. Результаты измерений и диаграммы.
4. Выводы.

Контрольные вопросы

1. Как определить начала и концы обмоток?
2. Чем обуславливается кратковременное отклонение стрелки вольтметра (а не постоянное) при определении начала и концов обмоток трансформатора?
3. Что понимают под группой соединения обмоток трансформатора?
4. Почему (при выполнении п. 2.3) максимальное отклонение стрелки будет у вольтметра включенного в обмотку (вторичную) расположенную на одном стержне с обмоткой (первичной), к которой подключен источник?
5. При каких условиях получают четные и нечетные группы соединения трансформаторов?
6. Как определить группу соединения трехфазного трансформатора?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5

Тема: ЗАЩИТА ЦЕХОВЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ ПРЕДОХРАНИТЕЛЯМИ И АВТОМАТИЧЕСКИМИ ВЫКЛЮЧАТЕЛЯМИ

Цель работы:

1. Ознакомиться с типами и конструкцией автоматических выключателей.
2. Снять время-токовые характеристики автоматических выключателей.

Теоретические сведения

Для защиты и нечастой коммутации цепей постоянного и переменного тока применяются автоматические выключатели. Однако по сравнению с предохранителями, автоматические выключатели являются более совершенными аппаратами ввиду готовности к быстрым повторным включениям, возможности защиты от перегрузок в широком диапазоне токов, защиты электрических цепей при недопустимых снижениях напряжения, выполнения коммутационных операций (включение, отключение). Кроме того, у некоторых автоматов имеются независимые расцепители, позволяющие осуществить дистанционное отключение электрической цепи. Автоматы выпускаются в одно-, двух- и трехполюсном исполнении на токи до 6300 А при напряжении переменного тока до 660 В и постоянного тока до 1 кВ. По времени срабатывания различают: обычные неселективные автоматические выключатели с $t = 0,01 - 0,1$ с; селективные с регулируемой выдержкой времени до 1 с и быстродействующие, токоограничивающие с $t < 0,005$ с.

Автоматический выключатель состоит из корпуса, контактов с дугогасительной системой, привода, механизма свободного расцепления, расцепителей, вспомогательных контактов.

Основными элементами, при срабатывании которых автоматический выключатель отключается мгновенно или с выдержкой времени, являются расцепители. Автомат может иметь один или несколько расцепителей.

Электромагнитный расцепитель. Защиту от токов коротких замыканий выполняет электромагнитный расцепитель. Действие автоматических выключателей с электромагнитными расцепителями основано на втягивании сердечника электромагнита при прохождении

по его обмотке тока, величина которого превышает величину тока установки. При этом усилие через толкатель передается на удерживающую защелку контакторной группы, в результате чего контакты под действием пружины размыкаются. Автоматические выключатели размыкают главную цепь приемника электроэнергии. В исходное положение контакты автоматических выключателей возвращаются вручную нажатием на рукоятку. Подвижные контакты при этом перемещаются к неподвижным. Электромагнитный расцепитель имеет свой ток отключения при КЗ (уставка КЗ). Этот ток выражается в амперах, или чаще, – в кратности к номинальному току.

Время срабатывания электромагнитного расцепителя при токе КЗ мгновенное (собственное время срабатывание расцепителя сотые доли секунд).

Электродинамический расцепитель. Используется для защиты от коротких замыканий в автоматах с большими номинальными токами. Срабатывание обеспечивается электродинамическими силами, отталкивающих силовые контакты.

Тепловой расцепитель. Защиту от токов перегрузок выполняет тепловой расцепитель. Основа теплового расцепителя – биметаллическая (в последнее время триметаллическая) пластина, которая при нагреве изменяет свою форму, и этим обеспечивает срабатывание расцепителя.

Работа автоматических выключателей с тепловыми расцепителями основана на изгибе биметаллических пластин под действием нагрева. При прохождении тока по нагревателю с активный сопротивлением количество выделенного в ней тепла пропорционально квадрату величины тока. Температура же этого нагревателя и соседней с ним пластины пропорциональна количеству выделенного тепла.

