

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего  
образования

**«Владимирский государственный университет  
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»  
(ВлГУ)**

**В.А. ШАХНИН**

## **Методические рекомендации к выполнению курсовой работы**

по дисциплине «Средства и методы диагностики высоковольтного оборудования».  
для студентов, обучающихся в магистратуре по направлению 13.04.02  
Электроэнергетика и электротехника (электронный ресурс)



Владимир - 2016 г.

Составитель: Шахнин В.А.

Методические рекомендации к выполнению курсовой работы по дисциплине «Средства и методы диагностики высоковольтного оборудования» для студентов, обучающихся в магистратуре по направлению 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника (электронный ресурс) – Владимир: Изд-во ВлГУ, 2016. - с. 44.

Изложены требования к содержанию, объёму и оформлению курсовых работ по дисциплине «Средства и методы диагностики высоковольтного оборудования». Приведены методики проектирования и примеры расчётов основных узлов средств диагностики высоковольтного оборудования различных типов. Приложение содержит справочные материалы.

Предназначено для студентов, обучающихся в магистратуре по направлению 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника. Рекомендован для формирования профессиональных компетенций в соответствии с ФГОС 3-го поколения.

Рецензент - заслуженный деятель науки Р.Ф.,  
д.т.н., профессор Л.М. Самсонов

## О Г Л А В Л Е Н И Е

ВВЕДЕНИЕ .....	3
1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ И РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ КУРСОВОЙ РАБОТЫ .....	3
1.1. Содержание курсовой работы .....	3
1.2. Требования к пояснительной записке и графической части курсовой работы.....	4
2. ТЕМАТИКА КУРСОВЫХ РАБОТ .....	7
3. АНАЛИЗ ДИАГНОСТИРУЕМОЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ..	8
4. ВЫБОР СРЕДСТВ ДИАГНОСТИКИ И СХЕМ ИХ ПОДКЛЮЧЕНИЯ	9
5. ВЫБОР И РАСЧЁТ СЕЧЕНИЙ ПРОВОДОВ И КАБЕЛЕЙ.....	13
6. РАСЧЁТ ТОКОВ КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЙ.....	14
7. ПРИМЕР ВЫБОРА СРЕДСТВ ДИАГНОСТИКИ И СХЕМ ИХ ПОДКЛЮЧЕНИЯ .....	17
8. ПРИМЕР ВЫБОРА СЕЧЕНИЙ ПРОВОДОВ ВЛ 110 КВ .....	21
9. ПРИМЕР ВЫБОРА СЕЧЕНИЯ ЖИЛ ТРЕХФАЗНОГО КАБЕЛЯ.....	21
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	22
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	33

## **ВВЕДЕНИЕ**

Курсовая работа по дисциплине «Средства и методы диагностики высоковольтного оборудования» является важнейшим звеном в подготовке для студентов, обучающихся в магистратуре по направлению 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника.

**Цель выполнения курсовой работы:** приобретение навыков самостоятельной постановки и решения задач, не имеющих однозначных стандартных ответов в сфере анализа и управления состоянием высоковольтного оборудования. Достижение названной цели требует от обучающихся глубоких знаний теории, умения работать с научно-технической литературой и творческого мышления, т.е. того, что необходимо для успешной профессиональной деятельности после завершения обучения в магистратуре университета.

При выполнении курсовой работы студент должен опираться на определенный опыт проектирования элементов систем электроснабжения, приобретенный ранее при выполнении курсовых проектов и работ по дисциплинам бакалавриата "Электрические сети и системы" и «Релейная защита и автоматизация систем электроснабжения»

### **1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ И РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ КУРСОВОЙ РАБОТЫ**

#### 1.1. Содержание курсовой работы.

Содержание курсовой работы определяется заданием, которое выдается преподавателем и оформляется по форме, приведенной в прил. 1.

Схема системы электроснабжения, для которой проводится разработка средств диагностики высоковольтного оборудования, приведена в прил. 2. Целесообразно включение в курсовую работу следующих основных разделов:

- анализ системы электроснабжения;
- выбор мест установки и типов средств диагностики системы электроснабжения с обоснованием и кратким описанием принципов действия;

- расчёт сечения и выбор проводников линий;
- расчёт токов коротких замыканий;
- выбор и расчет отдельных элементов средств диагностики системы электроснабжения в соответствии с заданием;
- выбор и расчетная проверка трансформаторов тока, а также определение сечений соединительных проводов в соответствии с заданием;
- разработка принципиальных электрических схем подключения средств диагностики;
- графическая часть (структурные и принципиальные схемы отдельных элементов средств диагностики).

## 1.2. Требования к пояснительной записке и графической части работы

Пояснительная записка курсовой работы должна иметь следующую структуру:

- титульный лист;
- введение;
- изложение основных результатов работы (3-4 главы);
- заключение;
- библиографический список;
- оглавление.

*Введение.* Во введении должны быть кратко отражены современное состояние в области средств автоматизированного анализа и управления состоянием высоковольтного оборудования систем электроснабжения и актуальность выбранной темы, определены методы решения поставленных задач и сформулирована цель работы. Объем введения — не более двух страниц.

