

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
**«БЕЛГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ им. В.Г. ШУХОВА»**
(БГТУ им. В.Г. Шухова)

Утверждено
научно-методическим советом университета

Кожевников Владимир Павлович

**ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ И
ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ**
ДИСЦИПЛИНЫ

ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ПРЕДПРИЯТИЙ И ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ

направление подготовки:

13.03.01 – Теплоэнергетика и теплотехника

Направленность программы (профиль):
Энергообеспечение предприятий

Квалификация
Бакалавр

Форма обучения
**очной, заочной и заочной с применением
дистанционных технологий**

Институт Энергетический

Кафедра Энергетики теплотехнологии

2
ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРАВИЛА БЕЗОПАСНОСТИ ДЛЯ СТУДЕНТОВ, РАБОТАЮЩИХ В ЛАБОРАТОРИИ «ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ»	3
ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ	3
Лабораторная работа №1. ИССЛЕДОВАНИЕ НАГРЕВА ПРОВОДНИКОВ И ИЗНОСА ИХ ИЗОЛЯЦИИ ПРИ ЗАЩИТЕ ПЛАВКИМИ ПРЕДОХРАНИТЕЛЯМИ	5
Лабораторная работа №2. ИССЛЕДОВАНИЕ ГРАФИКОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК	13
Лабораторная работа №3. ИССЛЕДОВАНИЕ ПОТРЕБЛЕНИЕ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ АСИНХРОННЫМ ДВИГАТЕЛЕМ	21
Лабораторная работа №4. ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАЩИТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕПЛОВЫХ И ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ РАСЦЕПИТЕЛЕЙ АВТОМАТИЧЕСКИХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ	26
Лабораторная работа №5 ИССЛЕДОВАНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ПЕТЛИ ФАЗА-НУЛЬ В СЕТЯХ ДО 1 КВ	29
Лабораторная работа №6. ЗАЩИТА СЕТЕЙ И УСТАНОВОК НАПРЯЖЕНИ- ЕМ ДО 1 кВ. С ПОМОЩЬЮ АВТОМАТИЧЕСКИХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ И ПРЕДОХРАНИТЕЛЕЙ	35
Лабораторная работа №7. ВЫБОР МОЩНОСТИ И МЕСТА УСТАНОВКИ КОМПЕНСИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ И ТРАНСФОРМАТОРОВ НА ЦЕХОВЫХ ПОДСТАНЦИЯХ	39
Лабораторная работа №8. УЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ	44
Лабораторная работа №9. ИССЛЕДОВАНИЕ НАГРЕВА ТОКОВЕДУЩИХ ЧАСТЕЙ ВЫКЛЮЧАТЕЛЯ	52
ПРИЛОЖЕНИЯ	55
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	70

ПРАВИЛА БЕЗОПАСНОСТИ ДЛЯ СТУДЕНТОВ, РАБОТАЮЩИХ В ЛАБОРАТОРИИ «ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ПРЕДПРИЯТИЙ И ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ»

Ответственность за выполнение правил техники безопасности возлагается на преподавателей, проводящих занятия в лаборатории. К работе допускаются студенты после получения инструктажа по технике безопасности и изучения инструкций с отметкой в журнале инструктажа под роспись.

В лаборатории необходимо выполнять следующие правила:

- работать только за специально оборудованными столами и стендами;
- не касаться одновременно отопительных батарей и приборов, могущих оказаться под напряжением;
- токоведущие части и провода установок изолировать от возможного прикосновения при работе.

При проведении лабораторных работ запрещается:

- работать без предварительно составленной схемы и подготовки к ней проводов;
- пользоваться неисправным инструментом и оборудованием;
- включать под напряжение схему без предварительной проверки и разрешения преподавателя;
- производить пересоединение в электрических схемах под напряжением;
- оставлять без наблюдения схему, находящуюся под напряжением;
- снимать и перевешивать предупреждающие или запрещающие плакаты или знаки;
- загромождать рабочее место посторонними вещами;
- заходить за стенды;
- ходить без дела по лаборатории и отвлекать товарищей;
- оставлять схемы включенными после окончания работ.

Если произошел несчастный случай, необходимо:

- снять напряжение со схемы;
- оказать первую помощь пострадавшему;
- сообщить о случившемся преподавателю;
- при необходимости вызвать скорую помощь по телефону 03.

ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Методические указания содержат описание и указания по выполнению лабораторных работ по основным разделам курса "Электроснабжение предприятий и электрооборудование". В описании каждой лабораторной работы приводятся цель выполнения работы, схема и особенности лабораторного стенда, программа и методика выполнения работы, указания по оформлению отчета.

Выполнение лабораторных работ, включенных в методические указания, способствует закреплению и углублению знаний студентов, лучшему усвоению теоретического материала. Все работы носят расчетно-экспериментальный характер.

Каждая лабораторная работа состоит из двух частей - подготовительной и экспериментальной и выполняется в два этапа.

Подготовительный этап. Перед выполнением очередной лабораторной работы студента проводят предварительную подготовку: знакомятся с содержанием предстоящей работы, уясняют ее цель и назначение; прорабатывают теоретический материал по рекомендуемой литературе, отвечая при этом на контрольные вопросы; продумывают план проведения работы; составляют предварительный отчет со схемами, таблицами, необходимыми для расчетов формулами. При отсутствии предварительного отчета студент к работе не допускается.

Экспериментальный этап. Экспериментальная часть работы выполняется бригадой студентов в составе 2-3 человек на лабораторных стендах. Лабораторные стенды представляют собой модели элементов системы электроснабжения. На лицевой стороне стенда рельефно изображена схема коммутации, установлены коммутационные аппараты и измерительные приборы.

На основе предварительного отчета, конкретного задания и кратких методических указаний проводится сборка схемы и сам эксперимент. При составлении схемы сначала рекомендуется собрать главную последовательную цепь, а затем выполнить соединение параллельных цепей. После сборки схемы и ее проверки следует проконтролировать правильность положения ручек регуляторов и переключателей, а также положения стрелок измерительных приборов на нулевой отметке шкалы.

Собранную и проверенную схему необходимо предъявить руководителю лабораторных работ и только после его разрешения можно включать установку. При включении под напряжение схемы необходимо следить за поведением приборов, при резких ударах стрелок приборов схема должна быть немедленно отключена от источника питания.

При проведении эксперимента нужно снять необходимые показания приборов, выполнить требуемые расчеты и занести их в соответствующие таблицы предварительного отчета. В отчете необходимо сделать анализ результатов измерений и расчетов, построить необходимые графики, векторные диаграммы и сделать выводы по лабораторной работе в соответствии с заданным вариантом. По окончании работы схема должна быть разобрана и рабочий стол подготовлен для другой бригады. Отчет о лабораторной работе, подписанный студентом, предъявляется руководителю занятий для отметки о выполнении эксперимента.

При подготовке к защите работы студенты должны продумать ответы на контрольные вопросы, приводимые в конце каждой работы.

Образец титульного листа отчета приведен в Приложении 1. В приложениях 2-9 приведены справочные данные, необходимые при выполнении некоторых работ (защитные характеристики коммутационно-защитных аппаратов,

технические характеристики автоматических выключателей и другие справочные данные).

Лабораторная работа №1

ИССЛЕДОВАНИЕ НАГРЕВА ПРОВОДНИКОВ И ИЗНОСА ИХ ИЗОЛЯЦИИ ПРИ ЗАЩИТЕ ПЛАВКИМИ ПРЕДОХРАНИТЕЛЯМИ

Цель работы:

1. Исследование нагрева проводников различных сечений с различными длительно допустимыми токами; определение установившегося превышения температуры и постоянной времени нагрева проводника.
2. Ознакомление с методикой построения расчетной защитной характеристики проводников и определение износа изоляции проводников при защите предохранителями.
3. Выбор плавких предохранителей для защиты проводников.

Программа и методика исследования.

1. Подготовительная часть.
 - .Ознакомиться с процессами нагрева проводников электрическим током и их охлаждения методом измерения температуры.
 - .Выявить зависимость старения изоляции проводников от их нагрева.
2. Экспериментальная часть и обработка результатов
 - .Ознакомиться с лабораторным стендом.
 - .Собрать схему (рис. 1.1) для исследования нагрева проводников.
 - 2.3.Определить опытным путем установившееся превышение температуры нагрева и постоянную времени нагрева проводников, указанных в табл. 1.1.
 - .Определить характер охлаждения одного из проводников (по указанию руководителя). Сравнить постоянную времени по результатам опытов нагрева и охлаждения.
 - .Построить расчетную защитную характеристику одного из исследуемых проводников (по указанию руководителя).
 - .Выбрать номинальный ток плавкой вставки предохранителя для защиты исследуемого проводника и построить ее защитную характеристику в од- них координатных осях с расчетной характеристикой исследуемого проводника.
 - .Определить относительный износ изоляции исследуемого проводника в зоне токов перегрузки и короткого замыкания при защите выбранным предохранителем.

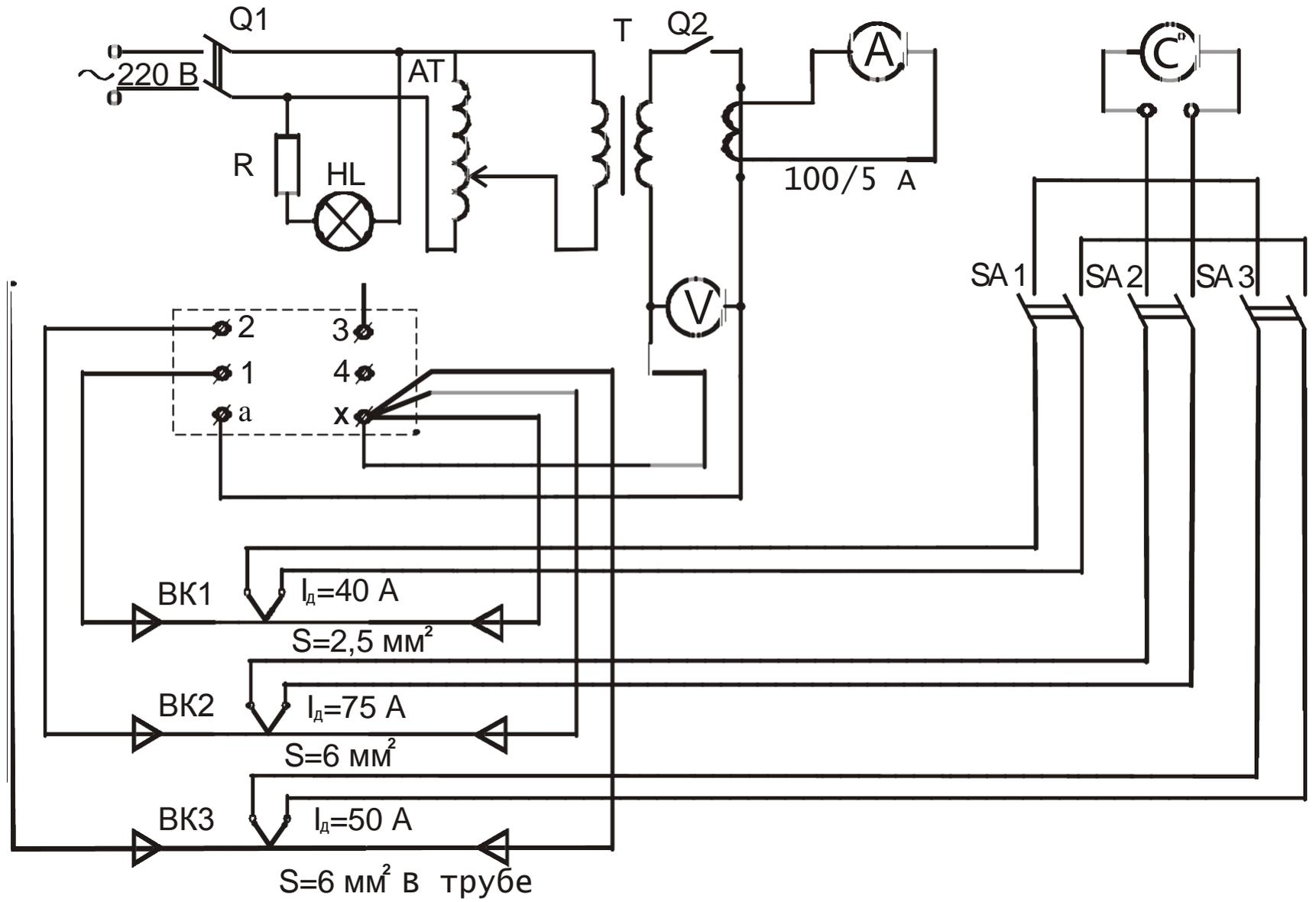


Рис. 1.1. Схема лабораторного стенда для исследования нагрева проводников.

Таблица 1.1

№ проводника	Сечение и материал	Вид изоляции	Характер Прокладки	Допустимый ток, А
1	$S=2,5 \text{ мм}^2$, Медный	полихлорвинил	Открыто, на Воздухе	40
2	$S=6 \text{ мм}^2$, Медный	пропитанная бумага	Открыто, на Воздухе	75
3	$S=6 \text{ мм}^2$, Медный	резина	в трубе	50

Краткие методические указания

1. Для выполнения работы изучить материал по [2 §5.1,7.3; 3 §2.2; 8 §3.3,10.2].
2. Необходимая величина тока в исследуемых проводниках устанавливается посредством лабораторного автотрансформатора. Температура жил проводников измеряется с помощью термопар через каждые 0,5-1 мин. до установившегося значения.
3. Постоянная времени нагрева (охлаждения) T исследуемого проводника определяется графическим методом по построенной экспериментальной характеристике нагрева (охлаждения) $\tau_k = f(t)$ при значении $\tau_t = 0.632\tau_y$, при нагреве и $\tau_t = 0.368\tau_y$ при охлаждении (рис. 1.2).

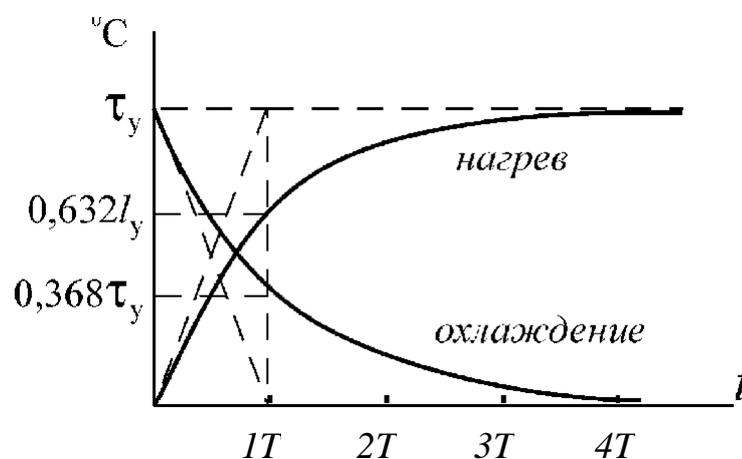


Рис. 1.2. Процесс нагрева проводника электрическим током.

Постоянную времени нагрева можно определить, зная мощность потерь P_0 при температуре окружающей среды Θ_0 , температурный коэффициент сопротивления α коэффициент теплоотдачи K_T , поверхность охлаждения F_0 и теплоемкость C .

$$T = \frac{C}{K_T F_0 - \alpha P_0} \quad (1.1)$$

Наименьшую постоянную времени имеет процесс остывания при полном снятии нагрузки ($P=0$).

$$T = \frac{C}{K_T F_0} \quad (1.2)$$

4. При нагреве проводников определяется превышение температуры нагрева проводника над температурой окружающей среды.

5.

$$\tau = \Theta_{\Pi} - \Theta_C \quad (1.3)$$

где τ - превышение температура; Θ_{Π} - температура нагретого проводника; Θ_C - температура окружающей среды.

Допустимая температура нагретого проводника в длительном режиме и температура окружающей среды нормируются. Превышение температуры проводника по нормам τ_H определяется:

$$\tau_H = \Theta_{\Pi H} - \Theta_{CH} \quad (1.4)$$

где $\Theta_{\Pi H}$ - допустимая нормами температура нагретого проводника; Θ_{CH} - нормируемая температура окружающей среды.

Допустимые температуры проводников в длительном рабочем режиме, при перегрузках и токах короткого замыкания приведены в Приложении 2. Температура окружающей среды нормируется в зависимости от способа прокладки проводников следующим образом:

- прокладка проводов, кабелей и шин в воздухе $\Theta_{CH} = 25^\circ\text{C}$,
- прокладка кабелей в земле $\Theta_{CH} = 15^\circ\text{C}$.

Превышение установившейся температуры при токах, отличающихся от номинального (длительно допустимого).

$$\tau_y = \tau_H \left(\frac{I}{I_H} \right)^2 \quad (1.5)$$

Температура проводника, не нагружавшегося током, равна температуре окружающей среды. Нагрев проводника до установившейся температуры подчиняется экспоненциальному закону.

$$\tau_t = \tau_y \left(1 - e^{-\frac{t}{T}}\right) \quad (1.6)$$

где τ_t – превышение температуры проводника в момент времени t , °С; τ_y – установившееся превышение температуры проводника, °С; T – постоянная времени нагрева проводника, °С; e – основание натуральных логарифмов.

Если проводник до нагрева током I был нагрет до установившегося превышения температуры τ_0 , то его дальнейший нагрев происходит по уравнению:

$$\tau_t = \tau_y \left(1 - e^{-\frac{t}{T}}\right) + \tau_0 e^{-\frac{t}{T}} \quad (1.7)$$

5. Расчетная защитная характеристика проводника показывающая допустимое время " t " протекания токов перегрузки и короткого замыкания по проводнику при условии обеспечения нормального срока службы изоляции проводника, т.е., чтобы температура нагрева проводника в этих режимах не превышала допустимого значения, строится при токах (2, 3, 5, 7, 10, 20) $I_{НОМ}$.

Для построения расчетной защитной характеристики проводника последнее уравнение решается относительно « t ».

$$t = T \ln \frac{\tau_y - \tau_0}{\tau_y - \tau_t} = T \ln \frac{\tau_y - \tau_0}{\tau_y - \tau_m} \quad (1.8)$$

При этом принимается, что $\tau_0 = \tau_H$ – превышение температуры нагрева проводника по нормам при протекании длительно допустимого тока, °С, $\tau_y = \tau_H (I/I_H)$ – установившееся превышение температуры при выбранных значениях тока; $\tau_t = \tau_{ДП}$ – допустимое превышение температуры проводника при протекании тока перегрузки, °С; $\tau_t = \tau_m$ – максимальное допустимое превышение температуры проводника при протекании тока КЗ, °С; $\Theta_{CH} = 25$ °С.

Результаты расчета заносятся в табл. 1.2.

Таблица 1.2

Этап Расчета	I/I_H	Режим перегрузки				Режим КЗ	
		2	3	5	7	10	20
Расчет защитной характеристики проводника	$(I/I_H)^2$	4	9	25	49	100	400
	$\tau_H = \Theta_{ПН} - \Theta_{СН}$						
	$\tau_y = \tau_H (I/I_H)^2$						
	$(\tau_y - \tau_0)$						
	$(\tau_y - \tau_t)$						
	$(\tau_y - \tau_0) / (\tau_y - \tau_t)$						
	$\ln(\tau_y - \tau_0) / (\tau_y - \tau_t)$						
	$t = T \ln(\tau_y - \tau_0) / (\tau_y - \tau_t)$						
Расчет износа изоля- ции проводника	$e^{-t_0/T}$						
	$T e^{-t_0/T}$						
	$1 - e^{-t_0/T}$						
	$\tau_y (1 - e^{-t_0/T})$						
	$\tau_t = \tau_y (1 - e^{-t_0/T}) + \tau_0 e^{-t_0/T}$						
	I						

Примечание. При расчете защитной характеристики проводника вместо τ_t подставляется $\tau_{ДП}$ или τ_m (см. пояснения п.5). При расчете износа изоляции за время t_0 берется время срабатывания предохранителя по защитной характеристике.

6. Выбор номинального тока плавкой вставки предохранителя проводится по длительно допустимому току $I_{Доп}(I_H)$ и пиковому току $I_{Пик}$ (принять $I_{Пик} = 5I_{Доп}$). Защитную характеристику предохранителя и защищаемого проводника построить в одних координатах. Защитные характеристики предохранителей ПН-2 приведены в Приложении 3.

7. Относительный износ изоляции исследуемого проводника определяется в зоне токов перегрузки и короткого замыкания по формуле:

$$I = 2 \frac{(\tau_t - \tau_H)}{8} \quad (1.9)$$

Контрольные вопросы.

1. Как влияет величина тока на нагрев проводника?
2. Что называется превышением температуры проводника?
3. Как определяется установившееся превышение температуры проводника?
4. Какие методы измерения температуры нагретого тела вам известны? В каких случаях применяются те или иные методы измерения температуры?
5. Что называется постоянной времени нагрева проводника? От каких параметров проводника она зависит?
6. Как определяется постоянная времени нагрева проводника?
7. Назовите допустимые температуры нагрева проводников при длительно допустимом токе, при кратковременных перегрузках и при токах короткого замыкания?
8. Что значит термин «адиабатический нагрев»? Как определяется температура проводника при адиабатическом нагреве?
9. Что представляет собой расчетная защитная характеристика проводника?
10. Как рассчитывается и строится защитная характеристика проводника?
11. Как выбирается плавкий предохранитель для защиты проводников?
12. Как оценивается и определяется износ изоляции проводника?
13. Определите температуру проводника и величину относительного износа изоляции проводника при двукратном токе перегрузки при защите выбранным предохранителем?
14. Как происходит охлаждение проводника?
15. Как определить мощность потерь в проводнике?