Биметаллическая пластина состоит из двух плотно соединенных слоев различных металлов, один из которых обладает малым коэффициентом теплового расширения (пассивный слой), другой – большим (активный слой). Поэтому прямая биметаллическая пластина при нагревании изгибается в сторону активного слоя. Когда по защищаемой электрической цепи проходит ток, величина которого превышает номинальную величину, в нагревательном элементе (активном сопротивлении) выделяется тепла больше, чем при номинальном токе, и биметаллическая пластина изгибается так, что незакрепленный конец ее через толкатель поднимает защелку. При этом пружина размыкает

контакт. Роль нагревательного элемента (активного сопротивления) может выполнить и сама биметаллическая пластина. Тогда к одному ее концу подсоединяет провод сети, а к другому – провод приемника электрической энергии. Скорость увеличения температуры (изгибания) биметаллической пластины пропорциональна величине тока.

Полупроводниковый расцепитель. Полупроводниковый расцепитель осуществляет защиту от токов коротких замыканий и перегрузок в цепи. В отличие от электромагнитного и теплового расцепителей полупроводниковый расцепитель допускает ступенчатый выбор параметров:

- номинального тока расцепителя;
- уставки по току срабатывания в зоне токов короткого замыкания;
- уставки по времени срабатывания в зоне токов перегрузки;
- уставки по времени срабатывания в зоне токов короткого замыкания;
- уставки по току срабатываний при однофазном коротком замыкании.

Для расцепителя в зоне токов перегрузки сигнал на срабатывание выдается с обратно зависимой от тока выдержкой времени (чем больше ток, тем меньше выдержка времени на отключение). Для расцепителя в зоне токов короткого замыкания, при значениях тока меньше предельного тока селективности, сигнал на срабатывание выдается с выдержкой времени. При значениях тока больше предельных токов селективности сигнал на отключение подается мгновенно. Также сигнал на отключение подается мгновенно, при не установленной выдержке времени.

Автоматы на основе таких расцепителей получают сигнал от измерительного устройства и формируют соответствующую защитную характеристику, выдающую сигнал через промежуточное реле на независимый расцепитель.

Автоматические выключатели характеризуются: номинальным напряжением и током автомата, номинальным током расцепителя, током трогания или током срабатывания автомата, предельным током отключения автомата (отключающая способность), собственным временем срабатывания, защитной (время-токовой) характеристикой (рис. 5.1).