*Основные результаты работы.* В первой и последующих главах должны быть представлены результаты работы согласно заданию. Каждая глава должна заканчиваться выводами, в которых в краткой форме даются результаты данного этапа работы и конкретизируются задачи и методы их решения в последующих главах.

*Заключение.* В заключении формулируются главные выводы проектирования, показывающие достигнутый уровень в решении проблемы. Объем заключения — обычно одна страница.

*Библиографический список.* В список, с указанием библиографических данных, включается литература по усмотрению автора пояснительной записки. Если в работе сделаны ссылки на научную информацию, позволяющую принять конкретное решение, включение в список литературы первоисточника обязательно. Список оформляется по ГОСТ 7.1-2003 «Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления».

Пояснительная записка печатается на одной стороне белой бумаги формата А4 (гарнитура *Times New Roman*, кегль 12) через полтора интервала. Для разворотных таблиц и рисунков допускается формат А3 (297x420 мм). Заголовки таблиц, названия схем можно печатать через один интервал.

Напечатанный текст должен иметь следующие поля страницы:

- верхнее и нижнее - 20,
- левое - 30,
- правое — 10 мм.

Абзацный отступ равен пяти 1,25 мм. Заголовки глав и параграфов отделяются от текста сверху и снизу тремя интервалами. Текст печатается строчными буквами. Заглавными (прописными) буквами печатаются аббревиатуры, а также названия глав, слова "ВВЕДЕНИЕ" и "ЗАКЛЮЧЕНИЕ". Знаки, символы, обозначения, а также математические формулы могут быть набраны на компьютере с использованием формульных редакторов, желательно, *Math Type*.

На всех листах (кроме титульного) пояснительной записки и графической части курсовой работы должны быть рамки и основные надписи (штампы), выполненные в соответствии с требованиями «ЕСКД. Основные надписи. ГОСТ 2.104-2006». Каждая глава пояснительной записки начинается с новой страницы. Страницы пояснительной записки нумеруются от титульного листа и до последнего, цифра 1 на титульном листе не ставится. Нумерация страниц выполняется арабскими цифрами в нижнем правом углу колонтитула.

На первом листе «СОДЕРЖАНИЕ» размещается рамка с основной

надписью, выполненной согласно рис. 1.1. В поле 1 указывается фамилия студента; в поле 2 – преподавателя; в поле 7 – тема курсовой работы; в поле 11 – шифр академической группы, в поле 8 – буквенно-цифровое обозначение курсовой работы. На последующих страницах пояснительной записки размещается рамка со штампом согласно рис.1.2.

					Поле 8			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата				
Разраб.	Поле 1				Поле 7 Пояснительная записка	Лит.	Лист	Листов
Пров.	Поле 2		Поле 5	Поле 6		У	Поле 9	Поле 10
Н. контр.	Поле 3					Поле 11		
Утв.	Поле 4							

Рис. 1.1

					Поле 8		Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата			Поле 9

Рис. 1.2

Для курсовых работ рекомендуется следующее буквенно-цифровое обозначение (поле 8):

ВлГУ. 13.04.02. ЭТ<sub>м</sub>-115. 08. 5. 00 ПЗ,  
 1 2 3 4 5 6 7

где 1 - название вуза;

2 – шифр направления подготовки;

3 - номер группы;

4 – порядковый номер студента в списке группы

5 - шифр работы (5 - курсовая работа);

6 - номер документа (пояснительная записка - 00);

7 - код документа (ПЗ –пояснительная записка).

При выполнении графического материала желательно использование системы *AutoCAD*.

Приложения нумеруются арабскими цифрами (без значка №) и имеют названия.

В тексте должна быть соблюдена соподчиненность глав, параграфов и пунктов. Нумерация глав параграфов выполняется арабскими цифрами, которые отделяются от названий точкой. Номер параграфа состоит из цифры, обозначающей номер главы, и цифры, обозначающей его порядковый номер в составе главы, отделенных друг от друга точкой.

Ориентировочный объем пояснительной записки — в среднем 20-25 страниц.

## **2. ТЕМАТИКА КУРСОВЫХ РАБОТ**

- Разработка первичных преобразователей для диагностического комплекса силового трансформатора.
- Разработка элементов системы обработки информации для диагностического комплекса силового трансформатора.
- Разработка первичных преобразователей для диагностического комплекса высоковольтного выключателя.
- Разработка элементов системы обработки информации для диагностического комплекса высоковольтного выключателя.
- Разработка элементов системы тепловизионного мониторинга высоковольтного оборудования электрической подстанции.
- Разработка элементов системы электрошумового мониторинга высоковольтного оборудования электрической подстанции.
- Разработка элементов системы вибрационного мониторинга высоковольтного оборудования электрической подстанции.
- Разработка элементов системы СВЧ мониторинга высоковольтного оборудования электрической подстанции.

Возможны и другие темы курсовых работ, например, связанные с исследовательской или практической деятельностью магистранта или с предполагаемой тематикой выпускной-квалификационной работы (ВКР) магистра.

### 3. АНАЛИЗ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Схема системы электроснабжения промышленного предприятия, для которой предстоит разработать средства диагностики высоковольтного оборудования, выдается студенту вместе с заданием на курсовую работу. Перед выполнением курсовой работы необходимо глубоко изучить эту схему, кратко описать в пояснительной записке ее основные элементы, проанализировать достоинства и недостатки.