Лабораторная работа №2

ИССЛЕДОВАНИЕ ГРАФИКОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК

Цель работы.

1. Снятие, построение и исследование графиков нагрузки.
2. Определение величин и коэффициентов, характеризующих графики электрических нагрузок.

Программа и методика исследования.

1. Подготовительная часть.
 - .Ознакомиться с методами построения сменных и суточных графиков электрических нагрузок, графиков потребления электроэнергии.
 - .Выявить, какие приемники потребляют активную и реакт. мощности.
 - 1.3. Уяснить назначение составления графиков электрических нагрузок.

1.4. Ознакомиться с коэффициентами, характеризующими графики электрических нагрузок и величинами, которые могут быть определены из графиков электрических нагрузок.

2. Экспериментальная часть и обработка результатов

. Ознакомиться с лабораторным стендом.

. Собрать схему для исследования графиков электр. нагрузок (рис. 2.1).

2.3. Снять графики электрических нагрузок $P=f(t)$, $Q=f(t)$ (12 измерений).

Построить графики активной, реактивной и полной мощностей для вариантов, приведенных в табл. 2.1 (по указанию преподавателя).

. Результаты замеров и расчета мощностей и энергии заносятся в табл. 2.2.

При определении W_a и W_p время принимать в часах в зависимости от вида графика.

. По построенным графикам нагрузки определить основные величины и расчетные коэффициенты:

- Максимумы активной и реактивной нагрузок;
- Среднюю и номинальную активную мощность;
- Среднеквадратичную активную мощность;
- Потребление активной и циркуляцию реакт энергии за указанный период;
- Число часов использования максимумов активной и реактивной нагрузки;
- Коэффициент мощности в период максимальной нагрузки и средневзвешенный коэффициент мощности по графику нагрузки;
- Коэффициент использования;
- Коэффициент максимума;
- Коэффициент спроса;
- Коэффициент формы графика;
- Коэффициент заполнения графика;

Результаты определения расчетных величин и коэф. занести в табл. 2.3.

Таблица 2.1

№ варианта	K_U	K_I	Вид графика
1	400/230	3000/5	Сменный
2	690/230	1600/5	Сменный
3	400/230	3200/5	Суточный
4	690/230	2000/5	Суточный
5	6300/230	200/5	Сменный
6	6300/230	160/5	Суточный
7	10000/230	160/5	Сменный
8	10000/230	160/5	Суточный
9	400/230	4000/5	Сменный
10	400/230	4000/5	Суточный

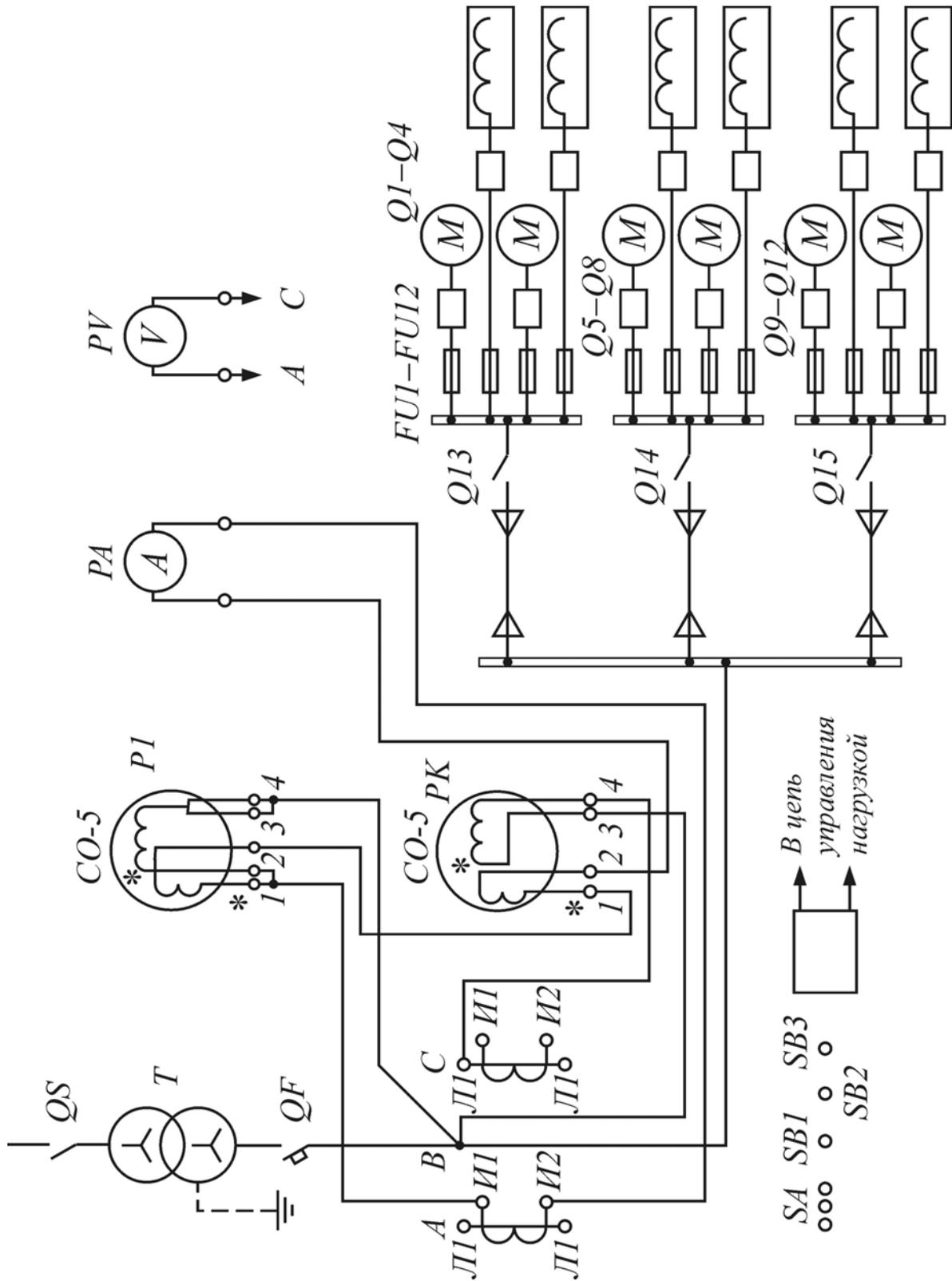


Рис. 2.1. Схема стенда исследования графиков электрических нагрузок.

Таблица 2.2

№ п/п	Вре- мя T		Число обо- ротов диска счетчика		$C_{сч}$	I, A	K_I	U, B	K_U	$P, кВт$	$Q, кВ·А$	$S, кВ·А$	$W_a, кВт·ч$	$W_p, кВ·Ар·ч$
	с	час	активной энергии	реактив- ной энергии										
1														
2														
3														
4														
5														
6														
7														
8														
9														
10														
11														
12														

Таблица 2.3

Определяемая величина		Формула определения	Результат определения
1		2	3
1	Активная мощность нагрузки	$P = W_a / t$	
2	Реактивная мощность нагрузки	$Q = W_p / t$	
3	Максимум актив- ной нагрузки	$P_M = I^*$	
4	Максимальная ре- активная нагрузка	$Q_M = I^*$	
5	Полная мощность	$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$	
6	Номинальная мощ- ность	$P_{НОМ} = 2^*$	

7	Средняя мощность	$P_{CP} = W/T$	
8	Средняя мощность за наиболее загруженную смену	$P_{CM} = W_{CM}/T_{CM}$	
9	Среднеквадратичная активная мощность	$P_{ck} = \sqrt{\frac{\sum P_i^2 t_i}{\sum t_i}}$	
10	Потребление активной энергии	$W_a = \sum P_i t_i$	
11	Циркуляция реактивной энергии	$W_p = \sum Q_i t_i$	
12	Число часов использования максимумов активной и реактивной нагрузки	$T_a = W_a/P_M$ $T_p = W_p/Q_M$	
13	Коэффициент мощности в период максимума активной нагрузки	$\cos \varphi_M = P_M/S_M$	
14	Средневзвешенный коэффициент мощности	$\cos \varphi_{св} = \frac{W_a}{\sqrt{W_a^2 + W_p^2}}$	
15	Коэффициент использования	$K_{И} = P_{CM}/P_{НОМ}$	
16	Коэффициент максимума	$K_M = P_M/P_{CM}$	
17	Коэффициент формы графика	$K_{\Phi} = P_{CK}/P_{CM}$	
18	Коэффициент заполнения графика	$K_{ЗГ} = P_{CP}/P_M$	
19	Коэффициент спроса	$K_C = P_M/P_{НОМ}$	
20	Среднеквадратичное отклонение графика нагрузки	$\sigma = \sqrt{P_{ck}^2 - P_{cp}^2}$	

Примечания: 1* - значения выбираются по графику; 2* - обычно $P_{НОМ}$ известна. В лабораторной работе определить номинальную мощность, приняв $K_C=0.8$.

Краткие методические указания.

1. Для выполнения работы изучить материал по [1, §2.1 – 2.10; 2 §5.2, 5.9; 3 §2.3, 2.4; 5 §18.4].
2. Напряжение на стенд подается включением выключателя Q, а на исследуемую нагрузку - выключателем QF. Нагрузка подключается автоматически командоаппаратом с шаговым искателем, который управляется кнопками SB1 (пуск), SB2 (стоп), SB3 (возврат в исходное положение). Для измерения потребляемой активной энергии и циркулируемой реактивной энергии используются два однофазных индукционных счетчика активной энергии типа СО-5.
3. Возможность измерения реактивной энергии цепи трехфазного тока счетчиком активной энергии вытекает из следующих соображений (рис. 2.2).

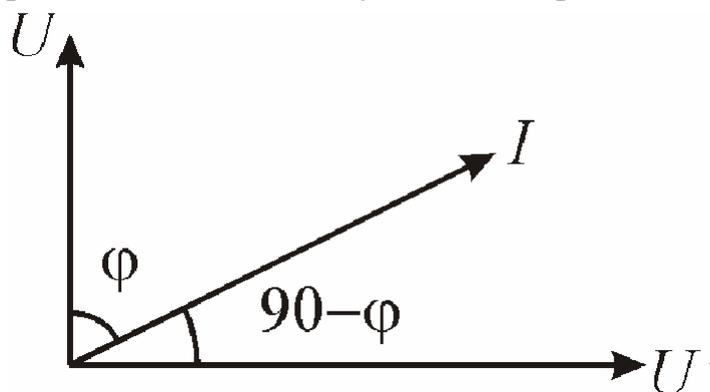


Рис. 2.2. Векторная диаграмма счетчика активной энергии, включенного для измерения реактивной энергии.

Энергия регистрируемая однофазным счетчиком активной энергии за время t , определяется током I его последовательной катушки, напряжением U , приложенным к его параллельной цепи и косинусом угла сдвига между током I и напряжением U .

$$W_a = P \cdot t = I \cdot U \cdot \cos \varphi \cdot t \quad (2.1)$$

Если такой счетчик включить так, чтобы между током I его последовательной катушки и напряжением U' на его параллельной цепи был угол сдвига $90^\circ - \varphi$, то счетчик будет измерять реактивную энергию.

$$W_p = Q \cdot t = I \cdot U' \cdot \cos(90 - \varphi) \cdot t = I \cdot U' \cdot \sin \varphi \cdot t \quad (2.2)$$

В четырехпроводных цепях трехфазного тока измерение энергии может осуществляться тремя однофазными счетчиками, показания которых складываются. При симметричной нагрузке достаточно измерить энергию в одной фазе и показание счетчика умножить на соответствующий множитель (рис. 2.3).

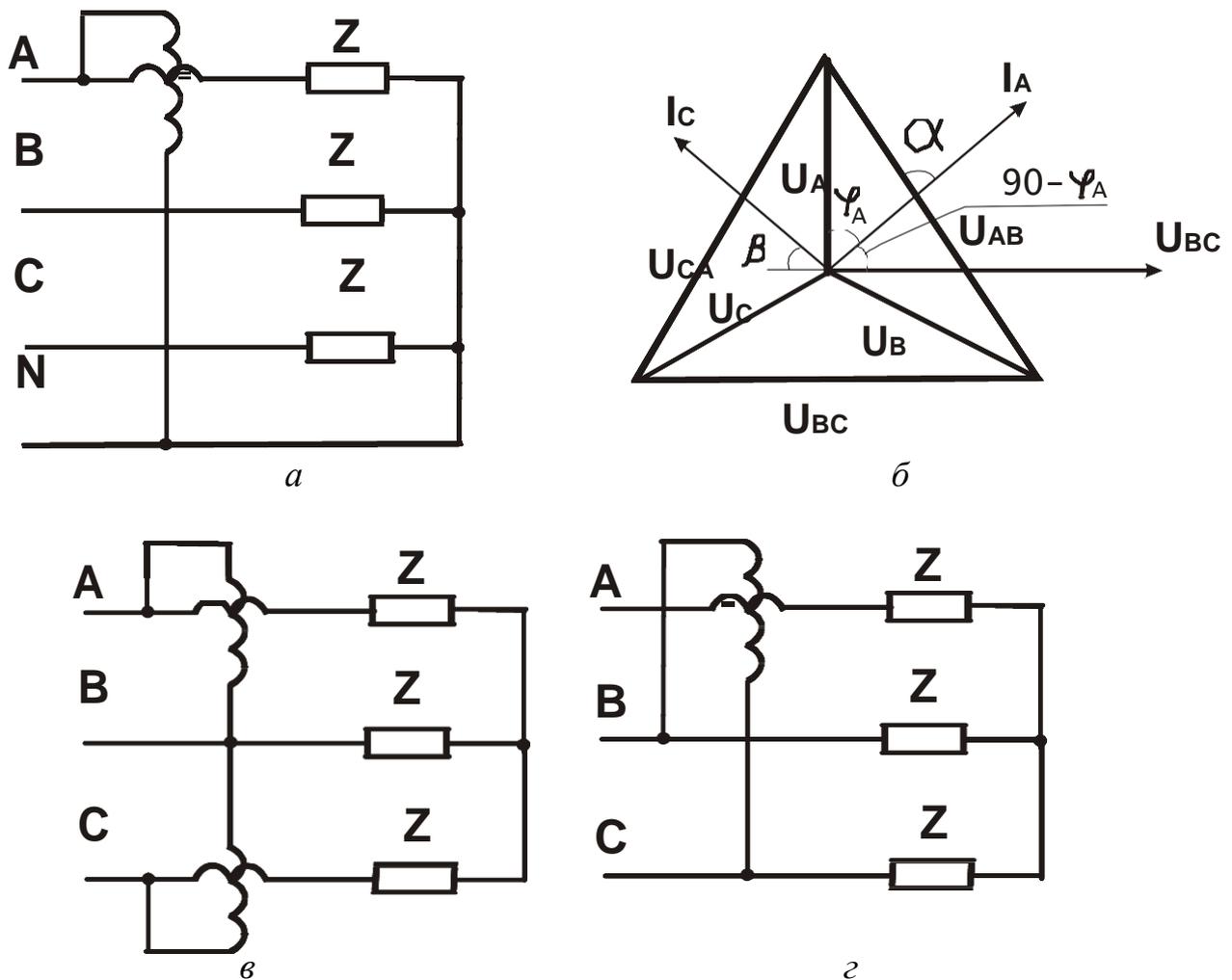


Рис. 2.3. Измерение тока в трехфазной симметричной цепи: а) включение однофазного счетчика активной энергии в четырехпроводной цепи; б) векторная диаграмма тока и напряжений; в) включение двух однофазных счетчиков активной энергии в четырехпроводной цепи; г) включение однофазного счетчика активной энергии для измерения реактивной энергии в трехпроводной цепи.

При измерении активной энергии в четырехпроводной цепи однофазным счетчиком:

$$W_{\phi a} = W_{C\phi} = I_a \cdot U_a \cdot \cos \varphi_a \cdot t = P_{\phi} \cdot t \quad (2.3)$$

$$W_a = 3 \cdot P_{\phi} \cdot t = 3 \cdot W_{C\phi} \quad (2.4)$$

Измерение активной энергии в трехпроводной цепи, как правило, осуществляется с помощью двух счетчиков:

$$W_a = W_{C\phi 1} + W_{C\phi 2} = I_A \cdot U_{AB} \cdot \cos \alpha \cdot t + I_C \cdot U_{CB} \cdot \cos \beta \cdot t \quad (2.5)$$

При симметричной нагрузке:

$$W_a = I_A \cdot U_{AB} \cdot \cos(\varphi + 30) \cdot t + I_C \cdot U_{CB} \cdot \cos(\varphi - 30) \cdot t \quad (2.6)$$

Если при изменении активной энергии использовать только один счетчик, полагая $U_{AB} = U_{CB}$, $I_A = I_C$, его показания удваиваются:

$$\begin{aligned} W_a &= 2 \cdot W_{CЧ} = I_L \cdot U_L \cdot t \cdot [\cos(\varphi + 30) + \cos(\varphi - 30)] = \\ &= \sqrt{3} \cdot I_L \cdot U_L \cdot \cos \varphi \cdot t. \end{aligned} \quad (2.7)$$

При измерении реактивной энергии в трехпроводной цепи счетчиком активной энергии:

$$W_{CЧ} = I_A \cdot U_{BC} \cdot \cos(90 - \varphi) \cdot t = \sqrt{3} \cdot I_\Phi \cdot U_\Phi \cdot \sin \varphi \cdot t = \sqrt{3} \cdot Q_\Phi \cdot t = \sqrt{3} \cdot W_{\Phi P} \quad (2.8)$$

$$W_P = 3 Q_\Phi t = 3 W_{CЧ} / (\sqrt{3}) = \sqrt{3} W_{CЧ}. \quad (2.9)$$

Здесь $W_{CЧ}$ – показания счетчика; W_a, W_P – активная и реактивная энергия в трехфазной цепи; $W_{\Phi a}$ и $W_{\Phi P}$ – активная и реактивная энергия в одной фазе.

При включении счетчиков через измерительные трансформаторы должны быть учтены коэффициенты трансформаторов измерительных трансформаций.

4. Имитирующая нагрузка на стенде маломощная, поэтому израсходованную энергию по показаниям счетчиков определять трудно.

Целесообразно определять измеряемую энергию по постоянной счетчика и числу его оборотов за время измерения энергии.

Постоянная счетчика $C_{CЧ}$ численно равна энергии, израсходованной в сети за время одного оборота диска:

$$C_{CЧ} = 3600 \cdot 1000 / N, \quad \text{Вт} \cdot \text{с} / \text{об}. \quad (2.10)$$

Например, на щитке написано «1кВт/ч=2500 оборотов», тогда постоянная $C_{CЧ}$ будет равна:

$$C_{CЧ} = 3600 \text{ сек} \cdot 1000 \text{ Вт} / 2500 \text{ об} = 1440 \text{ Вт} \cdot \text{с} / \text{об}.$$

Контрольные вопросы.

1. Как снимаются и строятся графики нагрузки предприятия в условиях эксплуатации?
2. Как определяется максимальная нагрузка предприятия при проектировании в условиях эксплуатации?
3. Как определяется коэффициент спроса и какие факторы он учитывает? Область применения K_C .
4. Что характеризует коэффициент формы графика? Как он определяется? Область применения K_Φ .
5. Как определяется коэффициент максимума? Как и когда он используется?
6. Как определяется средневзвешенное значение коэффициента мощности? Где и для чего используется $\cos\varphi_{CB}$.
7. Как определить число часов использования максимума нагрузки? Объяснить смысл и область применения T_M .
8. Как определить коэффициент реактивной мощности? Его разновидности смысл и область применения?
9. Как включается однофазный счетчик активной энергии для учета реактивной энергии? Пояснить принцип измерения реактивной энергии в полученной схеме.
10. Что представляет собой постоянная счетчика, как она определяется? Каково её практическое значение?
11. Какие виды расчётной нагрузки (на примере активной мощности) вы знаете? Область их применения.

Лабораторная работа №3

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОТРЕБЛЕНИЯ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ АСИНХРОННЫМ ДВИГАТЕЛЕМ

Цель работы.

1. Исследование работы электродвигателя, как потребителя электроэнергии в зависимости от его загрузки, изучение методики снятия экспериментальной характеристики $\cos\varphi = f(P_H)$.
2. Исследование влияния компенсации реактивной мощности на работу асинхронного электродвигателя и питающей его электросети.

Программа и методика исследования.

1. Подготовительная часть.
Ознакомиться с потребителями активной и реактивной мощности.

.Уяснить, для каких целей необходима потребителям реактивная мощность.

.Ознакомиться с устройствами компенсации реактивной мощности потребителей.

.Ознакомиться со способами повышения коэффициента мощности.

2. Экспериментальная часть и обработка результатов.

2.1.Ознакомиться с лабораторным стендом.

.Собрать схему для исследования работы асинхронного электродвигателя (рис. 3.1).

.Снять рабочую характеристику электродвигателя $\cos\varphi=f(P_H)$. Параметры электродвигателя: $P_{НОМ}=1,7$ кВт, $U_{НОМ}=220$ В, $\cos\varphi_{НОМ}=0,82$, КПД=81,5%.