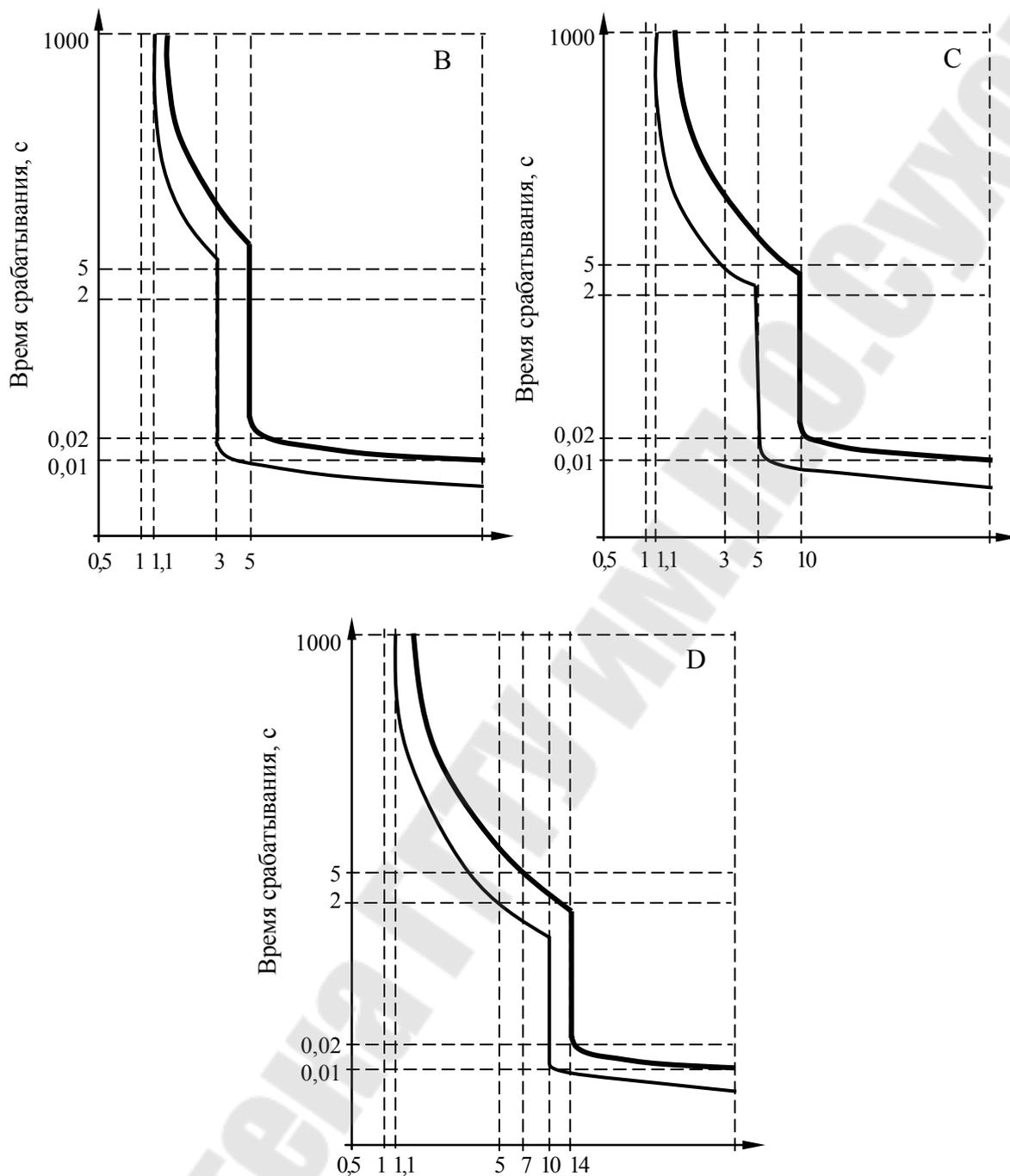


Рис. 5.1. Время-токовые характеристики автоматического выключателя серии ВА47-29

Наименьший ток, вызывающий отключение автоматического выключателя, называют *током трогания* или *током срабатывания*, а настройку расцепителя автоматического выключателя на заданный ток срабатывания – *уставкой тока срабатывания*.

Выключатели изготавливаются со следующими **дополнительными сборочными единицами** (только те марки, для которых это предусмотрено):

– свободными контактами (СК), (определяют положение автомата (вкл/выкл.);

– вспомогательными контактами сигнализации автоматического отключения (ВСК), (сигнализируют срабатывание защиты автомата);

– электромагнитным приводом (ЭП);

– независимым расцепителем (НР), (обеспечивает отключение выключателя при подаче на катушку независимого расцепителя напряжения);

– нулевым расцепителем (РНН), (обеспечивает отключение выключателя без выдержки времени при напряжении на выводах его катушки ниже 0,1-0,35 номинального (в зависимости от марки автомата) и препятствует включению выключателя при напряжениях на выводах катушки 0,1 номинального и ниже);

– минимальным расцепителем (РМН), (обеспечивает отключение выключателя без выдержки времени при напряжении на выводах его катушки ниже 0,35-0,7 номинального (в зависимости от марки автомата) и препятствует включению выключателя при напряжениях на выводах катушки 0,35 номинального и ниже);

– дополнительным кожухом (для увеличения степени защиты автомата от окружающей среды);

– блокировкой положения «включено» и «отключено» замком;

По способу присоединения автоматы делятся на стационарные и выдвижные. Стационарные автоматы по способу монтажа могут быть как переднего присоединения, так и заднего. Переднее присоединение бывает как с креплением на din-рейке, так и с креплением винтами или болтами.

Автоматические выключатели выпускаются различных серий, некоторые из них приведены ниже: АВ; ВА; АЕ; АП; А3700; АВМ; «Электрон».

Автоматический выключатель серии АВ50-45 (рис. 5.2) предназначен для комплектации устройств защитного отключения и установок промышленного назначения. Оснащен микропроцессорным полупроводниковым расцепителем на номинальные токи 630 А, 1000 А, 1600 А, 2500 А, 3200 А. Уставки по току срабатывания в зоне токов короткого замыкания от 1,5 до 7 кратной величины от номинального тока с шагом 0,5. Уставки номинального тока регу-

лируются от 0,3 его величины и выше. Автомат может быть дополнительно оснащен независимым расцепителем, регулируемым или нерегулируемым минимальным расцепителем напряжения.