Электроснабжение промышленных предприятий обычно осуществляется питающими линиями 10(6) кВ от распределительных устройств того же напряжения электростанций или крупных подстанций (рис. 1, а). Применяется также питание от указанных источников, но по линиям более высокого напряжения (35—220 кВ) с помощью подстанций глубокого ввода (ПГВ) [1]. Соответствующая схема приведена на рис. 1, б. В первом случае на предприятие вводят питающие линии от центров питания до главных понизительных подстанций (ГПП) или центральных распределительных пунктов (ЦРП). Распределительные сети 10(6) кВ связывают ГПП и ЦРП с распределительными пунктами, цеховыми понизительными или преобразовательными подстанциями (ТП, П11) и крупными электроприемниками.

Кабельные распределительные сети 6 и 10 кВ промышленного предприятия обычно состоят из радиальных линий (см. рис. 1, а). Надежность электроснабжения ответственных электроприемников обеспечивается за счет питания от двух независимых источников или от двух систем шин (секций) одного источника, а также применения устройств автоматического включения резерва. Параллельная работа предусматривается обычно только для питающих линий.

При больших токах нагрузки (2000 А и выше) для питания цеховых подстанций применяются токопроводы с жесткими шинами или гибкими проводами. Токопроводы существенно отличаются от воздушных и кабельных линий электропередачи механическими и электрическими параметрами [2]. При использовании токопроводов схема электроснабжения цеховых понизительных и преобразующих подстанций строится по магистральному принципу (рис. 3). В схемах с глубоким высоковольтным вводом

(см. рис. 1, б) распределительные устройства ПГВ выполняют роль распределительных подстанций.

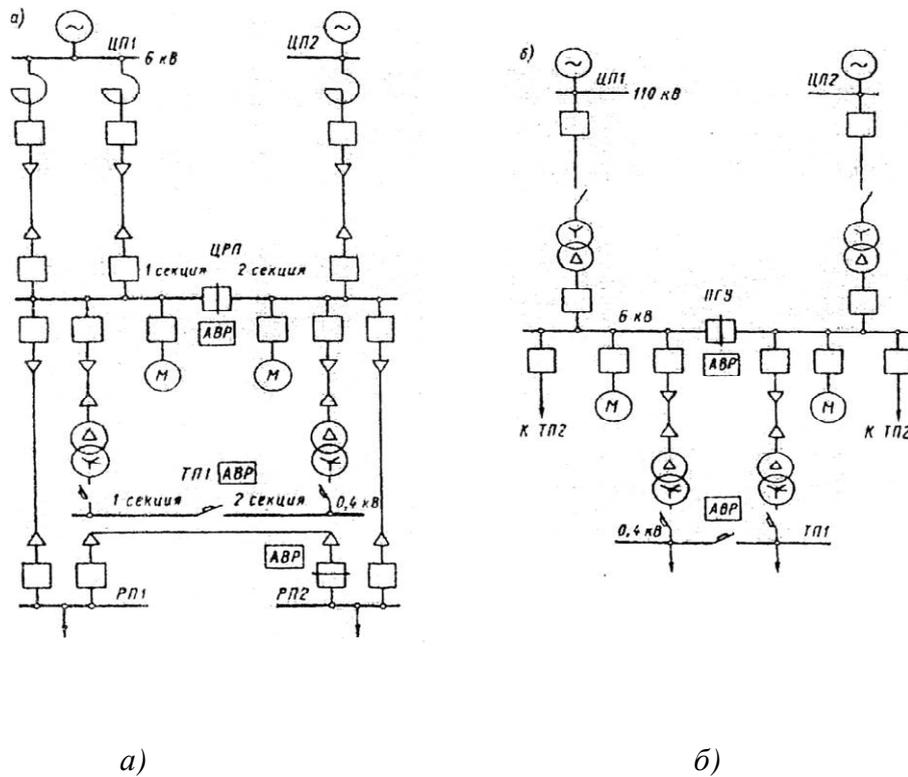
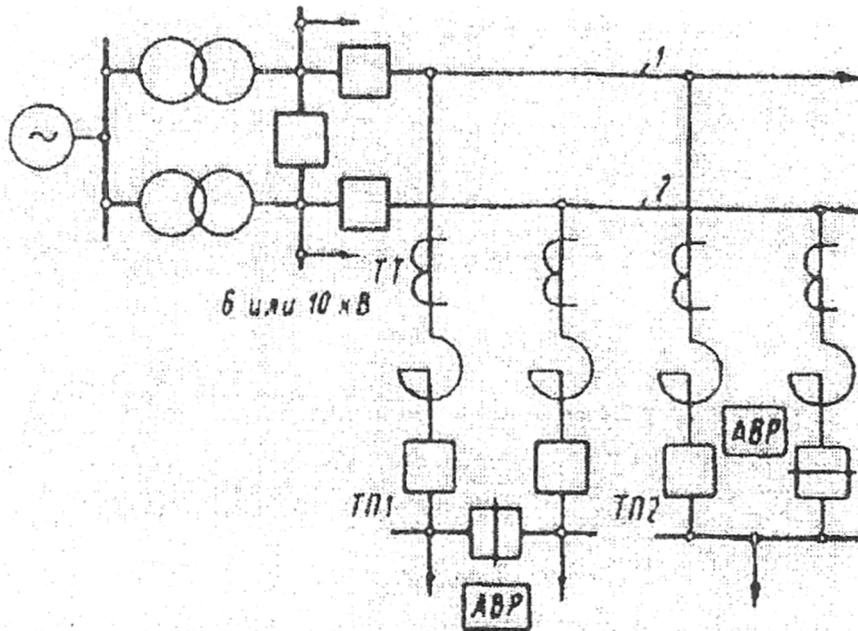