.На основании полученных результатов построить рабочую характеристику для условного электродвигателя (по вариантам в соответствии с табл.3.1).

Объяснить влияние загрузки двигателя на коэффициент мощности.

.Повторить эксперимент по п. 2.3 после параллельного подключения к обмоткам электродвигателя конденсаторной батареи. Объяснить влияние конденсаторов на коэффициент мощности на выводах электродвигателя.

.Построить расчетную рабочую характеристику условного электродвигателя и сравнить ее с экспериментальными.

Таблица 3.1

Вариант	1	2	3	4	5	6
Коэффициент трансформации трансформаторов тока.	1,0	1,6	2	3	4	5

Краткие методические указания.

1. Для выполнения работы изучить материал по [1 §1.2, 11.2, 11.3; 2 §5.8, 11.1-11.3, 11.10, 11.11].
2. Напряжение на стенд подается выключателем Q1. Трансформатор Т включается выключателем Q2. Исследуемый асинхронный двигатель включается и отключается от сети с помощью магнитного пускателя, кнопка управления которого расположена на стенде.
3. Изменение режима работы электродвигателя от холостого хода до 1.1 номинальной нагрузки при исследовании осуществляется механическим тормозом. Степень изменения тока нагрузки 0,5-1,0 А.

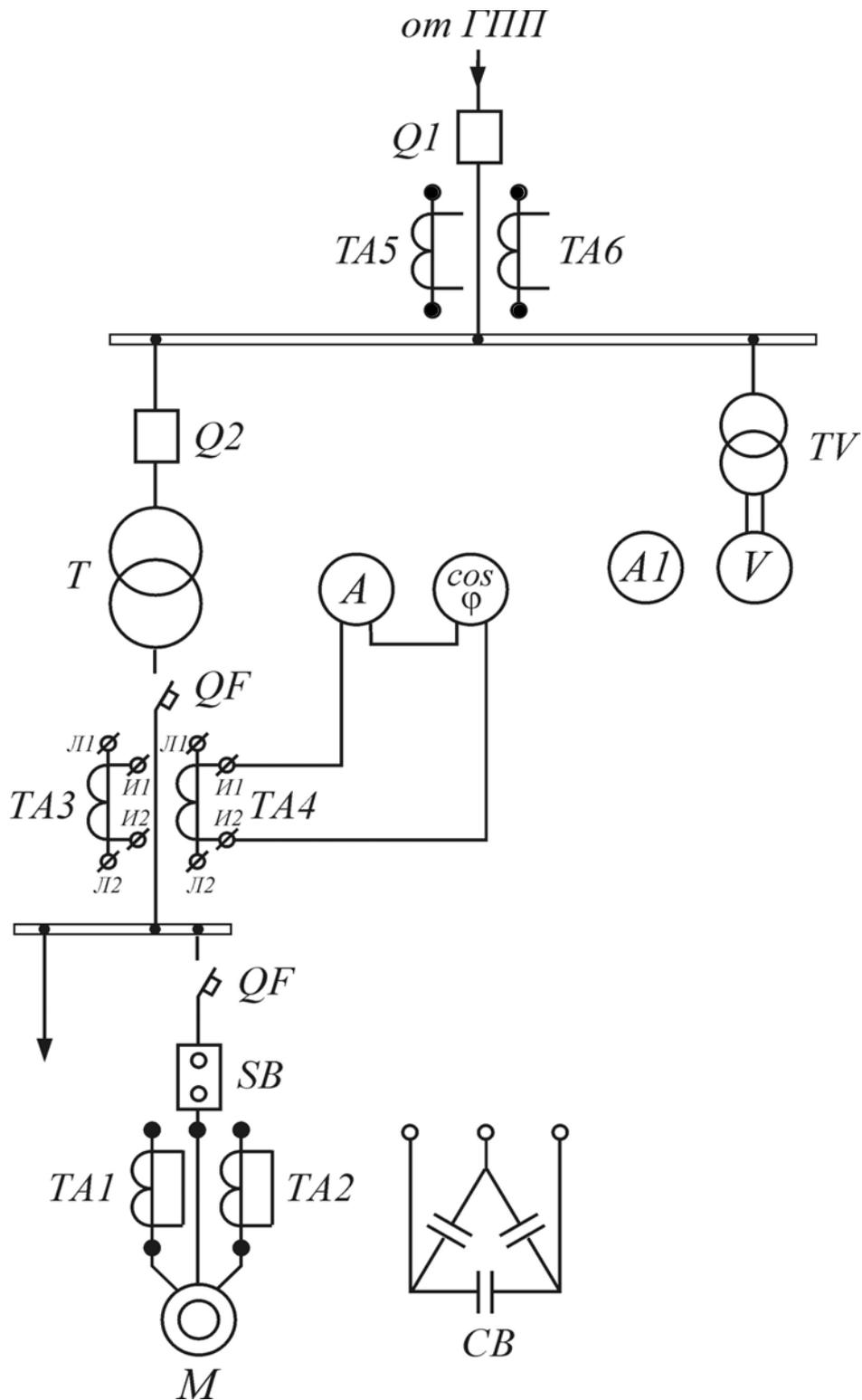


Рис. 3.1. Схема стенда для исследования асинхронного двигателя.

Таблица 3.2

K_3	Результат расчетов					Результаты экспериментов											
	Расчетные величины					без БК						с БК					
	$Q_0, \text{кВ}\cdot\text{Ар}$	$Q_P, \text{кВ}\cdot\text{Ар}$	$Q_D, \text{кВ}\cdot\text{Ар}$	$P, \text{кВт}$	$\cos\varphi$	$U, \text{В}$	K_U	$I, \text{А}$	K_I	$P, \text{кВт}$	$\cos\varphi$	$U, \text{В}$	K_U	$I, \text{А}$	K_I	$P, \text{кВт}$	$\cos\varphi$
0																	
0,1																	
0,2																	
0,3																	
0,4																	
0,5																	
0,6																	
0,7																	
0,8																	
0,9																	
1,0																	
1,1																	

4. Режим работы электродвигателя контролируется по показаниям амперметра и регистратора коэффициента мощности, включаемых в силовую цепь электродвигателя через трансформатор тока, и вольтметра, включаемого через трансформатор напряжения ($K_U=2$).
5. Результаты эксперимента занести в табл. 3.2
6. При выполнении работы необходимо иметь в виду следующее. Реактивная мощность, потребляемая асинхронным электродвигателем в номинальном режиме определяется на основе паспортных данных:

$$Q_{дн} = P_{ном} \cdot \operatorname{tg}\varphi_{ном}, \quad (3.1)$$

где $Q_{дн}$ - реактивная мощность двигателя при нормальной нагрузке; $P_{ном}$ - номинальная мощность двигателя; $\operatorname{tg}\varphi_{ном}$ - тангенс угла φ , соответствующий коэффициенту мощности ($\cos\varphi$) номинальной нагрузке.

Реактивная мощность складывается из мощности, необходимой для создания основного магнитного потока двигателя Q_0 и мощности, необходимой на создание потоков рассеяния Q_P . В режиме, отличающимся от номинального, потребление реактивной мощности определяется выражением:

$$Q_{д} = Q_0 + K_3^2 Q_P \quad (3.2)$$

где K_3 – коэффициент загрузки двигателя по активной мощности.

$$K_3 = P/P_{НОМ}. \quad (3.3)$$

Реактивная мощность Q_0 находится в режиме холостого хода:

$$Q_0 = \sqrt{3} I_{ХХ} U_{НОМ} \cdot 10^{-3} \quad (3.4)$$

В режиме номинальной нагрузки ($K_3=1$) рассчитывается:

$$Q_P = Q_{дН} - Q_0. \quad (3.5)$$

Коэффициент мощности при различной загрузке по мощности определяется по выражению:

$$\begin{aligned} \cos \varphi &= \frac{P}{S} = \frac{K_3 P_{НОМ}}{\sqrt{(K_3 P_{НОМ})^2 + (Q_0 + K_3 Q_P)^2}} = \\ &= \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{Q_0 + K_3^2 Q_P}{K_3 P_{НОМ}}\right)^2}} \end{aligned} \quad (3.6)$$

Контрольные вопросы.

1. Для каких целей потребителям необходима реактивная мощность? Каковы характерные особенности этих потребителей?
2. Назовите основные потребители реактивной мощности?
3. Назовите основные источники реактивной мощности?
4. Почему в электрических сетях необходимо повышать $\cos \varphi$?
5. Как влияет на изменение $\cos \varphi$ подключение источников реактивной мощности? Приведите векторную диаграмму.
6. Назовите способы повышения $\cos \varphi$. Каков характер изменения $\cos \varphi$ с ростом K_3 от х.х. до перегрузки сверх $P_{НОМ}$.
7. Какая часть сети разгружается от реактивного тока при компенсации реактивной мощности?
8. Назовите наиболее выгодный с точки зрения коэффициента мощности режим работы асинхронного электродвигателя?

9. Как влияет степень загрузки электродвигателя на коэффициент мощности?

Докажите это с помощью зависимостей P_D , Q_D , $\cos\varphi_D$ от K_3 .

10. Определите мощность батареи конденсаторов, необходимую для повышения $\cos\varphi$ при вашем варианте K_1 .

Лабораторная работа №4

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАЩИТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕПЛОВЫХ И ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ РАСЦЕПИТЕЛЕЙ АВТОМАТИЧЕСКИХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ

Цель работы.

1. Исследовать защитные характеристики $t=f(I)$ тепловых расцепителей трех полюсов автоматического выключателя.
2. Исследовать защитную характеристику однополюсного автоматического выключателя с тепловой и электромагнитной защитой.

Программа и методика исследования.

1. Подготовительная часть.
 - .Ознакомиться с устройством автоматических выключателей, магнитных пускателей и контакторов.
 - .Ознакомиться с принципом работы тепловых реле, тепловых, электромагнитных и электронных расцепителей автоматических выключателей.
 - .Ознакомиться с методами калибровки защитных аппаратов, методами наладочных испытаний аппаратов.
2. Экспериментальная часть и обработка результатов.
 - 2.1.Ознакомиться с лабораторным стендом.
 - .Собрать схему для исследования защитных аппаратов (рис. 4.1)
 - .Снять и построить защитные характеристики тепловых расцепителей в трех полюсах автоматического выключателя. Снятие защитных характеристик тепловых расцепителей проводятся в каждом полюсе и при нагрузке трех полюсов. Результаты занести в табл. 4.1. определить зону разброса защитных характеристик.
 - .Снять и построить защитную характеристику однополюсного выключателя с тепловой и электромагнитной защитой. Результаты исследования занести в таблицу 4.2. Определить ток срабатывания электромагнитного расцепителя.
 - .Сравнить построенные защитные характеристики автоматических выключателей с типовыми характеристиками (Приложение б).
 - .Определить по полученным характеристикам возможность эксплуатации автоматических выключателей.

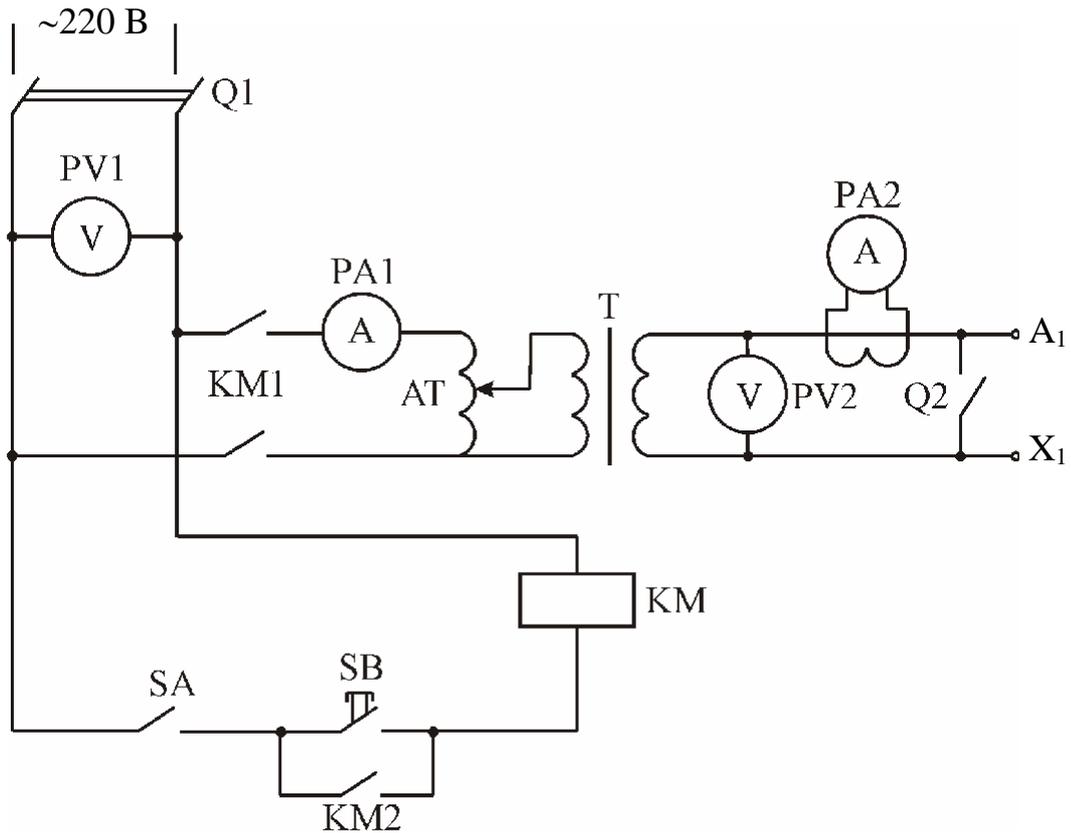


Рис. 4.1. Схема стенда для исследования защитных характеристик автоматических выключателей.

Таблица 4.1

Результаты исследования трехполюсного выключателя						
Испытательный ток, А	$1,5I_{рц.ном}$	$2,0I_{рц.ном}$	$2,4I_{рц.ном}$	$2,8I_{рц.ном}$	$3,2I_{рц.ном}$	$3,6I_{рц.ном}$
Время срабатывания (с) в полюсах	А					
	В					
	С					
	АВС					

Таблица 4.2

Результаты исследования однополюсного выключателя						
Испытательный ток, А	$1,5I_{рц.ном}$	$2,0I_{рц.ном}$	$2,5I_{рц.ном}$	$2,8I_{рц.ном}$	$4,2I_{рц.ном}$	$4,0I_{рц.ном}$
Время срабатывания, с						

Краткие методические указания.

1. Для выполнения работы изучить материал по [7 §16.1, 16.2, 19.4, 20.5; 8 §2.3; 6 §4.1-4.5, 5.7, 5.8].
2. Напряжение на стенд подается выключателем Q. Автотрансформатор АТ включается контактором КМ, управляемым SA. Стенд имеет два поста – для исследования тепловых расцепителей трехполюсного выключателя с зажимами А₁-Х₁ и теплового расцепителя однополюсного выключателя. Для установки величины тока в исследуемом аппарате имеется выключатель Q₁. Контроль тока и напряжения осуществляется по показаниям амперметров и вольтметров. Регулирование токов на зажимах А₁-Х₁ выполняется правой ручкой автотрансформатора. Время срабатывания тепловых элементов аппаратов определяется по секундомеру.
3. Значение испытательного тока и допустимое время срабатывания тепловых расцепителей приведено в табл. 4.3 Перед очередной нагрузкой полюса должно быть обеспечено остывание теплового элемента до температуры окружающего воздуха (время остывания около 4 мин.).
4. При оформлении отчета в табл. 4.1 и 4.2 ток необходимо указать в А.
5. Проверка калибровки тепловых расцепителей на соответствие тепловой характеристике (Приложение 6) может быть проведена при их одновременной нагрузке с последующей полюсной проверкой испытательным током равным 2-3 кратному испытательному току расцепителя.

Время срабатывания тепловых расцепителей может отличаться от времени типовой характеристики до 10%.

При проверке калибровки необходимо учитывать, что время срабатывания тепловых расцепителей зависит от температуры окружающей среды.

Испытательный ток при любой температуре, отличающийся от 25°С можно определить по формуле:

$$I_t = I \sqrt{\frac{\Theta_{cp} - \Theta_t}{\Theta_{cp} - 25}}, \quad (4.1)$$

где I_t – испытательный ток при любой температуре; I – испытательный ток при температуре 25 °С при которой построены типовые характеристики; Θ_{cp} – температура биметалла теплового расцепителя, при которой он срабатывает; Θ_t – температура окружающего воздуха, при которой проводится испытание.

6. В условиях эксплуатации проверка калибровки тепловых расцепителей проводится следующим образом. Полюса выключателя нагружаются испытательным током 1,1 и 1,45 $I_{PЦ.НОМ}$ с холодного состояния. При этом при токе 1.1 $I_{PЦ.НОМ}$ тепловой расцепитель не должен срабатывать в течении 60 мин., а при токе 1.45 $I_{PЦ.НОМ}$ должен срабатывать в течении 60 мин.

Таблица 4.3

№ п/п	Испытательный ток, А		Предельно-допустимое время протекания тока, с	
	$I_{PЦ.НОМ}=15$ А	$I_{PЦ.НОМ}=25$ А	$I_{PЦ.НОМ}=15$ А	$I_{PЦ.НОМ}=25$ А
1	22,5	37,5	300	540
2	30	50	90	120
3	36	60	60	100
4	42	70	40	60
5	48	80	10	45
6	54	100	6	20

Контрольные вопросы.

1. Что называется номинальным током расцепителя?
2. Что называется током уставки расцепителя?
3. Как зависит ток срабатывания теплового реле и теплового расцепителя от температуры?
4. Как проводятся испытания тепловых расцепителей?
5. От каких режимов защищает тепловой расцепитель автоматического выключателя? Как выглядит его защитная характеристика?
6. Приведите защитную характеристику теплового реле, теплового расцепителя. Каими параметрами они характеризуются?
7. Какие расцепители защищают от коротких замыканий? Приведите их защитные характеристики с указанием соответствующих уставок.
8. Приведите защитную характеристику электромагнитного расцепителя. Каим параметром характеризуется выключатель с таким расцепителем?
9. Перечислите виды расцепителей автоматических выключателей, указав функциональное назначение.
10. Сравните защитные характеристики плавкого предохранителя и автоматического выключателя с тепловым и электромагнитным расцепителем. Оцените их достоинства и недостатки на примере защиты АД.

Лабораторная работа №5

ИССЛЕДОВАНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ПЕТЛИ ФАЗА-НУЛЬ В СЕТЯХ ДО 1000 В

Цель работы.

1. Изучить методику определения сопротивления петли фаза-нуль.
2. Ознакомиться с выбором защитных аппаратов для защиты от токов однофазного короткого замыкания.

Программа и методика исследования.

1. Подготовительная часть.
 - .Ознакомиться с заземлителями и заземляющими устройствами в сетях напряжением до 1000 В.
 - .Ознакомиться с расчетом токов однофазного короткого замыкания. Выяснить, какие параметры сети влияют на величину тока однофазного короткого замыкания.
2. Ознакомиться с конструкцией кабелей и шинопроводов, применяемых в цеховых сетях напряжением до 1000 В.
3. Экспериментальная часть и обработка результатов.
 - 3.1.Ознакомиться с лабораторным стендом.
 - .Собрать схему для исследования сопротивления петли фаза-нуль (рис. 5.1).
 - .Определить удельное сопротивление петли фаза-нуль для случаев, указанных в табл. 5.1. результаты исследований занести в табл. 5.1.
 - .Определить токи однофазного короткого замыкания в схеме (рис. 5.2). исходные данные для расчета приведены в табл. 5.2.
 - .Выбрать коммутационно-защитные аппараты (автоматические выключатели и предохранители). Проверить выбранные аппараты на отключение однофазных токов КЗ
 - .Результаты расчета и выбора аппаратов занести в табл. 5.3.