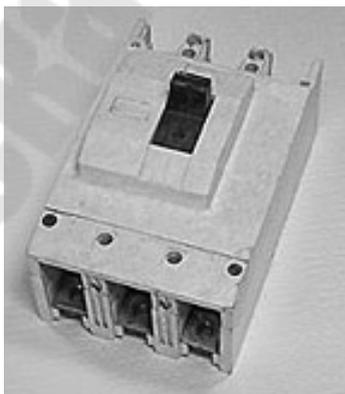


Рис. 5.2. Автоматический выключатель серии АВ50-45

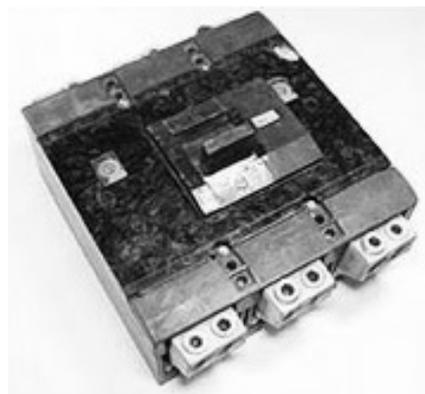
Автоматические выключатели типа ВА51-25 (рис. 5.3) предназначены для защиты электрических цепей от токов перегрузки и токов короткого замыкания и для коммутации электрических цепей в нормальном режиме напряжением до 660В переменного тока частоты 50, 60 Гц, а также для оперативных включений и отключений указанных электрических цепей с частотой до 30 включений в час.



ВА51-25



ВА 51-35



ВА 51-39

Рис. 5.3. Автоматические выключатели типа ВА

Автоматические выключатели типа АЕ2033ММ (рис. 5.4) предназначены для защиты электрических цепей от токов коротко-

го замыкания, а выключатели типа АЕ2036ММ – для защиты от токов перегрузки и от токов короткого замыкания; для защиты, пуска и остановки асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором; для коммутации электрических цепей в нормальном режиме напряжением до 380В переменного тока частоты 50, 60 Гц, а также для оперативных включений и отключений указанных электрических цепей с частотой до 30 включений в час.

Автоматические выключатели серии А 3700 представлены на рис. 5.4.



АЕ2033ММ



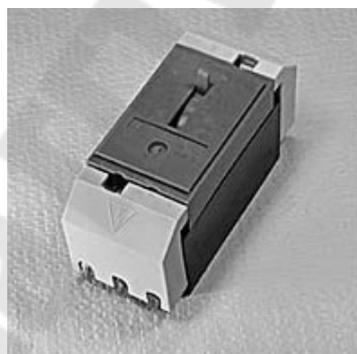
АЕ 2056МП



АЕ 2044



АЕ 2046М



АЕ 2036ММ



АЕ 2056ММ



АЕ 2066



АЕ2000



АЕ1000

Рис. 5.4. Автоматические выключатели типа АЕ

Выключатели серии А 371Х Ф, А 371Х Б предназначены для проведения тока в нормальном режиме и отключения тока при коротких замыканиях, перегрузках, недопустимых снижениях напряжения, а также до 3 оперативных включений и отключений электрических цепей в час и рассчитаны для эксплуатации в электроустановках с номинальным рабочим напряжением до 380/660 В переменного тока частоты 50, 60 Гц, до 380 В переменного тока частоты 400 Гц и постоянного тока до 220/440 В.



Рис. 5.5. Автоматические выключатели А 3700

Выключатели серии А 37ХХ БР предназначены для проведения тока в нормальном режиме и отключения тока при коротких замыканиях, перегрузках, недопустимых снижениях напряжения, а также до 6 оперативных включений и отключений электрических цепей в час и рассчитаны для эксплуатации в электроустановках с номинальным рабочим напряжением до 380/660 В переменного тока частоты 50, 60 Гц и постоянного тока до 220/440 В.



Рис. 5.6. Автоматический выключатель серии АП-50Б

Автоматические выключатели серии АП-50 Б (рис. 5.6) предназначены для защиты от перегрузок и коротких замыканий электрических цепей напряжением до 220В постоянного тока, до 500В переменного тока частоты 50-60Гц, оперативных включений и отключений указанных цепей с частотой до 30 включений в час, в том числе для пуска, защиты и отключения электродвигателей.

Максимальные расцепители тока: М – электромагнитный; Т – тепловой. Дополнительные расцепители: Н – минимальный расцепитель напряжения; Д – независимый расцепитель; О – максимальный расцепитель тока в нулевом проводе.