Рис. 1. Схемы электроснабжения промышленных предприятий: а - с питающими кабельными линиями 10(6) кВ; б - с высоковольтным вводом 110 кВ



*Рис. 2. Схема электроснабжения промышленного предприятия с применением токопроводов*

#### **4. ВЫБОР МЕСТ УСТАНОВКИ И ТИПОВ СРЕДСТВ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО АНАЛИЗА И УПРАВЛЕНИЯ СОСТОЯНИЕМ ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

При выборе мест установки и типов средств автоматизированного анализа и управления состоянием высоковольтного оборудования целесообразно руководствоваться информацией, представленной в табл.1. Типовая схема подключения средств автоматизированного анализа и управления представлена на рис. 3.

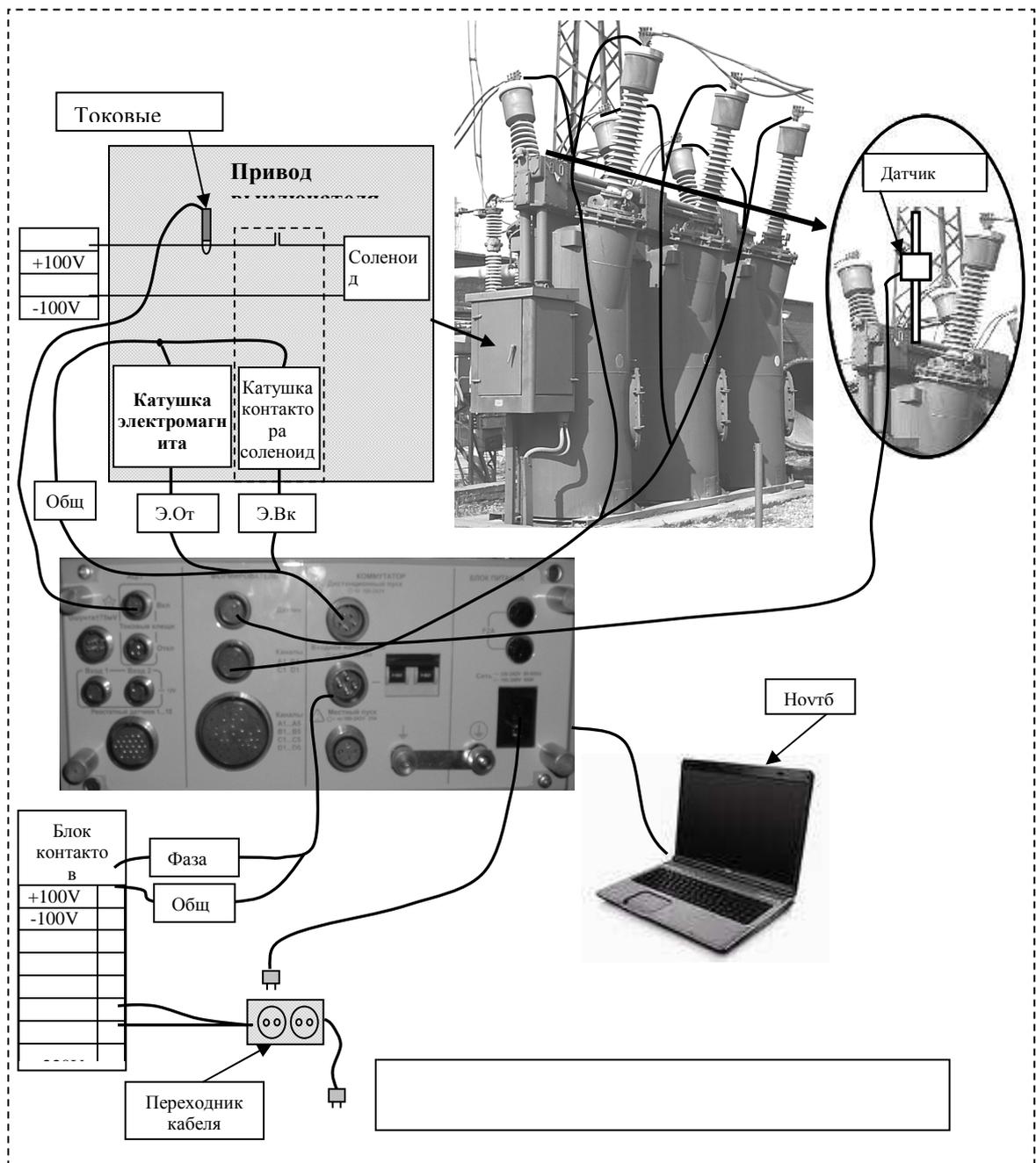


Рис.3. Типовая схема подключения

Таблица 1

## Сравнительная характеристика приборов группы ПКВ

Наименования характеристик	ПКВ/М6Н	ПКВ/М7 (замена ПКВ/М5Н)	ПКВ/У3.0 ПКВ/У3.1
Виды выключателей	Масляные, вакуумные, элегазовые, электромагнитные		Все виды выключателей на все классы напряжения
Количество дискретных каналов контроля	3	4	20
Количество каналов контроля положения датчиков сопел	—	—	2 или 12
Диапазон измерения временных характеристик, с	0,001...5,2	0,001...5,2	0,001...8
Погрешность измерения временных характеристик, мс	±0,1	± 0,1	± 0,1.....± 0,3
Диапазон измерения скорости, м/с	0...20	0.....20	0 .....20
Погрешность измерения скорости, %	4	2	4
Диапазон измерения хода, мм	0,5...900	0,5...900	0,5...900
Дискретность измерения линейных перемещений, мм	0,5	0,5	0,5
Погрешность измерения хода: датчиком ДП12, мм датчиком ДП21, град.	± 1 ± 0,2	± 1 ± 0,2	± 1 ± 0,2
Порог срабатывания защиты силового коммутатора при превышении тока, А	—	16...20	58
Максимальный выходной ток коммутатора, А	—	15	35

При постоянном напряжении В	100.....340	100.....340	100.....340
Напряжения сети при 50Гц ,В	100.....240	100.....240	100.....240
Диапазоны измерения сопротивления штатного резистивного датчика элегазовых выключателей, Ом	—	0...160 или 0...2500	0...160 или 0...2500
Диапазон измерения тока, А		0.....15	0.....35
Габариты измерительного блока (ширина *высота * глубина), мм	210*235*75	360*290*165	300 * 140 * 400
Масса измерительного блока, кг	3	7	8
Масса укладочного ящика с ЗИП, кг	12	12	12
Температурный диапазон эксплуатации измерительного блока, °С	-20 ... +50°С	-15 ... +40°С	-15 ... +40°С
Комплект	измерительный блок, укладочный ящик, датчики перемещения, крепежные приспособления, кабели, эксплуатационная документация, сумка для переноски измерительного блока.	измерительный блок, укладочный ящик, датчики перемещения, крепежные приспособления, кабели, эксплуатационная документация, сумка для переноски кабелей.	измерительный блок, укладочный ящик, датчики перемещения, крепежные приспособления, кабели, эксплуатационная документация, сумка для переноски измерительного блока.