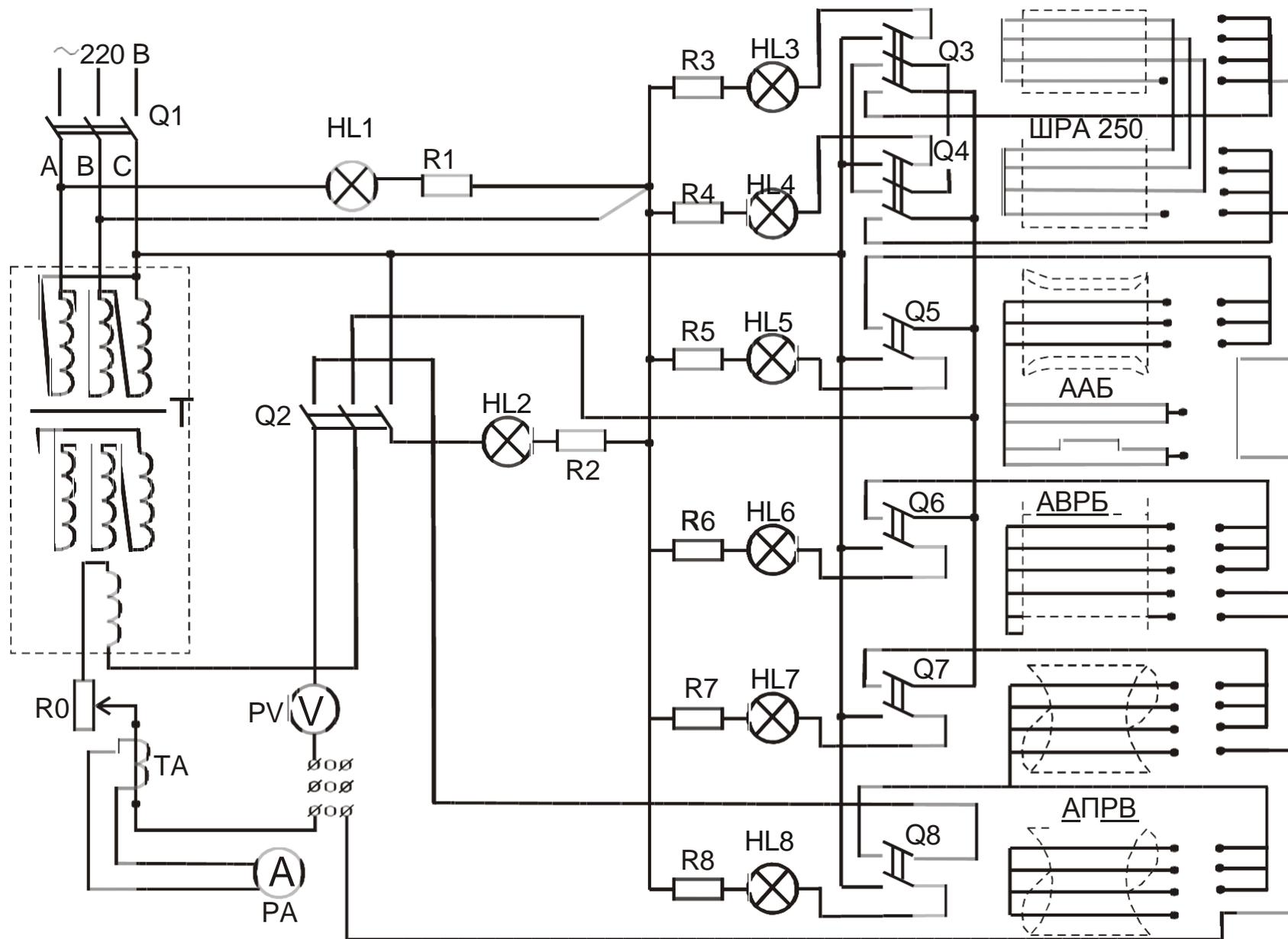


Рис. 5.1. Схема стенда для исследования сопротивления петли «фаза-нуль»

Таблица 5.1

№ линии	№ опыта	Исследуемая линия	Длина, м	Нулевой проводник	Цель петли фаза-нуль	Замерено		Вычислено	
						Ток $I_K^{(1)}$, А	ΔU , В	$Z_{П}$, Ом	$Z_{П.уд}$, Ом
1	1	ШРА-250	10	Шина	А-0				
	2	$I_{ш.ном}=250$			В-0				
	3	А			С-0				
2	4	ШРА-250	10	Кожух	А- кожух				
	5	$I_{ш.ном}=250$			В- кожух				
	6	А			С- кожух				
3	7	Кабель ААБ 3*35 $I_{доп}=135$ А	10	Оболочка	А- обол.				
	8			Броня	А- броня				
	9			Полоса	А- полоса				
	10			Уголок	А- уголок				
4	11	Кабель АВРБ 3*16+1*6 $I_{доп}=60$ А	10	Нулевой провод	А – 0				
	12		10	Броня	А – броня				
5	13	2 провода АПРБ сеч. 4 мм ² в трубе $I_{доп}=250$ А	10	Нулевой провод	А – 0				
	14		10	труба	А – труба				

Таблица 5.2

Мощность трансформатора S_T , кВ·А	250	400	630	1000	1600	
Расчетное полное сопротивление трансформатора при схеме $Y/Y_N Z_T/3$, Ом	0.104	0.065	0.043	0.027	0.017	
Длина линии, м	L_1	20	30	40	50	15
	L_2	10	20	30	40	25
	L_3	15	20	25	30	35
	L_4	10	15	20	30	25
Номинальная мощность электродвигателя, $P_{дв.ном}$, кВт	P_1	2.2	3.	4.0	5.5	7.0
	P_2	1.7	2.2	3.0	4.0	5.5
	P_3	3.0	4.0	5.5	7.5	2.2
	P_4	1.5	2.2	3.0	5.5	4.0

Таблица 5.3

Вариант	№ линии	Нулевой проводник	$S_T, \text{кВ}\cdot\text{А}$	$L, \text{м}$	$P, \text{кВт}$	$I_{НОМ}, \text{А}$	$I_K^{(1)}, \text{А}$	Предохранитель		Выключатель автоматический		Обеспечение отключения $I_K^{(1)}$
								$I_{ПР.НОМ}, \text{А}$	$I_{ВС.НОМ}, \text{А}$	$I_{В.НОМ}, \text{А}$	$I_{РЦ.НОМ}, \text{А}$	
	1											
	2											
	3											
	4											
	QF											

Примечание: Выполнение или невыполнение условий (5.4), (5.7) отобразить в последних двух колонках таблицы символами “+” или “-” соответственно.

Краткие методические указания.

1. Для выполнения работы изучить материал по [2 §6.5, 6.6, 6.10, 7.3; 9 §5.6, 10].
2. Напряжение на стенд подается выключателем Q. включение низковольтного трансформатора производится выключателем Q₂. Ток в цепи трансформатора измеряется амперметром А, напряжение на исследуемых проводниках – вольтметром V. Переключение соответствующих линий осуществляется выключателями Q₃–Q₈.
3. При защите одиночного двигателя или группы электродвигателей предохранителем номинальный ток плавкой вставки выбирают из условия:

$$I_{ВС.НОМ} \geq I_{РСЧ}; \quad (5.1)$$

$$I_{ВС.НОМ} \geq \frac{I_{ПКС}}{K}; \quad (5.2)$$

$$I_{ВС.НОМ} \geq \frac{I_{ПИК}}{K}; \quad (5.3)$$

$$I_{ВС.НОМ} \geq \frac{I_K^{(1)}}{3 \div 4}, \quad (5.4)$$

где $K=1,6 \div 2,5$ – коэффициент, зависящий от условий пуска.

4. При защите группы электроприемников автоматическим выключателем параметры последнего выбирают из условий:

$$I_{В.НОМ} \geq I_{РСЧ}, \quad (5.5)$$

$$I_{РЦ.НОМ} \geq 1,1 I_{РСЧ}, \quad (5.6)$$

$$I_{РЦ.НОМ} \leq \frac{I^{(1)}}{3 \div 4} I_{РСЧ}. \quad (5.7)$$

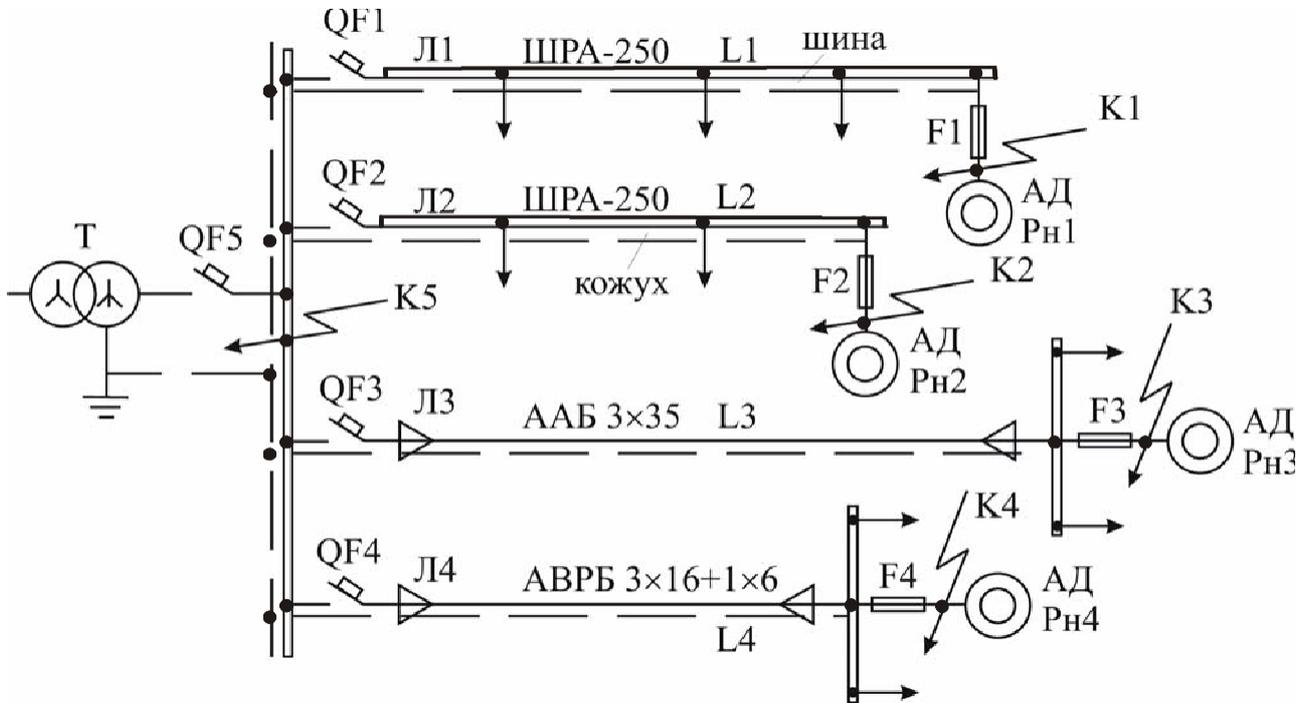


Рис. 5.2. Расчетные точки для определения токов однофазного короткого замыкания в схемах электросети.

Контрольные вопросы.

1. Какое назначение в сетях напряжением до 1000 В имеют заземляющие устройства?
2. Каково назначение нулевого провода в четырехпроводной системе напряжением 380/220 В?
3. Что используют в качестве нулевого провода в четырехпроводной системе?
4. Что применяют в качестве собственных заземлителей и заземляющих проводников?
5. Как выбираются предохранители и автоматические выключатели для обеспечения защиты от однофазных коротких замыканий в сетях напряжением до 1000 В?
6. Каким должно быть сопротивление петли фаза-ноль, наибольшим или наименьшим, для надежной защиты от однофазных КЗ?
7. Какой способ выполнения нулевого провода обеспечивает наибольшее значение тока однофазного КЗ в сети 380/220 В? Почему?

8. Как определяется ток однофазного КЗ?
9. Влияет ли мощность трансформатора на величину тока однофазного КЗ? Каким образом?
10. При каком трансформаторе – большей или меньшей мощности – легче осуществить защиту от однофазного КЗ? Почему?
11. Назовите конструктивные особенности шинопроводов в цеховых сетях до 1000 В?

Лабораторная работа №6

ЗАЩИТА СЕТЕЙ И УСТАНОВОК НАПРЯЖЕНИЕМ ДО 1000 В С ПОМОЩЬЮ АВТОМАТИЧЕСКИХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ И ПРЕДОХРАНИТЕЛЕЙ

Цель работы.

1. Закрепить материал по теме «Защита электроприемников и сетей напряжением до 1000 В».
2. Научиться выбирать автоматические выключатели и предохранители для защиты электродвигателей, группы приемников, цеховой сети и трансформатора.

Программа и методика исследования.

1. Подготовительная часть.
 - .Ознакомиться с методикой выбора аппаратов для защиты сетей и электроустановок напряжением до 1000 В.
 - .Уяснить, какие аппараты могут применяться для защиты сетей и оборудования.
 - .Ознакомиться с испытаниями автоматических выключателей в условиях эксплуатации (при отсутствии испытательных стендов).
 - .Ознакомиться с картой селективности и ее построением.
2. Экспериментальная часть и обработка результатов.
 - 2.1. Ознакомиться с лабораторным стендом.
 - 2.2.Собрать схему включения электродвигателя с помощью автоматического выключателя АП-50 с $I_{PЦ,НОМ}= 4$ А (рис. 6.1). Электродвигатель имеет следующие параметры: $P_{НОМ}=1,0$ кВт, $U_{НОМ}=220$ В, $\cos\varphi=0,77$, $\eta=64,5\%$. Определить пусковой и рабочий токи.
 - 2.3. Собрать схему на рис. 6.1.б, а затем по рис. 6.1.в определить испытательный ток и время срабатывания расцепителя автоматического выключателя АП-50. Результаты занести в табл. 6.1.

Проверить соответствие выключателя типовой защитной характеристике (Приложение 7). Определить правильность выбора выключателя для защиты электродвигателя.

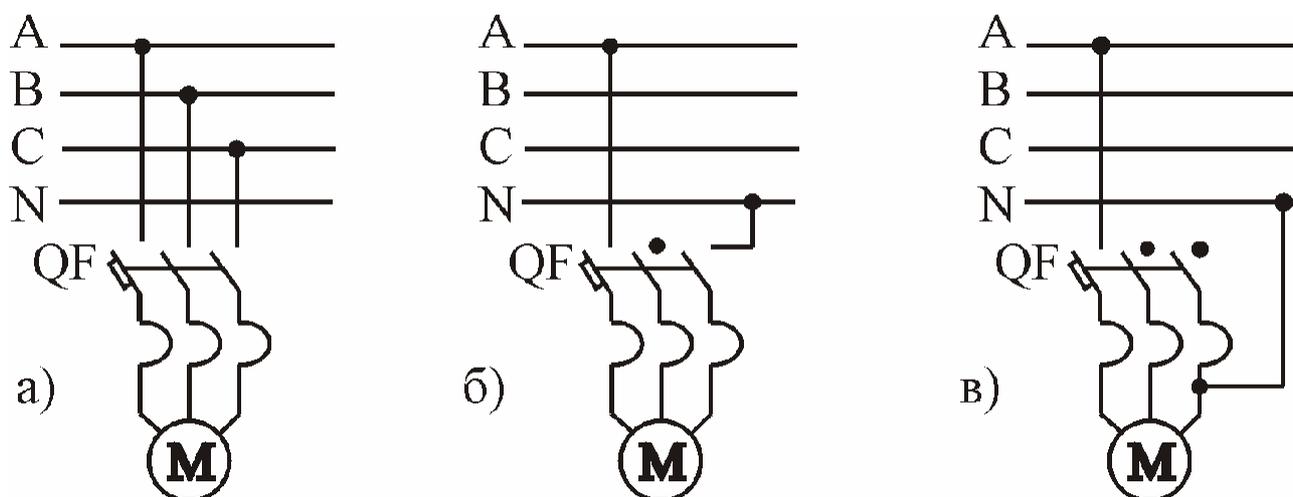


Рис. 6.1. Схемы испытания тепловых расцепителей в условиях эксплуатации.
 а) Рабочая схема включения главных цепей электропривода.
 б),в) Схемы испытания тепловых расцепителей при одновременной нагрузке двух и одного полюса

Таблица 6.1

Схема испытания	Ток в цепи выключателя, А		Время срабатывания расцепителя, с
	Пусковой	Рабочий	
6.1.а			
6.1.б			
6.1.в			

.Выбрать для защиты рассматриваемого электродвигателя предохранитель и плавкую вставку.

.Рассмотреть рабочую схему электроснабжения цеховых электроприемников (рис. 6.2). Выбрать автоматические выключатели или предохранители для защиты сетей и оборудования на трех ступенях системы электроснабжения. Исходные данные для расчета и выбора коммутационной и защитной аппаратуры приведены в табл. 6.2

.Проверить выбранные коммутационные и защитные аппараты по токам короткого замыкания. Значения токов КЗ приведены в табл. 6.3.

2.7. Результаты выбора коммутационных и защитных аппаратов занести в табл. 6.4.

2.8. Построить карту селективности выбранных защитных аппаратов в логарифмической шкале осей тока и времени.

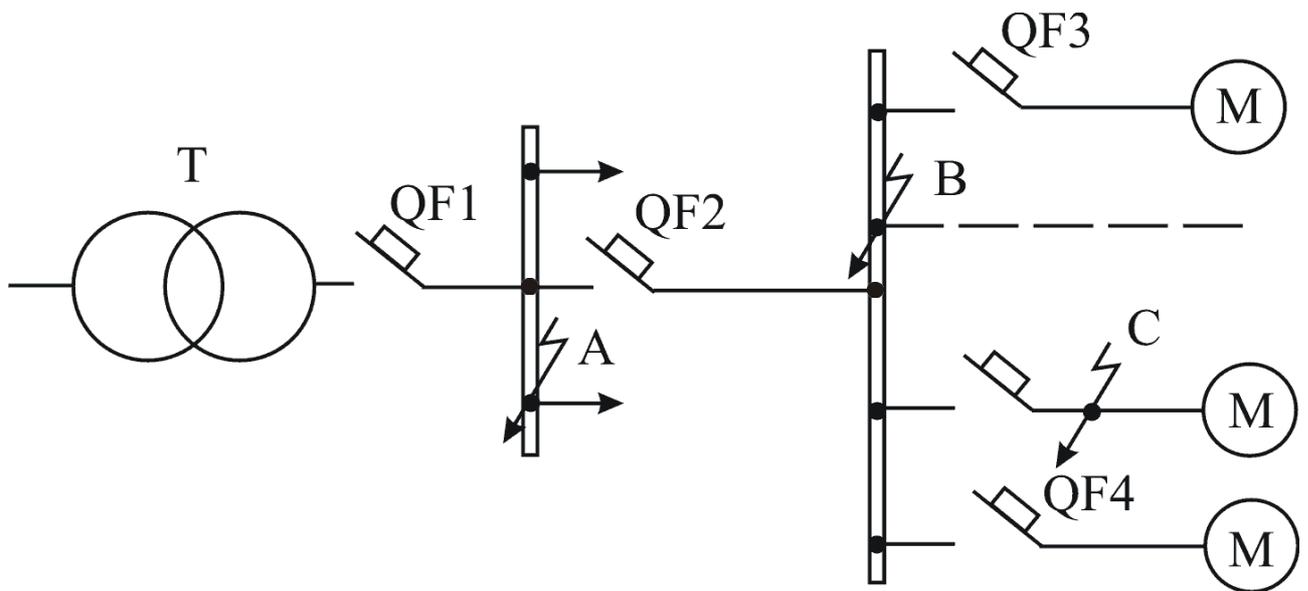


Рис. 6.2. Рабочая схема электроснабжения.

Таблица 6.2

Параметры электродвигателей	Варианты				
	1	2	3	4	5
Число и мощность, кВт	2*1,0 5*4,5	3*1,0 4*7,0	5*1,0 2*14,0	4*1,0 3*10,0	1*1,0 6*2,8
$\cos\varphi_{НОМ}$	0,80	0,78	0,84	0,86	0,82
Кратность пускового тока	6,0	5,5	6,0	6,5	6,0
КПД, %	82	80	80	86	88
Ток нагрузки силового трансформатора, А	500	480	1280	900	670
Напряжение в сети, В	380	660	380	380	380

Таблица 6.3

Место короткого замыкания	Значения токов КЗ по вариантам, кА.				
	1	2	3	4	5
Точка А	10,5	10,0	26,0	16,0	15,6
Точка В	6,8	9,6	12,0	6,0	9,2
Точка С	2,2	1,8	2,0	2,4	2,1

Краткие методические указания.

1. Для выполнения работы изучить материал по [2 §7.3; 9 §5, 6, 10].
2. Правильность выбора автоматического выключателя проверяется снятием защитных характеристик на стендах (см. лабораторную работу № 3). В условиях эксплуатации проверку работы расцепителя можно осуществить упрощенным способом, при пуске трехфазного двигателя при питании его одно-

фазным током и при протекании тока по двум фазам электродвигателя, рис. 6.1.б и 6.1.в. При таком пуске двигатель не может развернуться, он оказывается в режиме короткого замыкания, соответствующем начальному моменту пуска. В обмотках двигателя и, следовательно, по расцепителю протекает ток, равный половине пускового тока. Время срабатывания расцепителя при полученном токе сравнивается с временем по типовой характеристике (Приложение 7).

- Номинальный ток предохранителя и его плавкой вставки выбираются на основании методических указаний, изложенных в лабораторной работе № 5.

Таблица 6.4

Ток нагрузки, А		Выбранные автоматические выключатели (предохранители)							
$I_{РСЧ}$	$I_{ПКС}$	Поз. обозн.	Тип	$I_{НОМ},$ А	$I_{РЦ,НОМ},$ А	$I_{СЗ}^{III},$ А	$I_{СЗ}^{II},$ А	$I_{ПКС},$ А	$t_{СЗ}^{II},$ С
		QF1							
		QF2							
		QF3							
		QF4							

Контрольные вопросы.

- Как выбирается автоматический выключатель для защиты электродвигателя?
- Как выбирается автоматический выключатель для защиты групп электродвигателей?
- По каким условиям выбираются плавкий предохранитель и его плавкая вставка для защиты одиночного электродвигателя и группы электродвигателей?
- Каким образом производятся испытания автоматического выключателя в силовой сети электродвигателя?
- Работоспособность каких расцепителей автоматических выключателей можно проверить в силовой сети электродвигателя?
- Какие преимущества обеспечивает способ испытания автоматических выключателей, основанный на использовании в силовой сети электродвигателя?
- Можно ли выполнить селективную защиту двух последовательных участков электросети автоматическим выключателем и предохранителем? Поясните ответ иллюстрацией с помощью характеристик на карте селективности.
- Можно ли выполнить селективную защиту двух последовательных участков электросети автоматическим выключателем и предохранителем? Поясните ответ иллюстрацией с помощью характеристик на карте селективности.
- Можно ли выполнить селективную защиту двух последовательных участков сети быстродействующими автоматическими выключателями? Поясните ответ иллюстрацией с помощью характеристик на карте селективности.