Описание стенда для испытания выключателей

Стенд позволяет снять время-токовые характеристики автоматических выключателей и плавких предохранителей. На стенде установлены автоматические выключатели и имеются гнезда для плавких предохранителей.

Силовая часть стенда содержит магнитный пускатель КМ для подачи напряжения на стенд, трансформаторы Т1 (ЛАТР), Т2 (нагрузочный), обеспечивающие установку необходимой величины тока, испытуемые выключатели и предохранители. Кнопки SB1, SB2 и ручья автотрансформатора Т1 выведены на лицевую панель стенда.

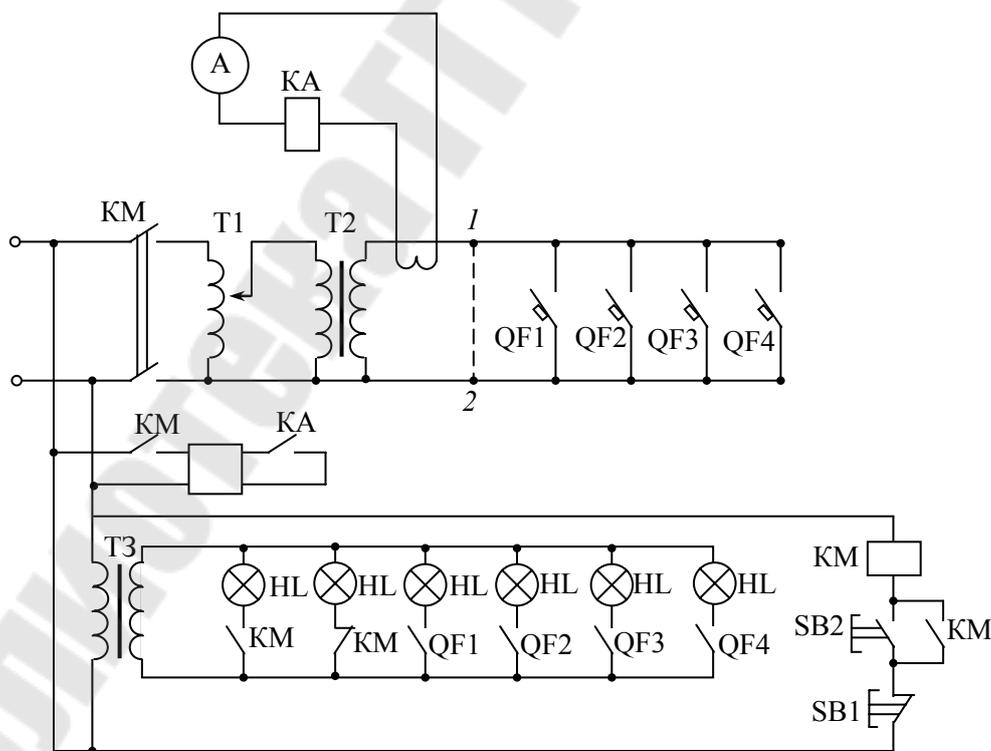


Рис. 5.7. Принципиальная схема стенда

Необходимую величину напряжения и тока устанавливают при зашунтированных выключателях или предохранителях, для чего между точками 1, 2 устанавливается перемычка (провод большого сечения).

Цепи измерения, управления и сигнализации содержат амперметр, реле тока КА, секундомер и лампочки сигнализации НЛ включенного положения пускателя КМ и испытуемых выключателей QF1-QF4. Принципиальная схема стенда приведена на рис. 5.7.

Порядок выполнения работы

1. У выключателя, который предназначен для разборки, снимите крышку и ознакомьтесь с его устройством. При замкнутых контактах нажмите отверткой на биметаллическую пластину так, чтобы защелка освободилась, и проследите за работой рычажного механизма при размыкании контактов.

2. С одним из автоматических выключателей произведите снятие зависимости $t(I)$, для этого:

а) по схеме рис. 5.7 между точками (клеммами) 1 и 2 установите перемычку и кнопкой SB2 "ПУСК" включите стенд. При этом секундомер и автоматические выключатели, установленные на стенде должны быть отключены;

б) плавным поворотом рукоятки автотрансформатора установите ток, равный 80 А;

в) после установки необходимой величины тока отключите стенд и снимите перемычку, включите секундомер и испытуемый автоматический выключатель, при этом должна загореться сигнальная лампа, установленная над выключателем t_{cp} ;

г) кнопкой SB2 "ПУСК" включите стенд. Определите по секундомеру время срабатывания тепловых и электромагнитных расцепителей автоматического выключателя;

д) полученные результаты занесите в таблицу 5.1.