Продукция по дополнительному заказу к прибору	Пульт ПУВ-10, ПУВ-50 или ПУВ-регулятор	Токовые клещи на токи 20А, 50А, 100А, 200А или 400А. Пульт ПУВ-50 или ПУВ-регулятор. Ноутбук.	Токовые клещи на токи 20А, 50А, 100А, 200А или 400А. Пульт ПУВ-50 или ПУВ-регулятор. Ноутбук.

Индивидуальные преимущества	<p>Предельно прост в использовании. Для персонала не высокой квалификации.</p> <p>Особенно хорош для контроля вакуумных и масляных выключателей.</p> <p>Отсутствует возможность передачи данных в компьютер.</p> <p>Имеется сертификат.</p> <p>Занесен в Госреестр средств измерений РФ.</p>	<p>Самый совершенный прибор. Для подготовленных пользователей. При контроле элегазовых выключателей более предпочтителен, чем ПКВ/М6Н и ПКВ/М5Н. Очень удобный корпус.</p> <p>Занесен в Госреестр средств измерений РФ.</p>	<p>Наиболее универсальный прибор. Обязательно необходим при наличии даже одних воздушных выключателей.</p> <p>Особенно выгоден, когда кроме воздушных имеются и другие виды выключателей.</p> <p>Занесен в Госреестр средств измерений РФ.</p>
-----------------------------	--	---	--

## 5. ВЫБОР И РАСЧЕТ СЕЧЕНИЙ ПРОВОДОВ И КАБЕЛЕЙ

В простейшем случае выбор сечений проводов и кабелей подключения средств автоматизированного анализа и управления состоянием высоковольтного оборудования производится с использованием таблицы экономической плотности тока (табл. П.2) и формулы  $F=I/j_{эк}$ , где  $I$  - расчетный ток линии, А;  $j_{эк}$  — рекомендуемая экономическая плотность тока. Выбирается ближайшее стандартное сечение, превышающее результат расчета.

Однако выбор проводов и кабелей таким способом не соответствует минимуму приведенных затрат. Графики зависимостей приведенных затрат от силы тока в линии  $З=f(I)$  для стандартных сечений представляют собой серию пересекающихся параболических кривых. Абсциссы точек пересечения этих графиков соответствуют значениям силы тока  $I$ , при которых целесообразен переход от одного сечения к другому, т.е. определяют границы экономических интервалов сечений. С использованием зависимостей  $З=f(I)$  построены номограммы экономических интервалов для линий электропередачи различных напряжений и исполнений. Эти номограммы, а также данные табл. П.3 и графики рис. П.1 и рис. П.2 обычно используют для определения сечений проводов и кабелей. В приложении на рис. П.3 - П.8 приведены

номограммы для ряда воздушных и кабельных линий. Для выбора сечений кабелей можно воспользоваться данными табл. П.4 и П.5. При этом длительно допустимое значение силы тока  $I_{доп}$  определяется выражением  $I_{доп} = I_{расч} / K_{пер} * K_{сн}$ , где  $I_{расч} = S_{нагр} / \sqrt{3} U_{ном}$ ;  $K_{пер}$  - коэффициент допустимой перегрузки (табл. П.6);  $K_{сн}$  - коэффициент снижения (табл. П.7).