10. Совпадают ли по величине номинальные токи расцепителя автоматического выключателя и плавкой вставки предохранителя, выбранные для защиты одинаковых электродвигателей? Поясните ответ иллюстрацией с помощью характеристик на карте селективности.

Лабораторная работа №7

ВЫБОР МОЩНОСТИ И МЕСТА УСТАНОВКИ КОМПЕНСИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ И ТРАНСФОРМАТОРОВ НА ЦЕХОВЫХ ПОДСТАНЦИЯХ

Цель работы.

1. Ознакомиться с методикой выбора мощности цеховых трансформаторов по нагрузке цеха.
2. Ознакомиться с методикой выбора мощности компенсирующих устройств и определением места их установки.

Программа и методика исследования.

1. Подготовительная часть.
 - .Ознакомиться с методикой выбора числа и мощности трансформаторов, цеховых трансформаторных подстанций.
 - .Ознакомиться с вопросами компенсации реактивной мощности в цеховых и заводских электрических сетях.
 - .Изучить конструкции компенсирующих устройств и принцип их работы.
 - 1.4.Ознакомиться с возможными вариантами выбора места расположения компенсирующих устройств в электросети.
2. Экспериментальная часть.
 - .Ознакомиться с лабораторным стендом и схемой установки.
 - .Собрать схему (рис. 7.1) для выполнения работы. Установить переключатель вариантов в положение, соответствующее заданному варианту (табл. 7.1).
 - .При заданной нагрузке по показаниям приборов рассчитать активную, реактивную и полную мощности. Выбрать число и мощность трансформаторов, определить их коэф. загрузки. Результаты занести в табл. 7.2.
 - .Добиться необходимой компенсации реактивной нагрузки включением конденсаторных батарей (БК). Определить, достаточна ли степень компенсации, если реактивная мощность, отпускаемая энергосистемой должна соответствовать $\operatorname{tg}\varphi=0.33$. Уточнить число и мощность трансформаторов, их коэффициент загрузки.
 - .Исследовать режим потребления реактивной мощности предприятием при наличии синхронных электродвигателей (СД).

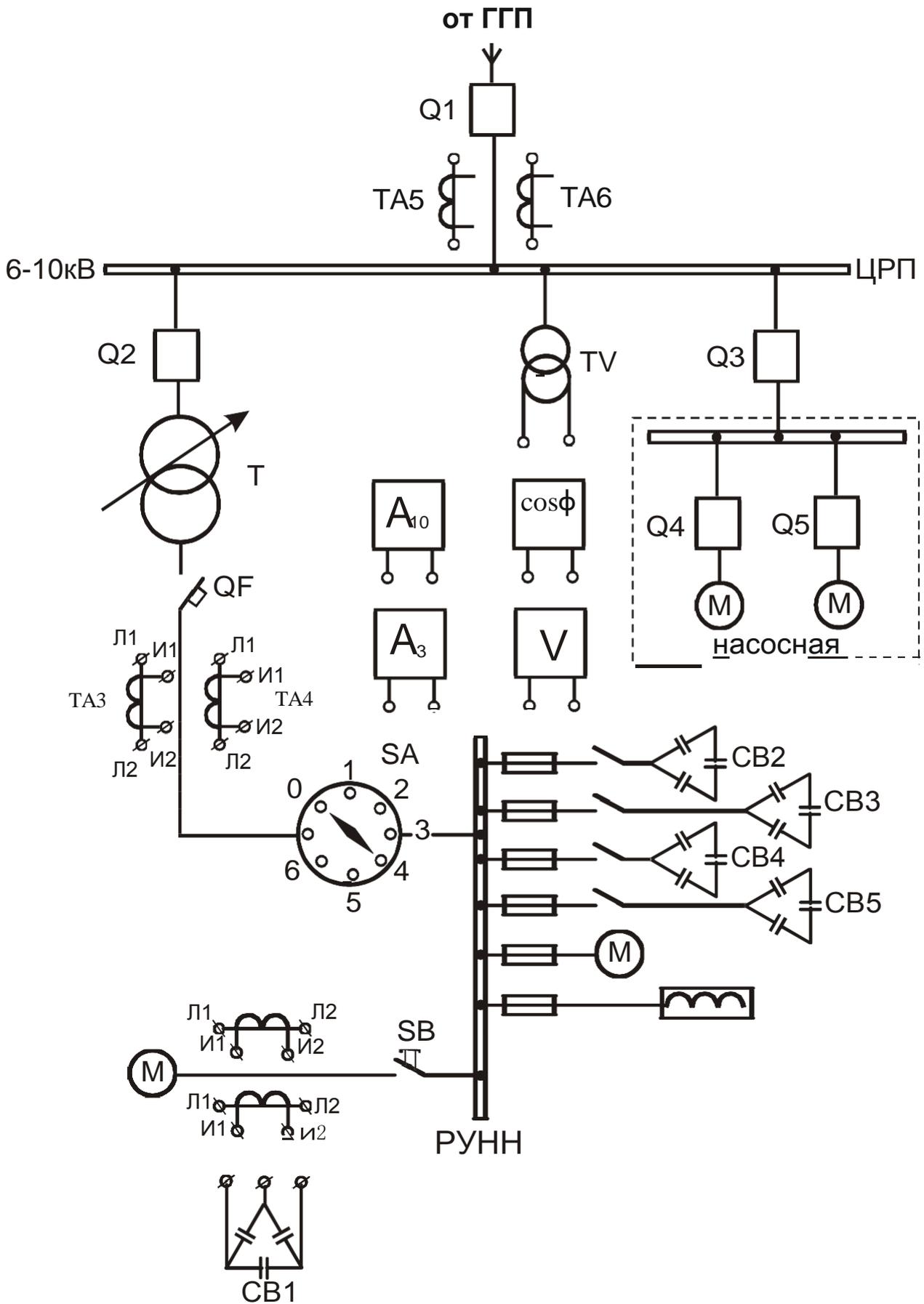


Рис. 7.1 Схема лабораторной установки.

.Рассчитать требуемую мощность БК в минимальном режиме работы предприятия, когда нагрузка составляет 20% максимальной (расчетной) и СД отключены. Определить необходимость отключения части БК, выбрать способ автоматического управления мощностью БК.

.По результатам эксперимента и расчетов заполнить соответствующие графы табл.7.2

Краткие методические указания.

1. Изучить материал по [1 §11.1-11.8; 2 §11.1-11.13].
2. Реактивная мощность, отдаваемая БК в сеть определяется выражением:

$$Q_{БК} = U^2 \cdot \omega \cdot C \quad (7.1)$$

3. Максимальное потребление реактивной мощности предприятием:

$$Q_M = Q_{РСЧ} + \Delta Q_{ТР} \quad (7.2)$$

где $Q_{РСЧ}$ – расчетная реактивная мощность приемников электроэнергии

$$Q_{РСЧ} = P_{РСЧ} \cdot \operatorname{tg} \varphi, \quad (7.3)$$

где $P_{РСЧ}$ – расчетная активная мощность потребителя в режиме максимальной нагрузки системы;

$\operatorname{tg} \varphi$ – коэффициент реактивной мощности потребителя;

$\Delta Q_{ТР}$ – потери реактивной мощности в трансформаторе

$$\Delta Q_{ТР} = Q_0 + K_3^2 \cdot Q_P, \quad (7.4)$$

где Q_0 – реактивная мощность, необходимая для создания основного магнитного потока трансформатора.

$$Q_0 = \frac{S_{ТР} \cdot i_0}{100}, \quad (7.5)$$

где i_0 – ток холостого хода трансформатора, %;

Q_P – реактивная мощность, расходуемая на создание потока рассеяния:

$$Q_P = \frac{S_{ТР} \cdot u_k}{100}, \quad (7.6)$$

где u_K – напряжение короткого замыкания, %, S_{TP} – номинальная мощность трансформатора; K_3 – коэффициент загрузки трансформатора. Значения величин тока холостого хода и напряжения КЗ приведены в табл. 7.3.

Таблица 7.3

S_{TP} , кВ·А	160-250	400-630	1000-1600
i_0 , %	2.3	2.1	1.4
u_K , %	6.5	5.5	5.5

Потребление реактивной мощности из системы ограничивается величиной:

$$Q_C = P_{PCЧ} \operatorname{tg} \varphi_C, \quad (7.7)$$

где $\operatorname{tg} \varphi_C$ – коэффициент реактивной мощности, устанавливаемый системой.

Разность реактивных мощностей $Q_M - Q_C$ должна быть скомпенсирована установкой компенсирующих устройств – источников реактивной мощности – конденсаторными батареями, синхронными электродвигателями и др.

$$Q_{КУ} = Q_M - Q_C \quad (7.8)$$

4. Мощность трансформаторов цеховой трансформаторной подстанции с учетом установки компенсирующих устройств может быть определена по выражению

$$S_{TP} \geq \frac{\sqrt{I_{PCЧ}^2 + (Q_{PCЧ} - Q_{НБК})^2}}{K_3}, \quad (7.9)$$

где K_3 – коэффициент загрузки трансформатора,

$Q_{НБК}$ – мощность низковольтных батарей конденсаторов.

5. Во всех режимах контролировать напряжение сети, осуществляя при необходимости регулировку.

Контрольные вопросы.

1. Какие причины приводят к снижению коэффициента мощности потребителей электроэнергии?
2. Назовите источники реактивной мощности и область их применения.
3. Почему ограничивают потребление реактивной мощности на предприятиях?
4. Приведите основные способы ограничения потребления реактивной мощности на предприятиях?
5. Как влияет мощность и место установки конденсаторной батареи на выбор мощности трансформатора цеховой трансформаторной подстанции?

6. Как осуществляется выбор средств компенсации реактивной мощности в распределительной сети предприятия?
7. Какая часть сети разгружается от реактивного тока при установке компенсирующих устройств? В какой части сети повышается $\cos\varphi$? Поясните на схеме лабораторной установки.
8. С какой целью осуществляется регулирование мощности компенсирующих устройств? По каким критериям оно осуществляется?
9. Какие способы применяются для регулирования мощности конденсаторных батарей?
10. Покажите взаимосвязь напряжения сети с реактивной мощностью, подаваемой по сети?
11. Приведите основные схемы соединения фаз в батареях конденсаторов? Какова область применения этих схем?

Лабораторная работа №8

УЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

Цель работы

1. Изучить вопросы потребления и учёта электроэнергии на промышленном предприятии.
2. Исследование схем включения трехфазных и однофазных счетчиков для учета активной и реактивной электроэнергии.

Программа и методика исследования

1. Подготовительная часть
 - .Ознакомиться с классификацией счетчиков для учета активной и реактивной энергии и схемами их включения в электрическую сеть.
 - .Ознакомиться с системами автоматизированного учета электроэнергии.
 - 1.3.Ознакомиться с методами нормирования расхода электроэнергии.
 - 1.4.Ознакомиться с тарифами на электроэнергию и системой ее оплаты.
 - 1.5.Ознакомиться с электробалансом предприятия.
2. Экспериментальная часть и обработка результатов.
 - 2.1.Ознакомиться с лабораторным стендом и его схемой (рис.8.1).
 - .Собрать поочередно схемы рис. 8.2- 8.7 для измерения активной и реактивной энергии в исследуемой сети.
 - .Произвести измерение активной и реакт энергии в соответствии с исследуемой схемой. Результаты измерений и вычислений занести в табл. 8.1

Таблица 8.1

Схема включения счетчика	Тип счетчика	Постоянная счетчика $C_{Сч}$, Вт·с/об	Число оборотов диска	Время опыта t , с	Коэффициент схемы	$P_{Сч}$, кВт	$Q_{Сч}$, кВАр	$tg\varphi / \cos\varphi$

.Определить среднюю активную и реактивную мощность по показаниям счетчиков.

.Сравнить показания трехфазных и однофазных счетчиков за одно и то же время.

.Определите коэффициент мощности нагрузки.

.Выполнить поверку счетчиков с использованием схемы двух ваттметров.

Краткие методические указания

1. Для выполнения работы изучить материал по [2 § 13.1, 13.2; 5 § 18.1-18.4].
2. Напряжение на стенд подается вводным автоматическим выключателем. Нагрузка включается пакетным выключателем.
3. Измерение напряжений на зажимах трансформатора напряжения производится вольтметром, установленным на стенде. Ток во вторичных обмотках трансформаторов тока измеряется переносным электродинамическим амперметром.
4. Для учета активной и реактивной энергии применяются трехфазные и однофазные счетчики прямого включения и включаемые через трансформатора тока и напряжения.
5. Определение мощности нагрузки по показаниям счетчика и секундомера производится по формуле:

$$P_{Сч} (Q_{Сч}) = K_{СХ} \cdot K_I \cdot K_U \frac{C_{Сч} \cdot n}{t} \cdot 10^{-3}, \text{ кВт (кВАр)}, \quad (8.1)$$

где $K_{СХ}$ – коэффициент схемы. Для схем на рис. 8.2, 8.3, 8.4, 8.6 $K_{СХ} = 1$, на рис. 8.5 $K_{СХ} = 3$, на рис. 8.7 – $K_{СХ} = 1/\sqrt{3}$; K_I, K_U – коэффициенты трансформации измерительных трансформаторов тока $K_I = 1$, напряжения $K_U = 2,3$; n – число оборотов счетчика за время t , с; $C_{Сч}$ – постоянная счетчика, определяемая из выражения:

$$C_{Сч} = \frac{3600 \cdot 1000}{N} \frac{\text{Вт} \cdot \text{с}}{\text{об}}, \quad (8.2)$$

где N – передаточное число счетчика, соответствующее числу оборотов диска за кВт·ч.

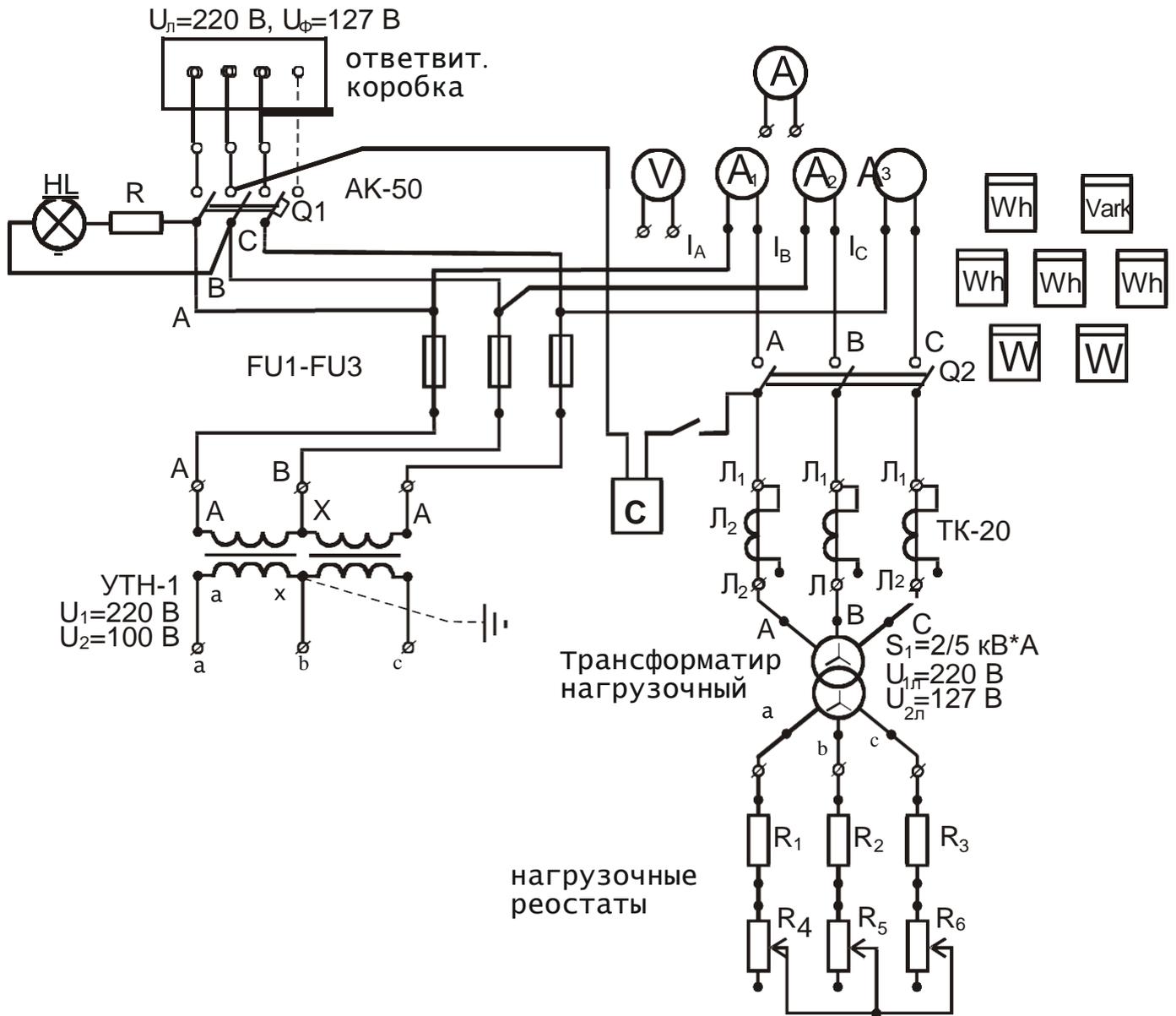


Рис. 8.1. Схема лабораторной установки для учета электрической энергии.

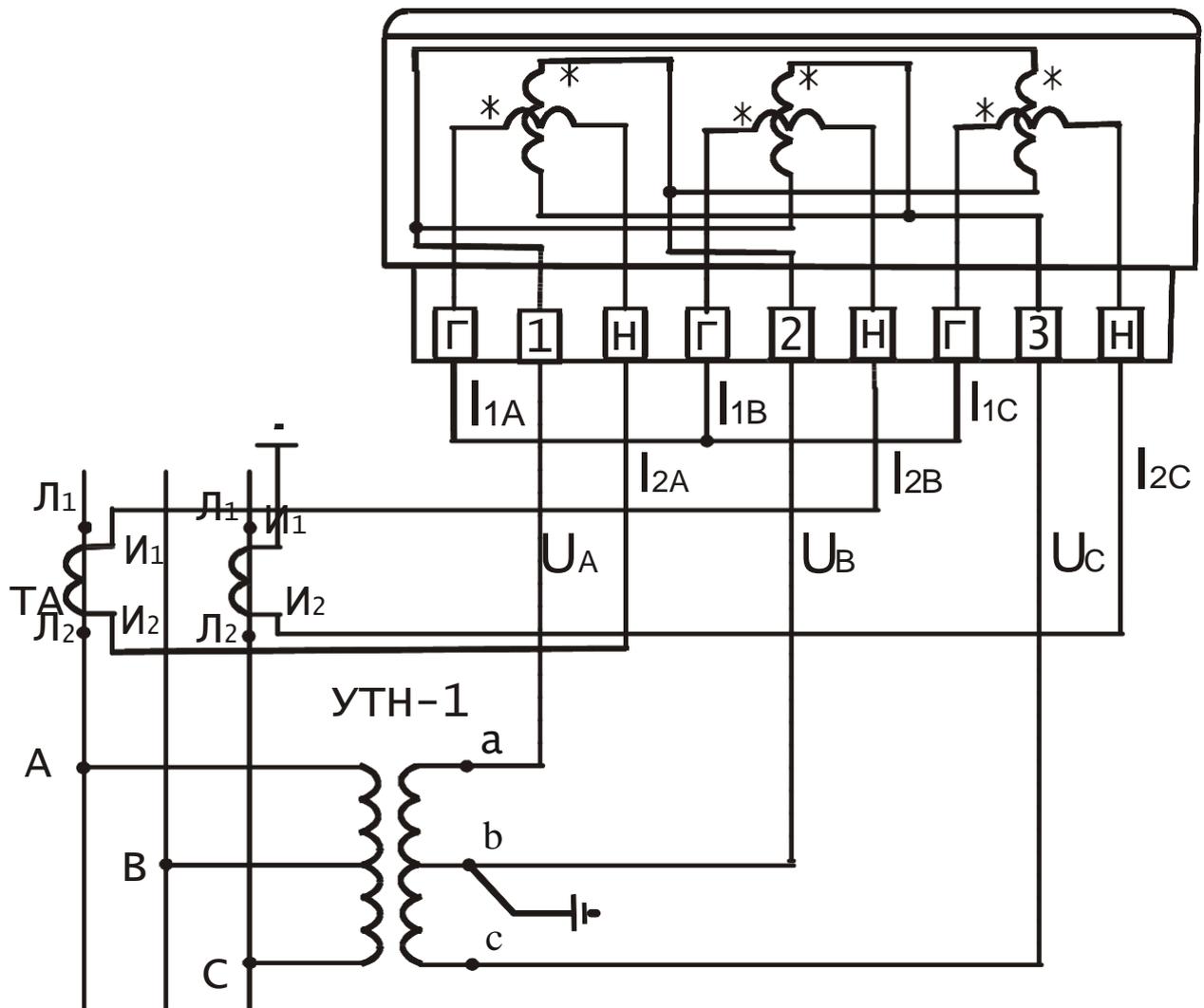


Рис. 8.3. Схема включения трехфазного трехэлементного счетчика для учета реактивной энергии в трехпроводной сети.