Подсчитайте кратность перегрузки:

$$K_{п} = I_{н} / I_{нв},$$

где $I_{н}$ – ток нагрузки, А;

$I_{нв}$ – номинальный ток испытуемого выключателя, А.

Таблица 5.1

Наименование автоматического выключателя	Номинальный ток аппарата	Ток нагрузки	Кратность перегрузки	Время срабатывания

е) отключите стенд и секундомер. Установите переключку между точками 1 и 2. Включите стенд плавным поворотом рукоятки автотрансформатора установите ток, равный 90 А. Прodelайте все согласно пунктам в-д. Затем увеличьте ток до 100 А, 110 А, 120 А и т.д. и определите время срабатывания испытуемого автоматического выключателя. После подсчета величины $K_{п}$ постройте время-токовую характеристику.

Для снятия время-токовых характеристик плавких предохранителей необходимо заготовить 6-8 плавких вставок одного номинала. Снятие характеристик производится так же как и для автоматических выключателей согласно пункту 2.

Меры безопасности

4. Не включать стенд без разрешения преподавателя.
5. Не проводить работы по монтажу схем при включенном стенде.
6. Не прикасаться к незащищенным частям стенда и измерительных приборов (клеммам) при включенном стенде.

Содержание отчета

1. Тема и цель работы.
2. Электрическая схема рис. 5.7 с перечнем приборов и оборудования и таблица 5.1.
3. График зависимости $t_{ср} = f(I_{н})$ для испытуемых автоматических выключателей.
4. Выводы.

Контрольные вопросы

1. Перечислите типы расцепителей.
2. Поясните принцип работы электромагнитного расцепителя.
3. Поясните принцип работы теплового расцепителя.
4. Поясните принцип работы полупроводникового расцепителя.

5. Нарисуйте время-токовую характеристику автомата и покажите на ней его основные параметры.
6. Для чего предназначен нулевой расцепитель?
7. Для чего предназначен минимальный расцепитель?
8. Для чего предназначен независимый расцепитель?
9. Для чего предназначен дифференциальный расцепитель?
10. Что понимают под током отсечки автомата? Чему равен ток отсечки испытуемых выключателей?
11. Опишите работу схемы представленной на рис. 5.7.

Список литературы

1. Елкин В.Д., Елкина Т.В. Электрические аппараты. – Мн.: Дизайн ПРО, 2003. – 168 с.
2. Чунихин А.А. Электрические аппараты. – М.: – Энергоатомиздат, 1988, – 720 с.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6

Тема: ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Цель работы: Самостоятельно ознакомиться с конструкцией, назначением, областью применения, принципом действия и т.п. основных элементов систем электроснабжения промышленных предприятий.

Список тем

1. Силовые трансформаторы.
2. Комплектные трансформаторные подстанции.
3. Конденсаторные установки.
4. Аккумуляторные батареи.
5. Силовые кабельные линии.
6. Воздушные линии электропередачи.
7. Воздушные линии с изолированными проводами.
8. Масляные выключатели.
9. Электромагнитные выключатели.
10. Воздушные выключатели.
11. Элегазовые выключатели.
12. Вакуумные выключатели.
13. Выключатели нагрузки.
14. Разъединители.
15. Короткозамыкатели и отделители.
16. Автоматические выключатели.
17. Контактторы и магнитные пускатели.
18. Предохранители.
19. Вентильные разрядники и ограничители перенапряжения.
20. Трубчатые разрядники.
21. Ячейки КСО и КРУ.
22. Шунтирующие реакторы.
23. Токоограничивающие реакторы.
24. Комплектные шинопроводы.
25. Распределительные шкафы, щиты и пункты.
26. Вводно-распределительные устройства.
27. Трансформаторы тока и напряжения.

Содержание отчета

В качестве отчета требуется предоставить реферат на тему заданную преподавателем. Реферат, помимо развернутого ответа, должен содержать оглавление и список используемой литературы.