## 6. РАСЧЕТ ТОКОВ КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЙ

Расчет токов к.з. необходим для правильного выбора элементов и настроек диагностических средств автоматизированного анализа и управления состоянием высоковольтного оборудования систем электро-снабжения, для проверки их чувствительности в зоне действия и отстроенности от оборудования вне этой зоны. В электроустановках переменного тока напряжением выше 1000 В расчет токов к.з. должен проводиться в соответствии с ГОСТ.

Для расчета токов трехфазных к.з. целесообразно воспользоваться схемой замещения прямой последовательности. Составление такой схемы заключается в замене элементов сети на исходной схеме их сопротивлениями для токов прямой последовательности и выборе расчетных точек к.з. Сопротивления всех элементов определяются в Омах по формулам табл.2. При этом за расчетные принимаются следующие средние значения напряжений  $U_{ср.ном}$ : 3,15; 6,3; 10,5; 37; 115; 230; 340; 515; 770; 1150 кВ.

Таблица 2

*Сопротивления элементов схемы*

Наименование элемента	Формула для расчета сопротивления
Воздушная или кабельная линия	$X_l = X_{лкм} * L_{км}$ $R_l = R_{лкм} * L_{км}$
Трансформатор	$X_{тр} = \frac{U_k \% * U_{ср.ном}^2}{100 * S_{тр.ном}}$
Реактор	$X_p = \frac{X \% * U_{ср.ном}}{100 * \sqrt{3} I_{р.ном}}$
Любая обобщенная нагрузка, синхронная или асинхронная машина	$X'' = \frac{X \% * U_{ср.ном}^2}{S_{ном}}$
Система: а) При известном токе к.з.;	$X_c = \frac{U_{ср.ном}}{\sqrt{3} I''_{к.з}}$

б) при известной мощности к.з.	$X_C = \frac{U_{\text{ср.ном}}^2}{S_{\text{к.с}}}$
--------------------------------	--

Для выбора средств диагностики высоковольтного оборудования необходимо рассчитать токи трехфазных к.з. в определенных характерных точках. На каждой линии намечается, как минимум, три расчетные точки - в начале, середине и конце, что позволяет при выборе защит построить кривую изменения первичного тока в защите при перемещении точки к.з. вдоль линии. Если на линии есть ответвление, к которому подключается подстанция, то допустимо разделить линию на части в соответствии с местоположением ответвления. К расчетным точкам относят также шины подстанций, стороны высшего и низшего напряжений трансформаторов.

Погонные активные и индуктивные сопротивления проводов и кабелей приведены в табл. П.8 и П.9.

В современных энергосистемах токи при несимметричных к.з. и замыканиях на землю иногда превышают токи трехфазных к.з. В связи с этим возникает необходимость расчета эквивалентных схем обратной и нулевой последовательностей.

Схема обратной последовательности аналогична схеме прямой последовательности, за исключением сопротивлений синхронных и асинхронных машин. Для генераторов обычно принимают  $X_2 = 1,22X_d''$ , для нагрузки —  $X_{2н} = 0,35X_{1н}$ .

Схема нулевой последовательности сильно отличается от схемы прямой последовательности. В эту схему входят сопротивления нулевой последовательности линий и сопротивления трансформаторов с соединением обмоток "звезда-треугольник", нейтрали которых заземлены, а также автотрансформаторов, В табл. 3 даны сопротивления нулевой последовательности ряда элементов, выраженные через сопротивления прямой последовательности.

Таблица 3  
*Сопротивление нулевой  
 последовательности*

Элементы схемы	Сопротивление нулевой последовательности $X_0$
Одноцепная ВЛ: а) без тросов; б) со стальными тросами	$3,5X_1$ $3,0X_1$
Двухцепная ВЛ: а) без тросов; б) со стальными тросами	$5,5X_1$ $4,7X_1$
Трехжильные кабели	$(3,5-4,6)X_1$
Трансформаторы: а) двухобмоточные ( $Y_0/\Delta$ ); б) трехстержневой ( $Y_0/$ $Y$ );	$X_1$ $0,5X_1 + X_{\mu 0}$

### **7. ПРИМЕР ВЫБОРА ТИПА И СХЕМЫ ПОДКЛЮЧЕНИЯ СРЕДСТВ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО АНАЛИЗА И УПРАВЛЕНИЯ СОСТОЯНИЕМ ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

В качестве примера приведём методику выбора приборов контроля высоковольтных выключателей ПКВ/М6, ПКВ/М7, ПКВ/У3.

На первом этапе, руководствуясь табл. 4, определим типы масляных, элегазовых, вакуумных и электромагнитных выключателей, для контроля которых адаптированы приборы ПКВ/М6, ПКВ/М7 и ПКВ/У3.