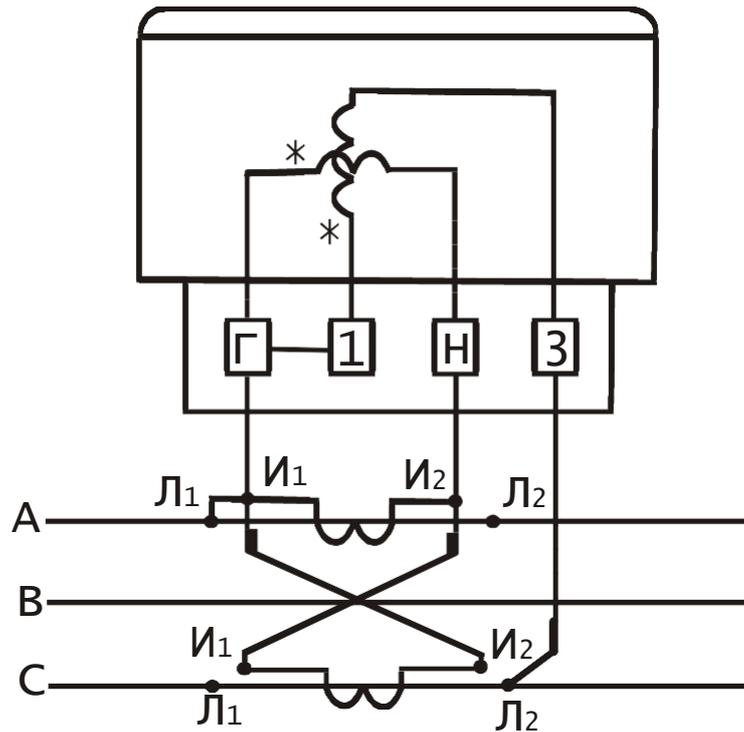


Рис. 8.4. Схема включения однофазного счетчика для учета активной энергии в трехфазной трехпроводной симметричной сети низкого напряжения.

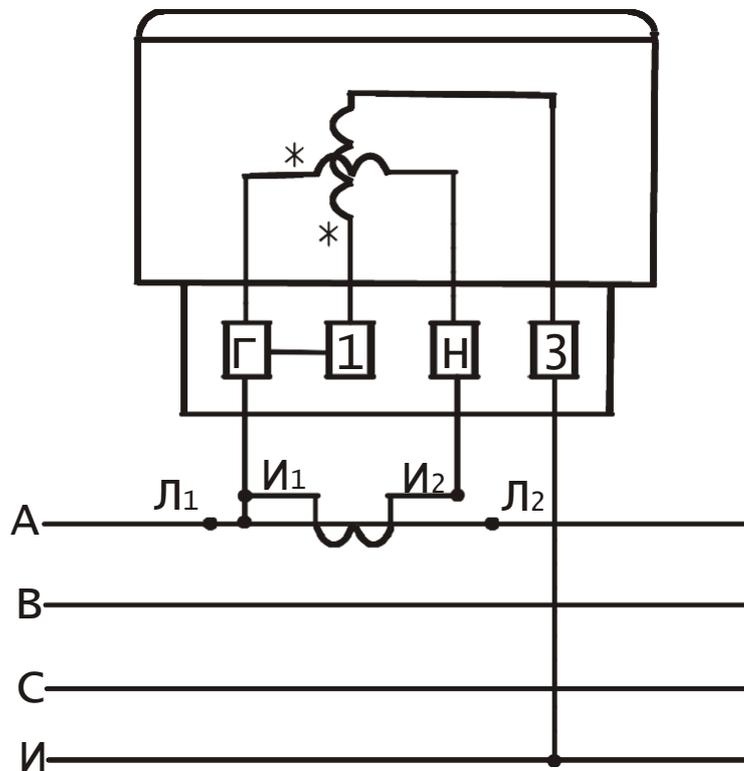


Рис. 8.5. Схема включения однофазного счетчика для учета активной энергии в трехфазной двух- и четырехпроводной симметричной сети низкого напряжения.

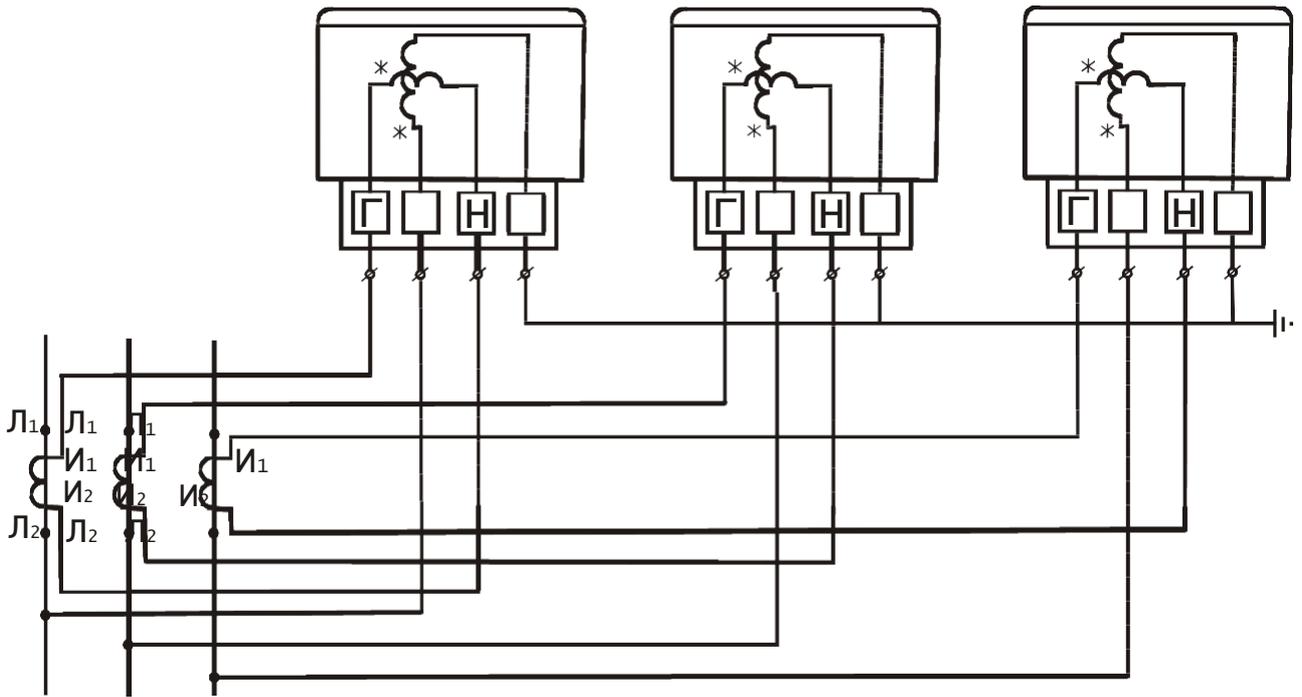


Рис. 8.6. Схема включения трех однофазных активных счетчиков для учета активной энергии в трехфазной сети с несимметричной нагрузкой.

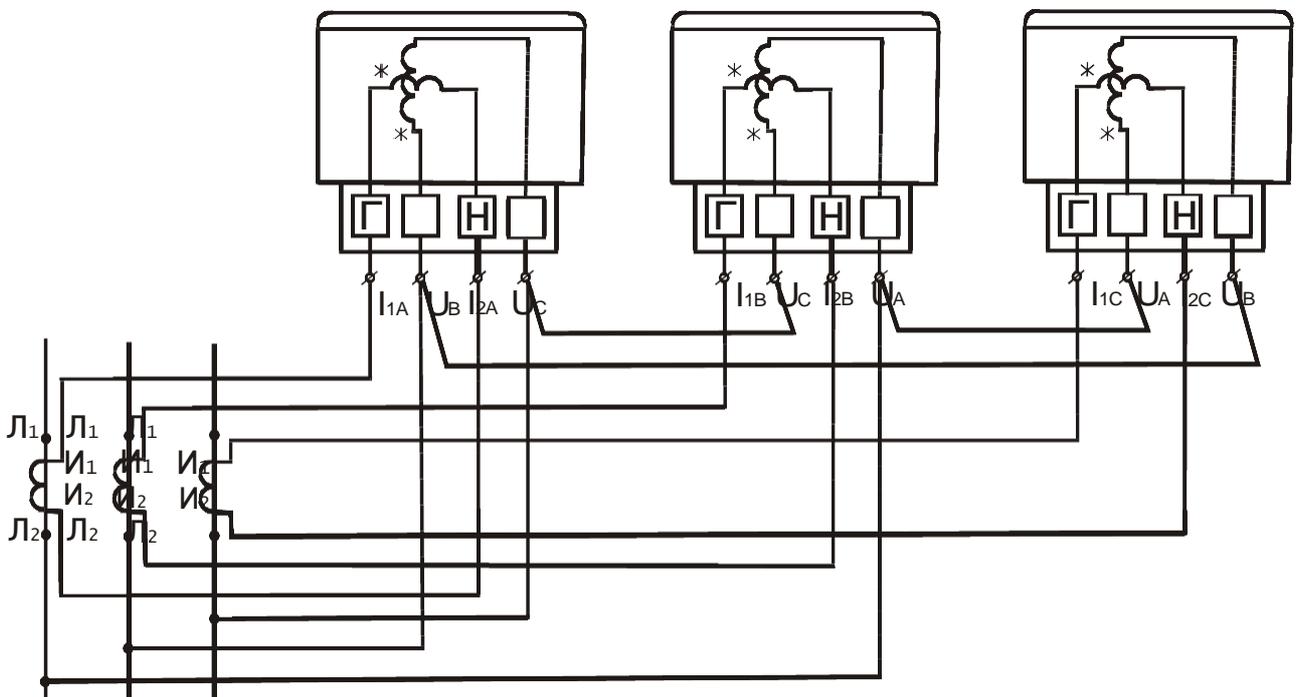


Рис. 8.7. Схема включения трех однофазных активных счетчиков для учета реактивной энергии в трехфазной трехпроводной сети низкого напряжения.

6. Значения коэффициентов мощности и реактивной мощности нагрузки можно определить по показаниям счетчиков

$$\cos \varphi = \frac{P_{сч}}{\sqrt{P_{сч}^2 + Q_{сч}^2}}; \quad \operatorname{tg} \varphi = \frac{Q_{сч}}{P_{сч}}. \quad (8.3)$$

7. Проверку счетчика производят путем сравнения мощности нагрузки, определяемой одновременно по показаниям счетчика (см. формулу 8.1) и по показаниям образцовых ваттметров включаемых в схему учета рис.8.2 следующим образом:

Ваттметр №1 – на ток фазы А на напряжение АС

Ваттметр №2 – на ток фазы В на напряжение ВС

При этом активная мощность нагрузки трехфазной системы определяется:

$$P_{вт} = P_{вт1} + P_{вт2}, \quad (8.4)$$

а реактивная мощность:

$$Q_{вт} = \sqrt{3} (P_{вт1} + P_{вт2}) \quad (8.5)$$

Погрешность счетчиков по мощности при проверке вычисляется по формулам:

$$\delta_P = \frac{P_{сч} - P_{вт}}{P_{вт}} \cdot 100\%$$

$$\delta_Q = \frac{Q_{сч} - Q_{вт}}{Q_{вт}} \cdot 100\% \quad (8.6)$$

Контрольные вопросы

1. С какой целью осуществляется учет электроэнергии на промышленном предприятии? Понятие электробаланса.
2. Назовите виды учета электроэнергии. Их назначение и особенности.
3. Как включить однофазный счетчик для учета активной энергии в трех- и четырехпроводной симметричной сети?
4. Как включается трехфазный двухэлементный счетчик для учета активной энергии?
5. Как включается трехфазный счетчик для учета реактивной энергии?
6. Объясните по схеме сущность измерения реактивной энергии однофазным счетчиком активной энергии.
7. Как определяется постоянная счетчика? Что такое передаточное число счетчика? Каковы ее физический смысл и области применения.
8. Каким образом можно определять активную и реактивную мощность нагрузки с помощью электросчетчиков?
9. Как определить трехфазную мощность по показаниям трех однофазных счетчиков?

10. Каким образом можно определить текущее и средневзвешенное значения коэффициента мощности и коэффициента реактивной мощности с помощью счетчиков активной и реактивной энергии?
11. Как выполняется поверка счетчика?

Лабораторная работа №9

ИССЛЕДОВАНИЕ НАГРЕВА ТОКОВЕДУЩИХ ЧАСТЕЙ ВЫКЛЮЧАТЕЛЯ

Цель работы.

1. Исследование нагрева токоведущих частей (выводов, подвижных и неподвижных контактов) выключателя при номинальном токе.
2. Исследование нагрева токоведущих частей выключателя при перегрузке током $1,4I_{НОМ}$.
3. Изучить методы измерения температуры в нагреваемых элементах.

Программа и методика исследования.

1. Подготовительная часть.
 - .Ознакомиться с процессом нагрева токоведущих частей коммутационных аппаратов и методами измерения температуры.
 - .Изучить процесс и характер нагрева коммутирующих контактов аппаратов, нормы их нагрева.
 - .Выяснить, как изменяется температура токоведущих элементов с изменяющимся сечением.
2. Экспериментальная часть.
 - 2.1.Ознакомиться с лабораторным стендом.
 - .Собрать схему (Рис.9.1) для исследования нагрева токоведущих частей автоматического выключателя.
 - .Определить опытным путем установившиеся превышения температуры нагрева подвижных и неподвижных контактов, выводов, гибких связей автоматического выключателя в режимах, указанных в табл. 9.1. результаты измерения температуры занести в табл. 9.2

Таблица 9.1

Вариант	Режим	Ток нагрева
1	Продолжительный, нагрузка номинальная	$1,0I_{НОМ}$
2	Продолжительный, нагрузка 0,7 номинальной По достижении установившейся температуры нагрузка выключателя удваивается	$0,7I_{НОМ}$ $1,4I_{НОМ}$

Построить графики нагрева одного из подвижных контактов и выводов выключателя. Определить постоянную времени их нагрева.
 Определить возможность использования исследуемого выключателя в качестве вводного с учетом допустимой перегрузки питающего трансформатора при секционировании нагрузки.

Таблица 9.2

№ измерения	Время испытания, мин.	Температура частей выключателя							
		1	2	3	4	5	6	7	8

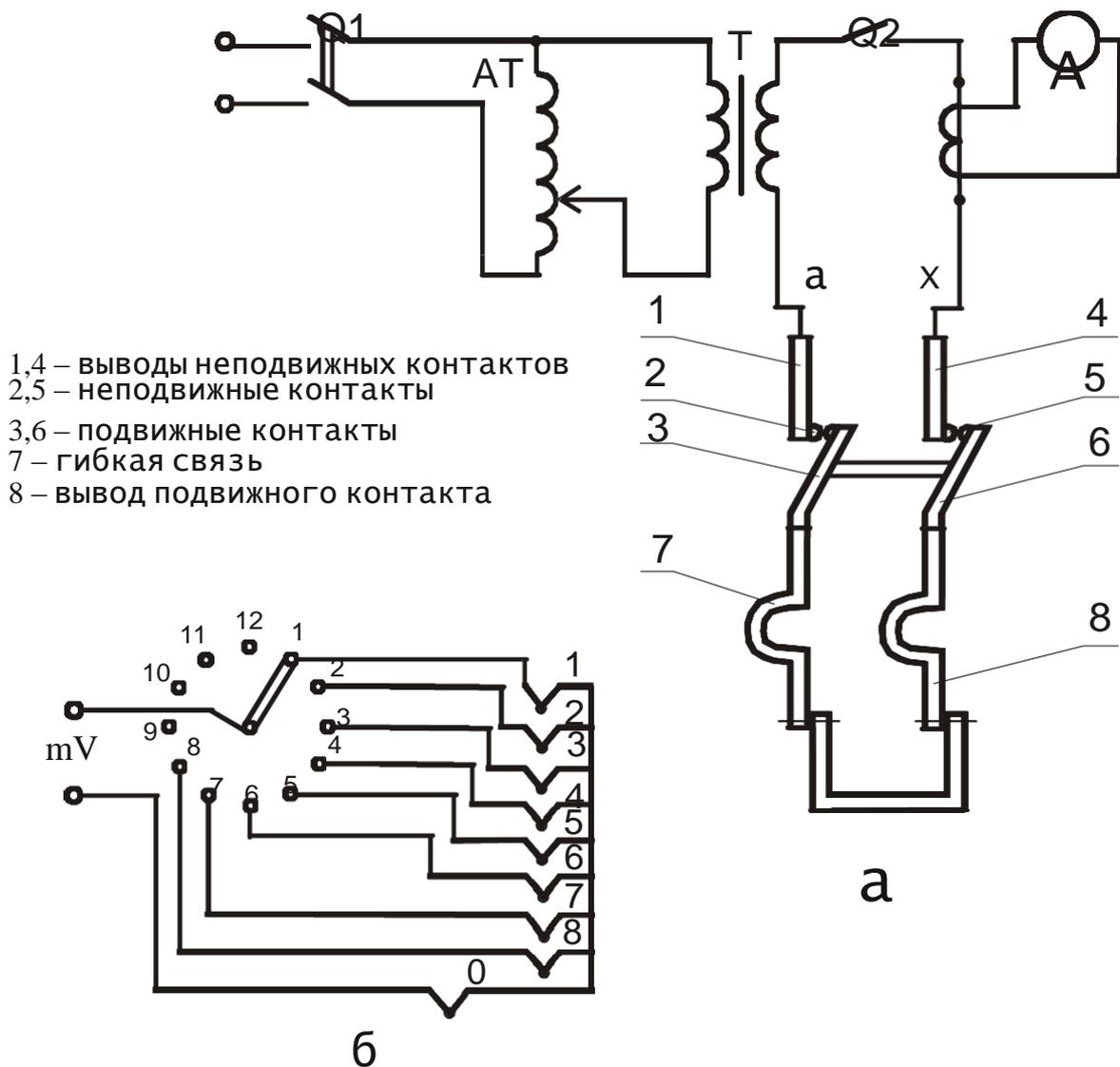


Рис. 9.1. Схема стенда (а) и включения термопар (б) при испытании выключателей.

Краткие методические указания.

1. Для выполнения работы изучить материал по [2 §7.3; 7 §3.1-3.10, 4.1-4.3; 8 §3.3, 10.2].
2. Два полюса исследуемого выключателя соединены последовательно, поэтому по всем элементам токоведущего тракта протекает один и тот же ток. Необходимая величина тока устанавливается посредством лабораторного автотрансформатора. Превышение температуры нагрева элементов токоведущего тракта измеряется с помощью медь - константановых термопар и потенциометра ПП-63. Градуировочный график термопар приведен в Приложении 4.
3. По результатам измерения превышения температур через каждые 2-5 мин. строятся характеристики нагрева одного из неподвижных контактов и выводов, по которым определяются постоянные времени нагрева этих элементов.
4. Установившиеся значения превышений температуры сравнить с установленными нормами (Приложение 5).

Контрольные вопросы.

1. Каким образом определяется превышение температуры элементов токоведущего тракта автоматического выключателя?
2. С какой целью применяется нулевая термопара при измерении превышений температур? Как она включается совместно с рабочей термопарой?
3. Как определяется постоянная времени нагрева элементов токоведущего тракта? Как определить постоянную времени нагрева графическим методом по начальным токам кривой нагревания?
4. Назовите допустимые температуры нагрева элементов токоведущего тракта?
5. Почему температура нагрева коммутирующих контактов по нормам выше, чем температура нагрева других элементов токоведущего тракта?
6. Будут ли отличаться температуры нагрева токоведущих элементов различного сечения?

**Ульяновский государственный технический университет
Кафедра «Электроснабжение»**

Лаборатория электроснабжения промышленных предприятий

Работа №1

**Исследование нагрева проводников и износа их изоляции
при защите плавкими предохранителями**

Выполнил студент группы Эд–42 Казаков В.В.