Список литературы

1. Быстрицкий Г.Ф., Кудрин Б.И. Выбор и эксплуатация силовых трансформаторов. – М.: АСАДЕМА, 2003. – 174 с.
2. Груба В.И., Калинин В.В., Макаров М.И. Монтаж и эксплуатация электроустановок. – М.: Недра, 1991. – 239 с.
3. Елкин В.Д., Елкина Т.В. Электрические аппараты. – Мн.: Дизайн ПРО, 2003. – 168 с.
4. Зюзин А.Ф., Поконов Н.З., Вишток А.М. Монтаж, эксплуатация и ремонт электрооборудования промышленных предприятий и установок. – М.: Высш. школа, 1980. – 367 с.
5. Иванов Н.А., Лернер Н.М., Рябцев Ю.И. Справочник по монтажу распределительных устройств выше 1 кВ на электростанциях и подстанциях. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 304 с.
6. Князевский Б.А., Трунковский Л.Е. Монтаж и эксплуатация промышленных электроустановок. – М.: Высшая школа, 1984. – 175 с.
7. Короткевич М.А. Эксплуатация электрических сетей. – Мн.: Высшая школа, 2005. – 364 с.
8. Куценко Г.Ф. Монтаж, эксплуатация и ремонт установок электроснабжения. Практикум. – Мн.: Дизайн ПРО, 2003. – 240 с.
9. Куценко Г.Ф. Монтаж, эксплуатация и ремонт установок электроснабжения. – Мн.: Дизайн ПРО, 2006. – 472 с.
10. Макаров Е.Ф. Справочник по электрическим сетям 0,4 – 35 кВ и 110 – 1150 кВ. Том 2 / Под редакцией И.Т. Горюнова, А.А. Любимова – М.: Папирус Про, 2003. – 640 с.
11. Макаров Е.Ф. Справочник по электрическим сетям 0,4 – 35 кВ и 110 – 1150 кВ. Том 3 / Под редакцией И.Т. Горюнова, А.А. Любимова – М.: Папирус Про, 2004. – 677 с.
12. Мусаэлян Э.С. Наладка и испытание электрооборудования электростанций и подстанций. – М.: Энергия, 1979 – 464 с.
13. Сацукевич М.Ф. Электрические аппараты управления и защиты. – Мн.: Беларусь, 1984. – 94 с.

14. Сибикин Ю.Д., Сибикин М.Ю. Справочник по эксплуатации электроустановок промышленных предприятий. – М.: Высшая школа, 2002. – 248 с.

15. Соколов Б.А., Соколова Н.Б. Монтаж электрических установок. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 592 с.

16. Ус А.Г., Евминов Л.И. Электроснабжение промышленных предприятий и гражданских зданий: Учебное пособие. – Мн.: НПО «ПИОН», 2002. – 457 с.

17. Чунихин А.А. Электрические аппараты. – М.: Энергоатомиздат, 1988, – 720 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Лабораторная работа № 1 Использование графиков электрических нагрузок в решении задач электроснабжения.....	3
Лабораторная работа № 2 Определение параметров замещения трехобмоточного трансформатора.....	32
Лабораторная работа № 3 Режимы работы нейтрали в электрических сетях.....	41
Лабораторная работа № 4 Определение групп соединения трехфазных трансформаторов.....	57
Лабораторная работа № 5 Защита цеховых электрических сетей предохранителями и автоматическими выключателями.....	65
Лабораторная работа № 6 Основные элементы систем электроснабжения промышленных предприятий.....	77

**Колесник Юрий Николаевич
Рудченко Юрий Александрович**

ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

**Лабораторный практикум
по одноименному курсу для студентов специальностей
1-43 01 03 «Электроснабжение», 1-43 01 07 «Техническая
эксплуатация энергооборудования организаций»,
1-43 01 02 «Электроэнергетические системы и сети»
дневной формы обучения**

Подписано в печать 20.10.09.

Формат 60x84/16. Бумага офсетная. Гарнитура «Таймс».

Ризография. Усл. печ. л. 4,65. Уч.-изд. л. 3,6.

Изд. № 120.

E-mail: ic@gstu.gomel.by

<http://www.gstu.gomel.by>

Отпечатано на цифровом дуплекаторе
с макета оригинала авторского для внутреннего использования.

Учреждение образования «Гомельский государственный
технический университет имени П. О. Сухого».

246746, г. Гомель, пр. Октября, 48.