Таблица 4

## Типы выключателей

<i>Тип выключателя</i>	Вид контролируемого перемещения	Датчик	<i>Марка выключателя</i>
Масляные	Поступательное	ДП12	МКП-220, У-220, МКП-110, У-110, ВБД-35, МКП-35, С-35, У-35, ВМГ-10, ВМГ-133, ВМП-10, ВМПП-10, ВМПЭ-10, ВПМ-10, МГГ-20, МГГ-229, МГГ-529, МГ-10, МГГ-10
	Вращательное	ДП21	ВМТ-220, ВМТ-110, ВМТ-150, ВМ-35, ВМД-35, ВТ-35, ВТД-35, ВМУЭ-35, ВМУЭ-27,5, ВМКЭ-35, ВК-10, ВКЭ-10
Электро-Магнитные	Вращательное	ДП21	ВЭ-6, ВЭС-6
Элегазовые	Поступательное	ДП12	ВГУ-500, ВГУ-330, ВГУ-220, ВГТ-220, ВГТ-110, ВЭБ-110, ВГП-110, ВГП-220, ВБ-110, ВГО-110
	Вращательное	ДП21	ВГК-220, ВГБ-35, ВГБУ-110, ВГБУ-220, ВГГ-20, ВГ-110, ВГ-220, выключатели Siemens, ABB, Areva
		Резистивный датчик	ВГУГ-500, ВГУГ-330, ВГУГ-220, ВГК-220, ВГБУ-110, ВГБУ-220
Вакуумные	Специальное устройство из ЗИП выключателя		ВБН-27,5, ВБН-35, ВБУ-35, ВБЦ-35, ВВС-27,5, ВВС-35

Воздушные	Датчик не используется	ВВБ-750, ВВБ-500А, ВВБК-500, ВВД-330, ВВБ-330, ВВБК-330, ВВБМ-330 с датчиками дополнительного дутья, ВВБК-500, ВВД-330, ВВБ-330, ВВБК-330, ВВБМ-330 без датчиков дополнительного дутья, ВНВ-500-40, ВНВ-330-40, ВНВ-500-63, ВНВ-330-63, ВНВ-220-63, ВВД-220, ВВД-220Б, ВБК-220Б, ВВН-220-10, ВВШ-220-10, ВВН-220-15, ВВШ-220-15, ВВН-158-4, ВВШ-150, ВВБ-110, ВБК-110, ВВБМ-110Б, ВВН-110, ВВШ-110, ВВУ-110А, ВВУ-35А, ВВ-15, ВВН-35, ВВ-20У, ВВГ-20, ВВОА-15, КАГ-24-30А, ВНСГ-15, ВВЧП-15, КАГ-15-75, ВВ-500, ВВМ-500, ВВ-330Б, ВВН-330, ВВШ-330, ВО-1150, ВНВ-1150, ВО-750-У1
-----------	------------------------	--

На следующем этапе уточняется возможность контроля выбранными приборами параметров выключателя перед началом ремонта (для выявления скрытых дефектов), после завершения ремонта (для подтверждения качества его выполнения), а также при профилактических обследованиях состояния коммутационного оборудования. Контроль заключается в синхронном измерении комплекса характеристик при пуске выключателя и дальнейшем анализе полученных значений.

Далее для масляных выключателей скоростные характеристики и характеристики хода контролируются с помощью точных цифровых датчиков линейных (ДП12) и угловых (ДП21) перемещений, входящих в комплект прибора. Для элегазовых выключателей скоростные характеристики контролируются либо с помощью датчиков линейных (ДП12) или угловых (ДП21) перемещений либо с помощью штатных контактных или потенциометрических датчиков выключателя. Для некоторых типов вакуумных выключателей скоростные характеристики измеряются посредством штатных контактных датчиков выключателя.

Кроме таблиц цифровых значений параметров, информацию о состоянии выключателей можно извлечь из следующих регистрируемых графиков процессов:

- зависимости хода от времени;

- зависимости скорости от времени или от хода;
- зависимости токов и напряжения электромагнитов от времени или от хода;

зависимости процессов замыкания и размыкания контактов полюсов выключателя от времени или от хода.

В качестве примера на рис. 4 приведена схема подключения прибора к выключателю, имеющему 4 разрыва на полюс, при использовании местного пуска.