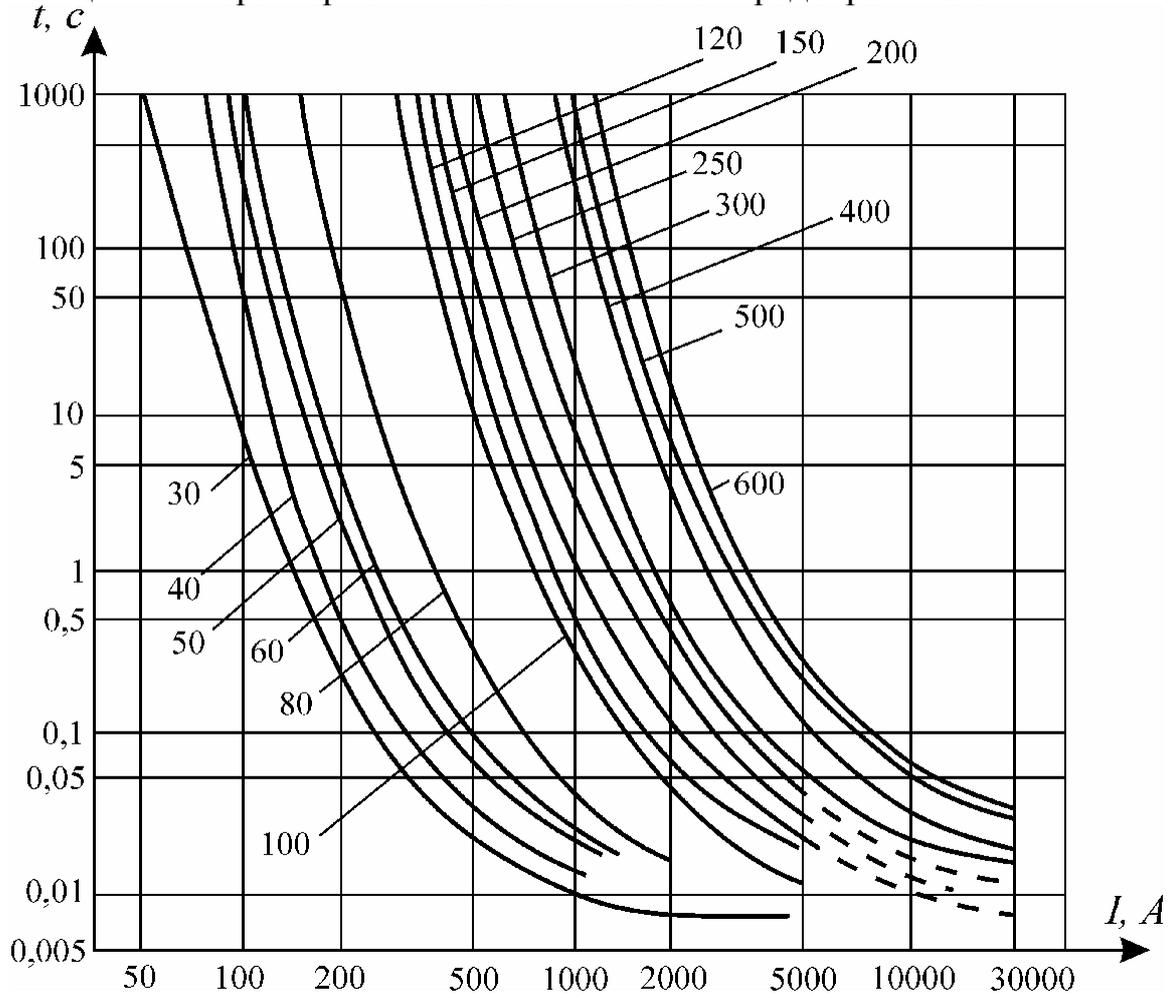
Проверил преподаватель Пестов С.М.

Допустимые температуры проводников.

Вид и материал проводника	Длительно допустимый нагрев жилы по нормам $\Theta_{пн}, ^\circ\text{C}$	Кратковременный допустимый нагрев при перегрузках $\Theta_{дп}, ^\circ\text{C}$	Максимально-допустимый перегрев жилы по нормам при токе КЗ $\tau_m, ^\circ\text{C}$	
			с медными жилами	с алюминиевыми жилами
Шины и голые провода	70	125	300	200
Кабели с бумажной пропитанной изоляцией на напряжение до 3 кВ.	80	125	200	150
до 6 кВ	65	100	200	150
до 10 кВ	60	90	200	150
Кабели и провода с резиновой изоляцией: обычной	55	100	150	150
теплостойкой	65	110	200	150
Провода с полихлорвиниловой изоляцией	65	105	200	150

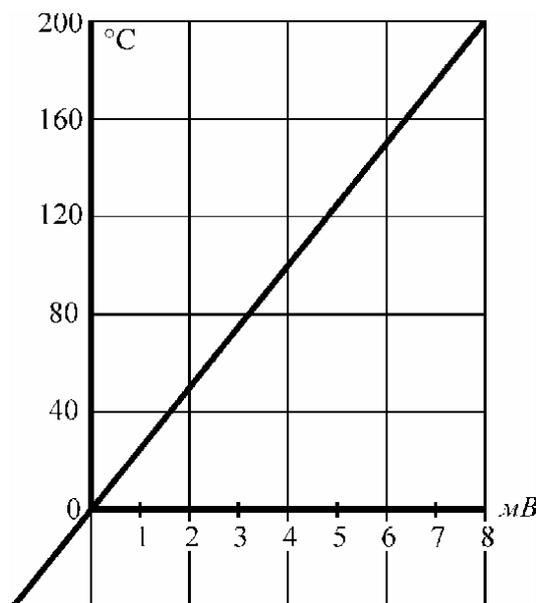
Приложение №3

Защитные характеристики плавких вставок предохранителей ПН-2.



Приложение №4

Градуировочный график медь-константановых термопар.



Приложение №5

Допустимые превышения температуры частей аппаратов по ГОСТ 403-83
(для температуры окружающего воздуха +40 °С).

Наименование частей аппаратов		$\tau_{доп}$
1	Контакты коммутирующие главные цепи:	
	а Из меди	55
	б Гальванически покрытые серебром	*
	в С накладками из серебра и металлокерамических композиций на основе серебра	**
2	Контакты вспомогательных цепей с накладками из серебра	80
3	Контактные соединения внутри аппаратов, неразмыкаемые соединения деталей:	
	а Из меди и ее сплавов, алюминия и его сплавов без покрытия	55
	б То же с покрытием металлом, обеспечивающим стабильность переходного сопротивления лучше чем меди	65
	в Из меди и ее сплавов с покрытием серебром	95
4	Контактные соединения выводов аппаратов с внешними проводниками:	
	а Из меди, алюминия и их сплавов без защитных покрытий контактных поверхностей	55
	б То же с покрытием благородными металлами	65
	в То же с покрытием серебром	95

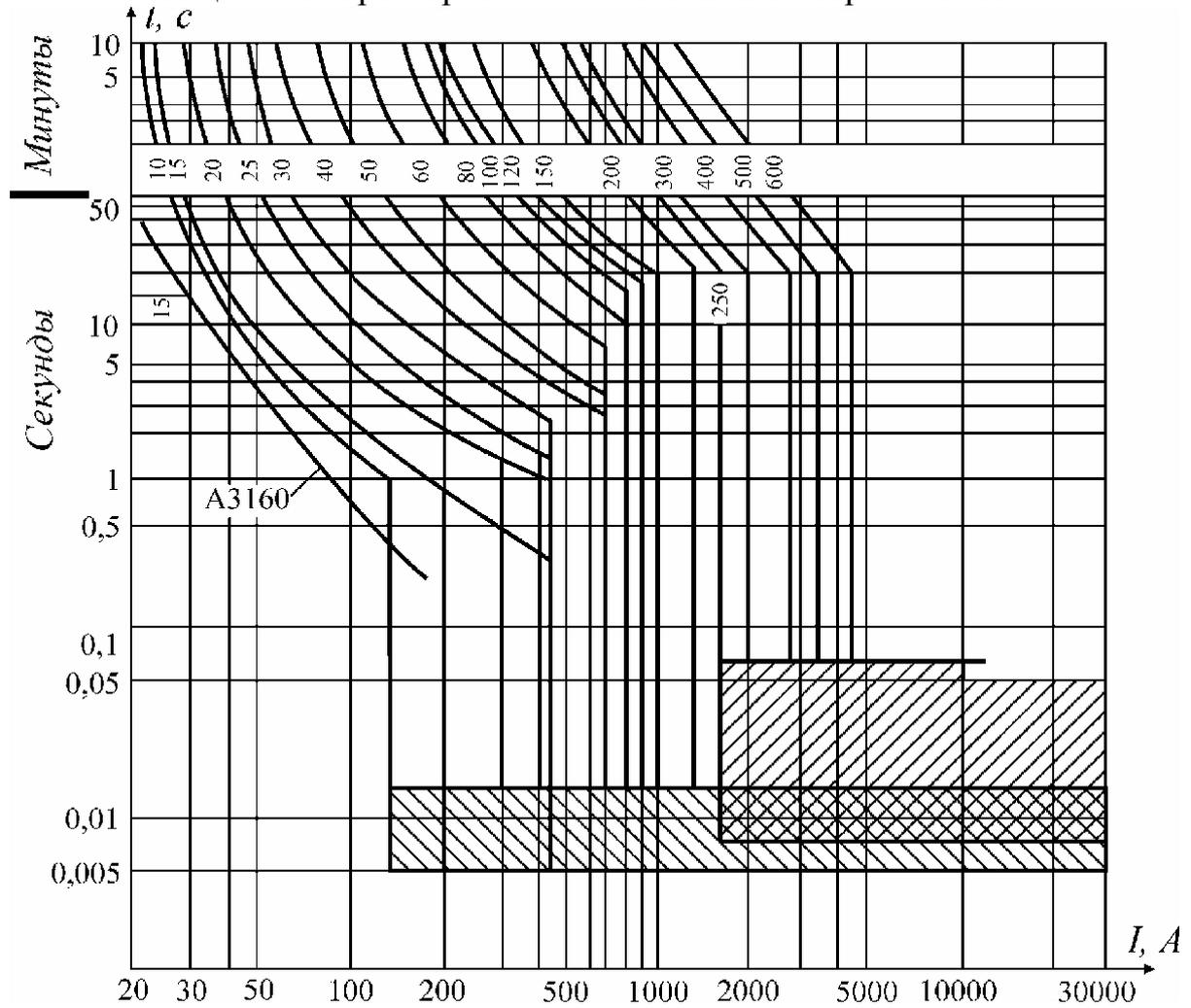
Примечание:

* температура ограничивается теплостойкостью соседних частей. Если покрытие стирается, то контакты считаются не имеющими покрытия.

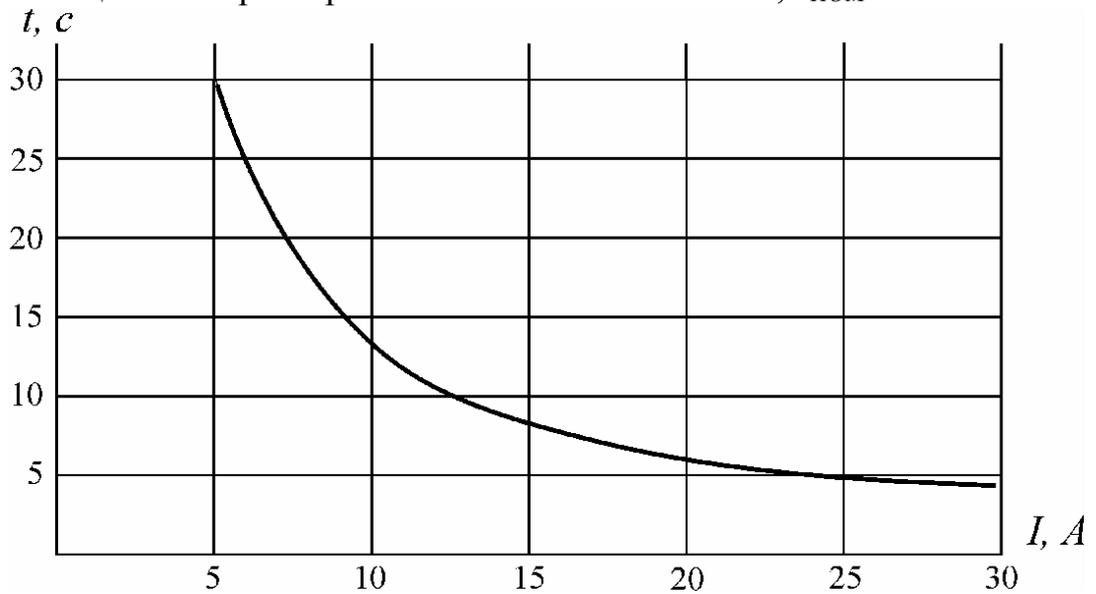
** температура ограничивается теплостойкостью соседних частей, но не должна превышать 200 °С.

Приложение №6

Защитные характеристики выключателей серии А3100.



Приложение №7

Защитная характеристика выключателя АП50, $I_{НОМ} = 4$ А.

Приложение №8

Защитные характеристики автоматических выключателей.

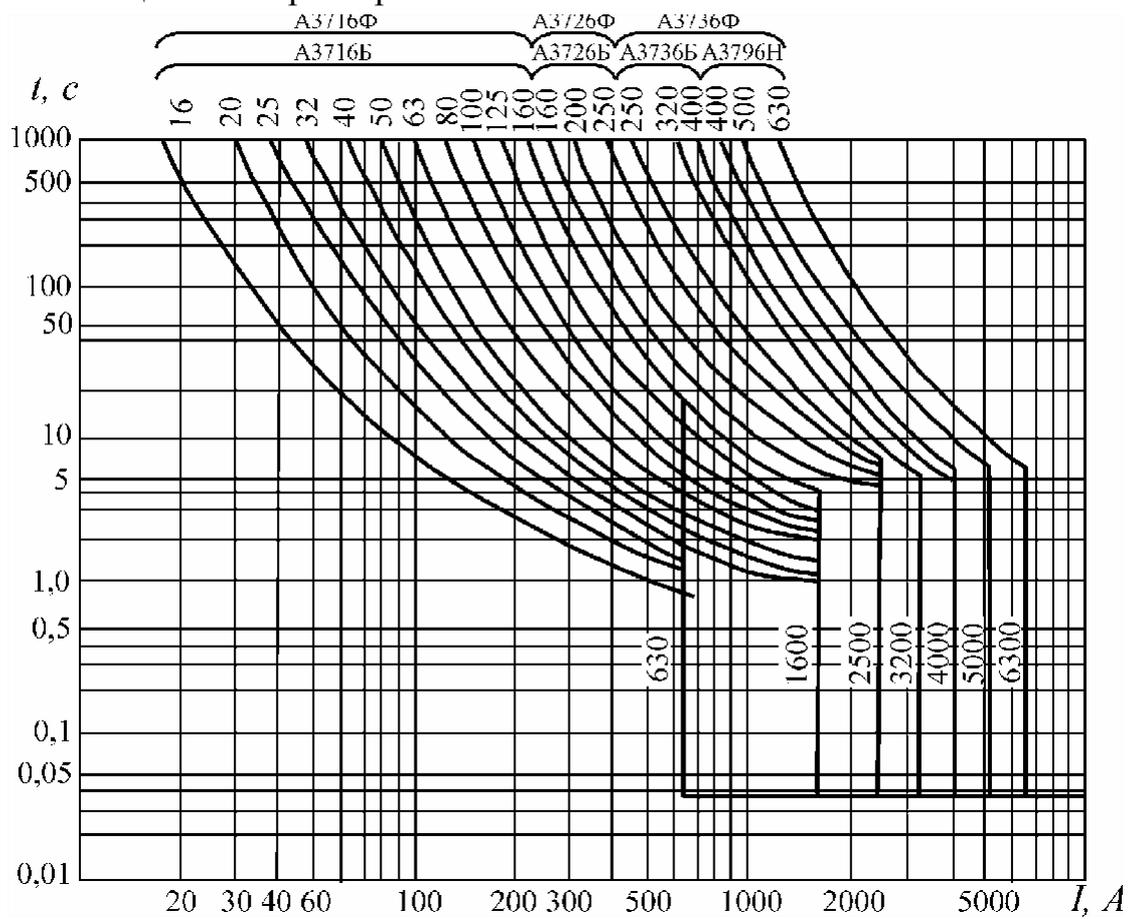


Рис. П.8.1. Защитные характеристики выключателей А3700 с тепловыми и электромагнитными расцепителями.

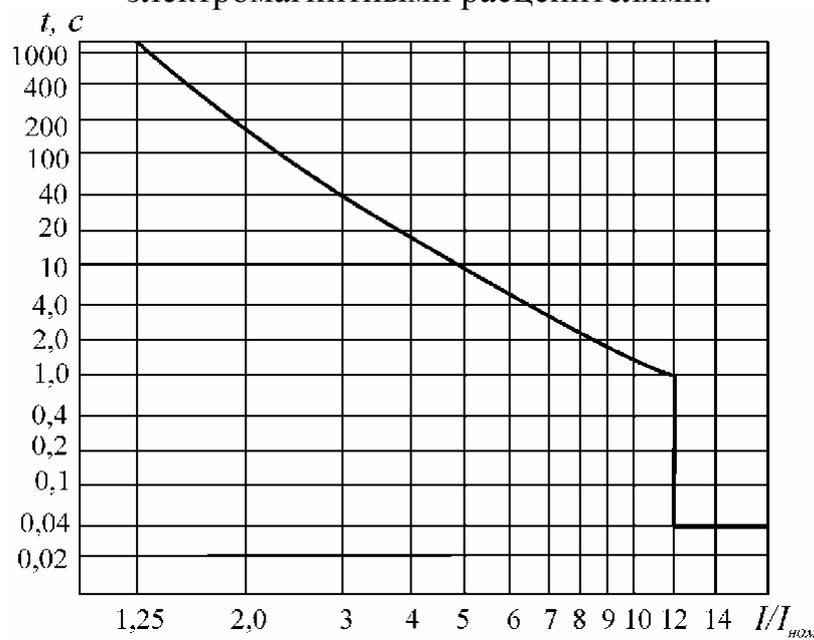


Рис. П.8.2. Защитные характеристики выключателей серии АЕ.

Продолжение приложения №8

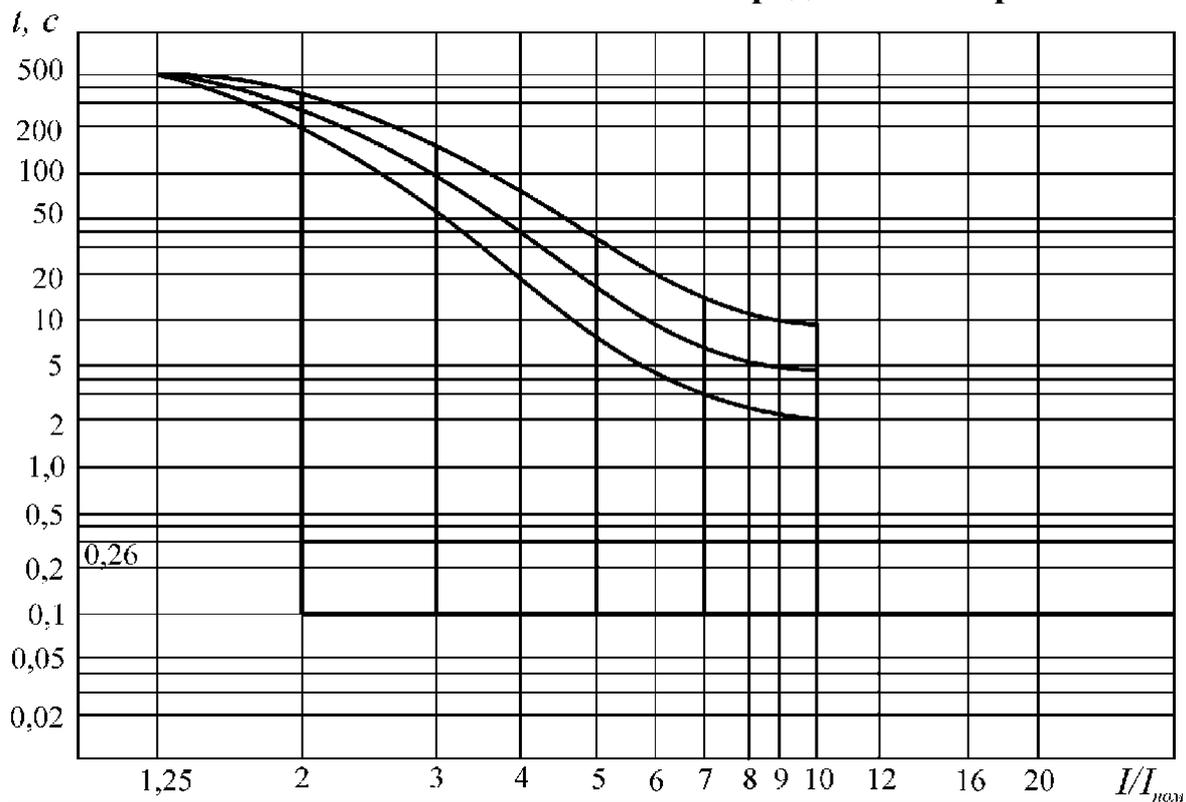


Рис. П.8.3. Защитные характеристики выключателей А3700 с полупроводниковым расцепителем.

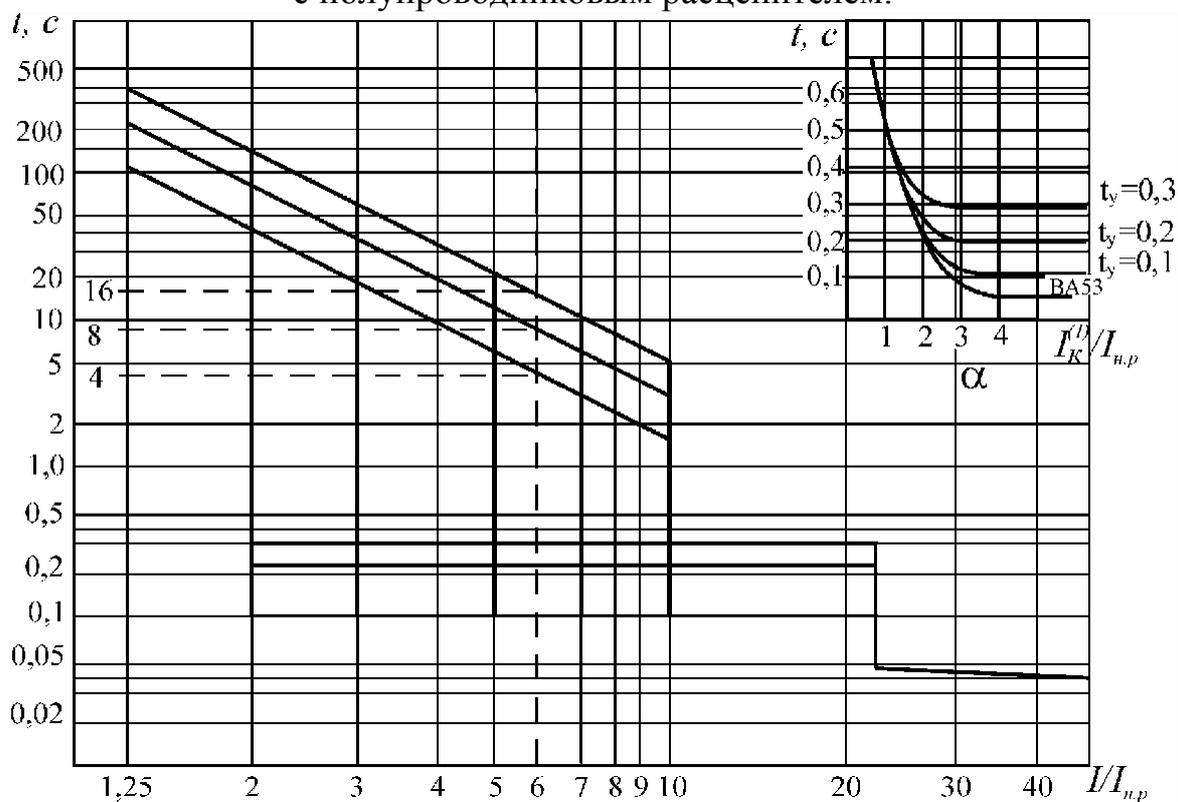


Рис. П.8.4. Защитные характеристики выключателей серии ВА50с полупроводниковым расцепителем. Выключатели ВА53 и ВА55 при однофазном КЗ

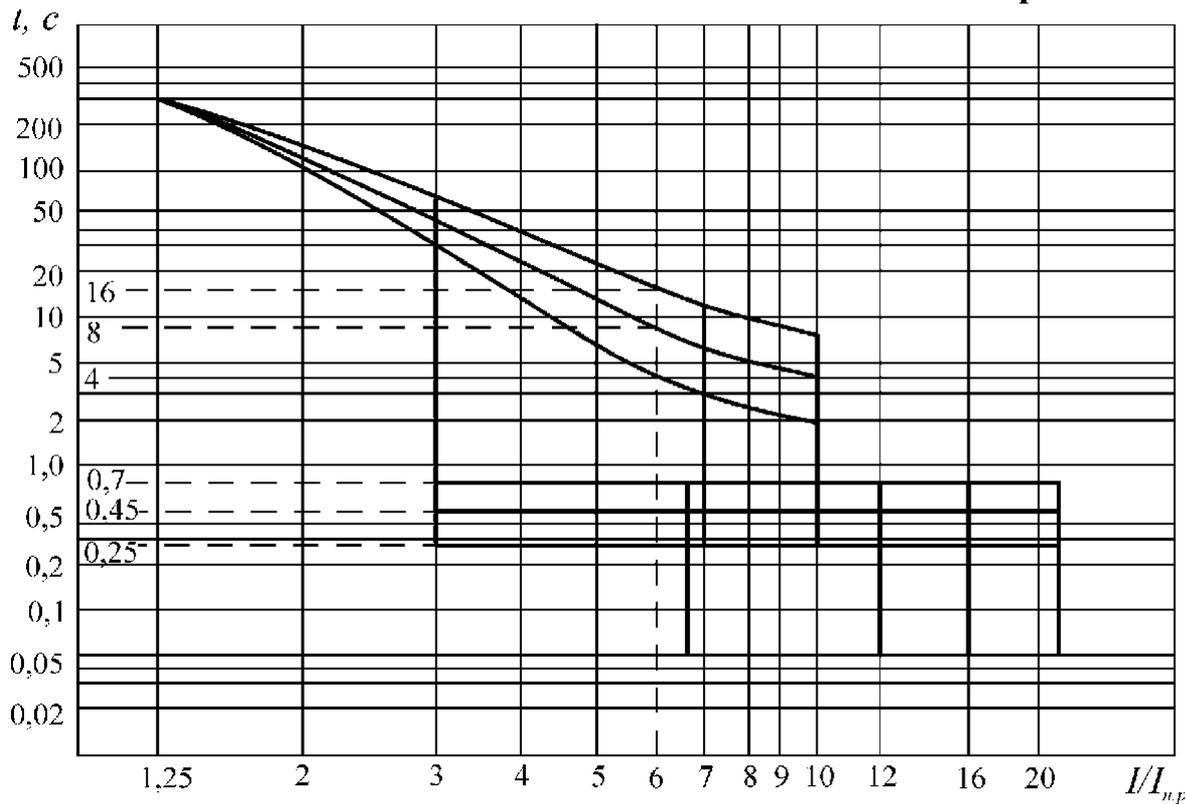


Рис. П.8.5. Защитные характеристики автоматических выключателей серии «Электрон» с полупроводниковым расцепителем РМТ.

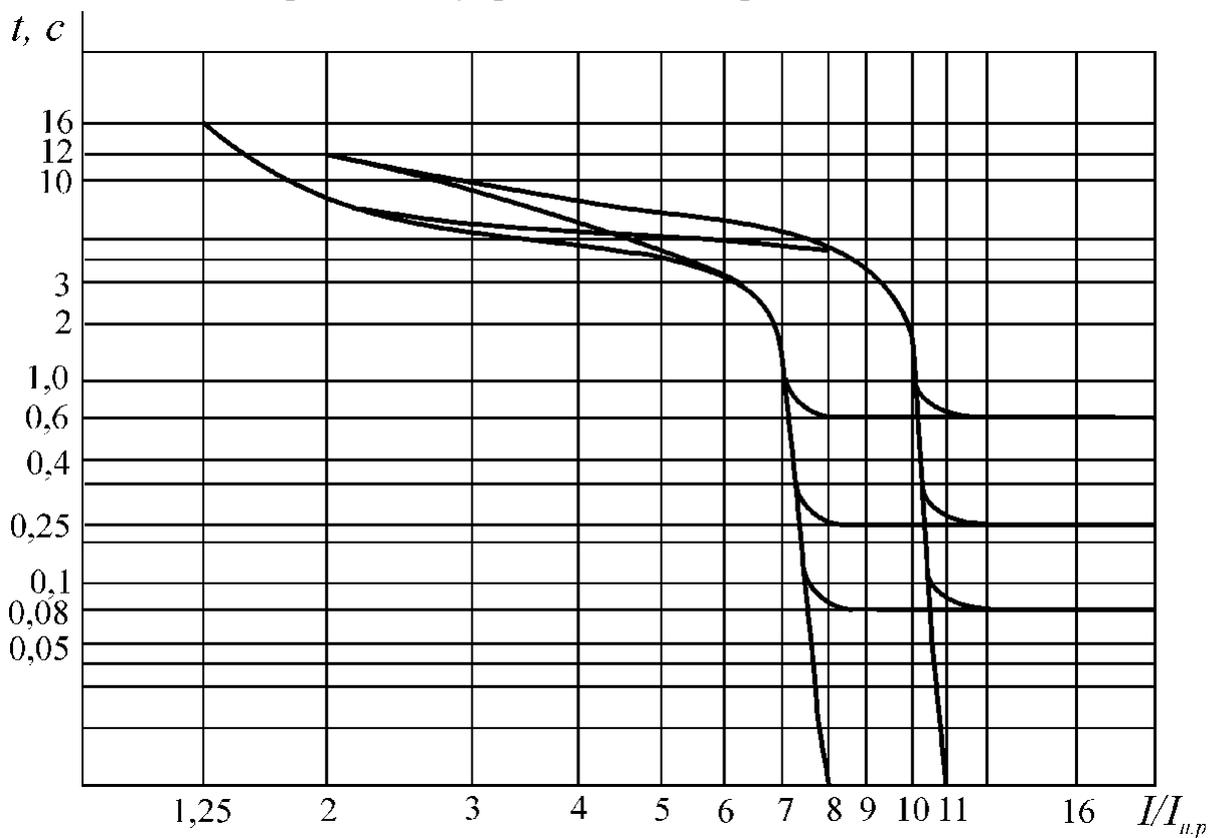


Рис. П.8.6. Защитные характеристики выключателей серии АВМ.

Приложение №9

Технические характеристики коммутационных и защитных аппаратов.

Таблица П.9.1

Автоматические выключатели А3700 с полупроводниковым расцепителем на напряжение до 660 В.

Тип	Номинальный ток выключателя $I_{НОМ}$, А	Уставки полупроводникового расцепителя РП				ок срабатывания элементного расцепителя, $I_{СЗ} / A$	ПКС в цепи 380 В, $I_{ПКС}$ $i_{ПКС}$ кА**
		Регулируемые на шкалах РП значения					
		$I_{РЦ.НОМ}$	$I_{СЗ}^{II}$ $I_{РЦ.НОМ}$	$t_{СЗ}^{II}$, с	$t_{СЗ}^{III}$ при $6I_{РЦ.НОМ}$, с		
А3734	250					160; 200; 250	
	400	250; 320; 400					
А3794С	250	160; 200; 250	0,15 0,25 0,4			111,1/50,5	
	400	250; 320; 400					
	630	400; 500; 630					
А3714Б	160	20; 25; 32; 40	2; 3; 5; 7; 10	4; 8; 16	1,25	18	
		40; 50; 63; 80				36	
		80; 100; 125; 160				75	
А3724Б	250	160; 200; 250				2500	80
А3734Б	250	160; 200; 250				4000	100
	400	250; 320; 400					
А3794Б	250	160; 200; 250				4000	111,1/50,5
	400	250; 320; 400					
	630	400; 500; 630					

* Выключатели А3790С при токе более 20 кА (действующее значение) отключается без выдержки времени.

** ПКС выражена мгновенным значением ударного тока (в числителе) и действующим значением отключаемого тока (в знаменателе).

Автоматические выключатели А3700 с тепловыми и электромагнитными расцепителями на напряжение до 660 В*.

Тип	Номинальный ток выключателя $I_{НОМ}$, А	Номинальный ток теплового расцепителя, $I_{РЦ,НОМ}$ А	$I_{СЗ}^{III} / I_{РЦ,НОМ}$	$I_{СЗ}^{II}$	ПКС в цепи 380 В, $i_{пкС}$, кА**
А3716Ф	160	16	1,15	630	5,5
		20			10
		25			15
		32; 40		630; 1600	20
		50; 63			30/25
		100; 125			60/25
		160			75/25
А3726	250	160	1,15	2500	65/35
		200;250			75/35
А3736	400	250	1,15	2500	65/50
		320		3200	100/50
		400		4000	100/50
А3796Н	630	250	1,15	2500	65
		320		3200	70
		400		4000	70
		500		5000	70
		630		6300	70

* Выключатели рассчитаны на напряжение 660 В, выключатели А3700Ф – на 380 В.

** В знаменателе ПКС для выключателей А3700Ф.

Таблица П.9.3

Автоматические выключатели «Электрон» с полупроводниковым расцепителем РМТ на напряжение до 660 В.

Тип	Исполнение	Номинальный ток выключателя $I_{В,НОМ}, А$	Номинальный базовый ток МТЗ $I_{РЦ,НОМ}, А$	Уставки полупроводникового расцепителя РП					ПКС в цепи 380 В, действующее значение, $I_{ДКС}, КА$
				Регулируемые на шкалах РП значения				$I_{СЗ}^{III}$ $I_{РЦ,НОМ}$	
				$\frac{I_{РЦ,НОМ}}{I_{РЦ,НОМ(б)}}$	$I_{СЗ}^{II}$ $I_{РЦ,НОМ}$	$t_{СЗ}^{II},$ с	$t_{СЗ}$ при 6 $I_{РЦ,НОМ},$ с		
Э06	Стационарное и выдвигное	1000	630; 800 1000	0,8; 1,0; 1,25	3;5; 7; 10 3; 5; 7	0,25 0,45 0,7	4 8 16	1,25	40
Э16	Выдвигное	1600	630 1000 1600	0,8; 1,0; 1,25	3; 5; 7; 10 3; 5; 7				45
Э25	Стационарное	4000	1000 1600 2500 4000	0,8; 1,0; 1,25 0,8; 1,0	3; 5; 7 3; 5				65
Э25	Выдвигное	2500	1600 2500	0,8; 1,0; 1,25	3; 5; 7				50
Э40	Стационарное	6300	4000 6300	0,8; 1,0; 1,25 0,8; 1,0	3; 5 3				115
Э40	Выдвигное	5000	2500 4000	0,8; 1,0; 1,25	3; 5; 7 3; 5				70

Таблица П.9.4

Автоматические выключатели АЕ2000 и АЕ2000М.

Тип	Номинальный ток выключателя, А	Вид расцепителя	Номинальный ток расцепителя $I_{PC,НОМ}$, А	$\frac{I_{C3}^I}{I_{PC,НОМ}}$	Уставка или пределы регулирования $\frac{I_{C3}^{III}}{I_{PC,НОМ}}$	ПКС в цепи 380 В, действующее значение, $I_{ПКС}$, кА
АЕ2023	16	Электромагнитный	0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,8; 1,0; 1,25; 1,6;	12	-	0,7
АЕ2026		Комбинированный	2; 2,5; 3,15; 4; 5; 6,3; 8; 10; 12,5; 16		0,9-1,15	2,0
АЕ2043	63	Электромагнитный	10; 12,5; 16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63;	12	-	6,0
АЕ2044		Комбинированный*			1,15	
АЕ2046		Комбинированный*			0,9-1,15**	2,0
АЕ2043 М	63	Электромагнитный	0,6; 0,8; 1; 1,25; 1,6; 2; 2,5; 3,15; 4; 5; 6,3; 8; 10; 12,5; 16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63	12	-	5,0
АЕ2046 М		Комбинированный*			0,9-1,15**	4,5
АЕ2053 М	100	Электромагнитный	10; 12,5; 16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63; 80; 100	12	-	6,0
АЕ2056 М		Комбинированный*			1,15	3,5
АЕ2063	160	Электромагнитный	16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160	12	-	11,5
АЕ2066		Комбинированный			1,15	6,0

* При наличии независимого расцепителя не устанавливается электромагнитный расцепитель в одном из полюсов.

** Тепловой расцепитель имеет температурную компенсацию. Возможно исполнение без регулировки I_{C3}^{III} и температурной компенсации с установкой $I_{C3}^{III} = 1,15 I_{PC,НОМ}$.

Таблица П.9.5

Автоматические выключатели серии ВА50 с полупроводниковым и электромагнитным расцепителями на напряжение до 660 В.

Тип	Номинальный ток выключателя $I_{В,НОМ}$, А	Регулируемые уставки полупроводникового расцепителя				$\frac{I_{СЗ}^{III}}{I_{РЦ,НОМ}}$	$\frac{I_{СЗ}^{(I)}}{I_{РЦ,НОМ}}$ при однофазных КЗ	$I_{СЗ}^I$, кА	ПКС ОПКС в цепи 380 В, кА			
		$\frac{I_{РЦ,НОМ}}{I_{НОМ}}$	$\frac{I_{СЗ}^{II}}{I_{РЦ,НОМ}}$	$t_{СЗ}^I$, с	$t_{СП}$ при $6I_{РЦ,НОМ}$, с				$I_{ПКС}$	$I_{ОПКС}$		
ВА53-37	160; 250; 400	0,63; 0,8; 1,0	2; 3; 5; 7; 10*	-	4; 8; 16	1,25	0,5 – 1,0	-	47,5	53		
ВА53-39	160; 250; 400; 630		55						60			
ВА53-41	1000		13						14			
ВА53-43	1600		5						0			
ВА53-37	160; 250; 400		2; 3; 5; 7; 10						0,1 0,2 0,3	20	32,5	38
ВА55-39	160; 250; 400; 630		25							47,5	53	
ВА55-41	1000		25							55	60	
ВА55-43	1600		31							80	85	

Действующее значение тока.

- Ток срабатывания электромагнитного расцепителя равен 120% наибольшей уставки отсечки полупроводникового расцепителя.

Таблица П.9.6

Автоматические выключатели ВА51 и ВА52 с тепловыми и электромагнитными расцепителями на напряжение до 660 В.

Тип	Номинальный ток выключателя, $I_{В,НОМ}$, А	Номинальный ток расцепителя $I_{PC,НОМ}$, А	$\frac{I_{C3}^I}{I_{PC,НОМ}}$	I_{C3}^I для исполнения без тепловых расцепителей, А	$\frac{I_{C3}^{III}}{I_{PC,НОМ}}$	ПКС в цепи 380 В, $I_{ПКС}$, кА	
						ВА51	ВА52
ВА51-25	25	6,3; 8,0	7;10;	-	1,35	2	-
		10; 12,5;				2,5	
		16; 20; 25				3,8	
ВА51Г25	25	2; 2,5; 3,15; 4; 5; 6,3; 8	14;	-	1,2	1,5	-
		10; 12,5;				2	
		16; 20; 25				3	
ВА51-31 ВА52-31	100	16;	3;7;10	-	1,35	4,5	13
		20; 25				5	13
		31,5; 40				6	16
		50; 63				6	20
		80; 100				1,25	6
ВА51Г31 ВА52Г31	100	16; 20; 25	14	-	1,2	3,6	13
		31,5; 40				6	16
		50; 63				6	20
		80; 100				6	28
ВА51-33 ВА52-33	160	80; 100	10	-	1,25	12,5	30
		125; 160					38
ВА51Г33 ВА52Г33	160	80; 100	14	-	1,2	12,5	30
		125; 160					38
ВА51-35 ВА52-35	250	100;	12	1000; 1250; 1600; 2000; 2500;	1,25	12	30
		125				15	30
		160; 200; 250				18	30
ВА51-35 ВА52-35	400	250; 320; 400	10	1600; 2000; 2500; 3200; 4000	1,25	25	30
ВА51-39 ВА52-39	630	250; 320	10	2500; 3200; 4000; 5000; 6300	1,25	35	40
		400; 500					
		630					

Плавкие предохранители на напряжение до 660 В.

Тип	Номинальный ток, А		Предельный отключаемый ток, $I_{ПР.ОТК}$, кА	
	Патрон предохранителя, $I_{ПР.НОМ}$	плавкой вставки, $I_{ВС.НОМ}$	380 В	660 В
НПН2-60	60	6; 10; 16; 20; 25; 32; 40; 63	10	-
ПН2-100	100	31,5; 40; 50; 63; 80; 100	100	
ПН2-250	250	80; 100; 125; 160; 200; 250;	100	
ПН2-400	400	200 ;250; 315; 355 ;400;	40	
ПН2-600	630	315; 400; 500; 630;	25	
ПН17	1000	500; 630 ;800; 1000	120	
ПП24	25	4; 6,3; 10; 16; 20; 25	-	
	63	25; 40; 50; 63 ;		
	100	63 ;80 ;100		
ПП38*	1000; 2000	1000; 2000	200	-
ПП40*	100	25 ;40; 63; 100;	200	100
	250	100; 160 ;200; 250;		
	400	250; 320; 400;		
	630	400 ;500; 630		
ПП63*	1250**	1250 ;	-	200
	1600**	1600		
ПП71*	750**	40; 63; 100; 160; 250; 400; 630; 750	-	200

* Предохранители для защиты полупроводниковых установок.

** Предохранители на номинальное напряжение 1000 В.

Библиографический список

1. Федоров А. А. Основы электроснабжения промышленных предприятий / А. А. Федоров, В. В. Каменева.– М.: Энергоатомиздат, 1984.
2. Мукосеев Ю. Л. Электроснабжение промышленных предприятий / Ю.Л. Мукосеев.– М.: Энергия, 1973.
3. Князевский Б. А. Электроснабжение промышленных предприятий. / Б.А. Князевский, Б.Ю. Липкин.– М.: Высшая школа, 1986.
4. Федоров А. А. Учебное пособие для курсового и дипломного проектирования по электроснабжению промышленных предприятий. / А. А. Федоров, Е. Л. Старкова.– М.: Энергоатомиздат, 1987.
5. Справочник по электроснабжению и электрооборудованию / под ред. А. А. Федорова – М.: Энергоатомиздат,– Т. 1, Электроснабжение, 1986.
6. Кузнецов Р. С. Аппараты распределения электрической энергии на напряжение до 1000 В. / Р.С. Кузнецов.– М.: Энергия, 1970.
7. Родштейн Л. А. Электрические аппараты / Л.А. Родштейн.– Л.: Энергоиздат, 1981.
8. Петин О. В. Испытания электрических аппаратов / О.В. Петин, Е.Ф. Щербаков.– М.: Высшая школа, 1985.
9. Беляев А. В. Выбор аппаратуры, защит и кабелей в сетях 0,4 кВ / А.В. Беляев. – Л.: Энергоатомиздат, 1988.
10. Кудрин Б. И. Электроснабжение промышленных предприятий / Б.И. Кудрин.– М.: Интермет Инжиниринг, 2005.