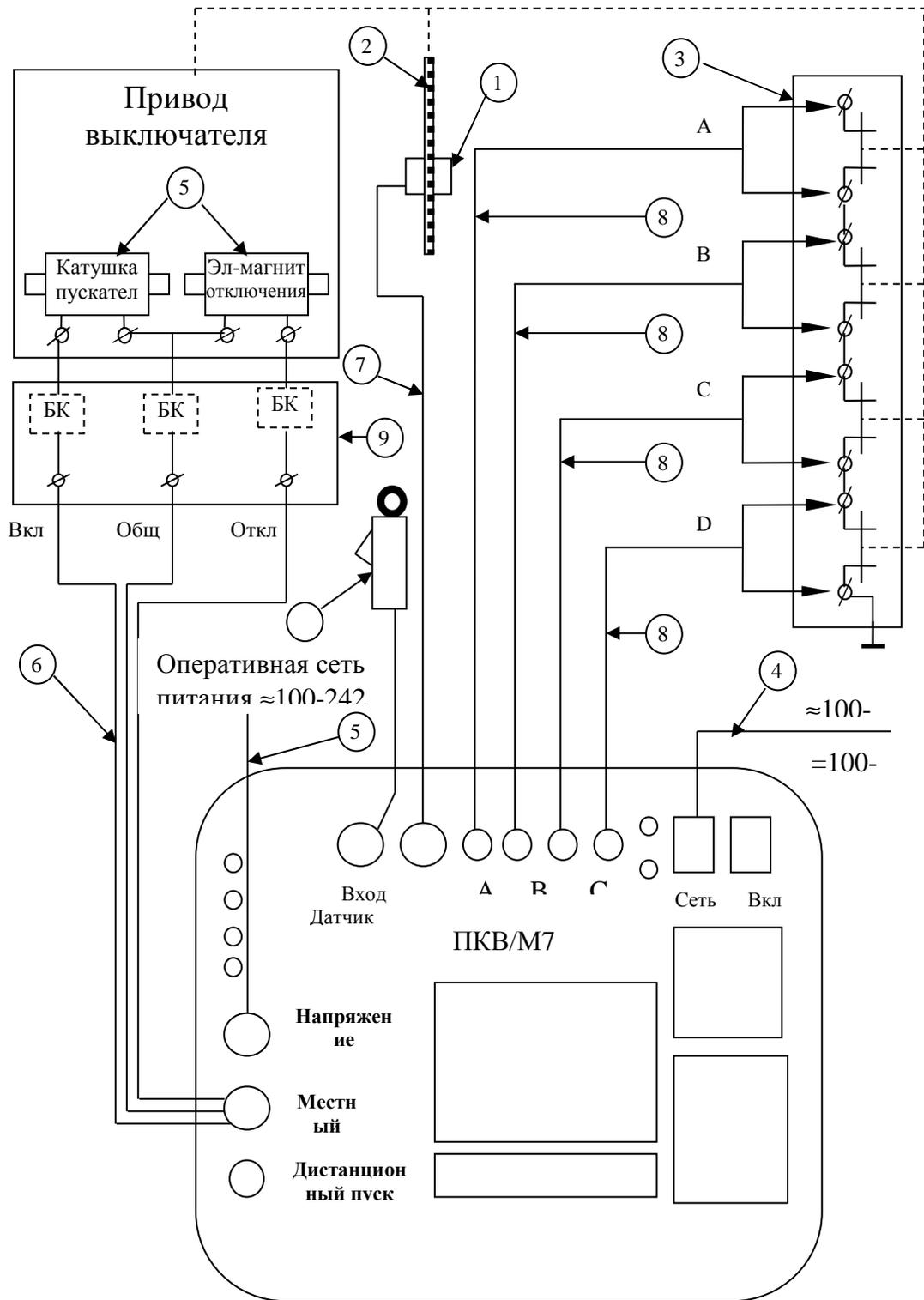


Рис.4. Схема подключения прибора к выключателю, имеющему 4 разрыва на полюс, при использовании местного пуска.

1 – датчик перемещения (ДП12 или ДП21); 2 – измерительный стержень (для датчика ДП12; 3 – полюс выключателя; 4 – сетевой кабель; 5 – кабель питания коммутатора; 6 – кабель местного пуска; 7 – кабель датчика; 8 – кабели полюсов А, В, С, D; 9 – блок-контакты выключателя (БК); 10 –

## 8. ПРИМЕР ВЫБОРА СЕЧЕНИЙ ПРОВОДОВ ВЛ 110 КВ

Исходные данные: напряжение  $U_n = 110\text{кВ}$ ; максимальный ток  $I_{\max} = 100\text{А}$ ; количество часов использования максимума  $T_{\max} = 5000$  ч/год; нормативный коэффициент эффективности введения линии в строй  $E_n = 0,15$ ; климатическая зона — центр России; тип опор - стальные, одноцепные. Для выбора сечения проводов применим метод *экономических интервалов*. Во-первых, по табл. П.3 находим нормативный коэффициент амортизации  $p_a = 0,024$ .

Далее, используя график рис. П.1, по заданному значению  $T_{\max}=5000$  ч/год находим значение времени потерь  $T=3000$  ч/год.

С учетом климатической зоны по графику зависимости  $C_3 = f(\tau)$  (рис. П.2) определяем удельную стоимость потерь энергии  $C_3 \approx 2,35$  руб/кВт-ч.

Вычисляем значение:

$$\sqrt{\sigma} = \sqrt{\frac{E_n + p_a}{\tau C_3}} = \sqrt{\frac{0,15 + 0,024}{3000 \cdot 2,35}} = 4,96 \cdot 10^{-3} \left( \frac{\text{кВт}}{\text{руб}} \right)^{1/2}$$

На рис.П.5 по значениям  $I_{\max}=100\text{А}$  и  $\sqrt{\sigma} = 4,96 \cdot 10^{-3} \left( \frac{\text{кВт}}{\text{руб}} \right)^{1/2}$

находим точку  $N_1$ , попадающую в зону экономического сечения  $F_{\text{ЭК}}=150 \text{ мм}^2$ .

## 9. ПРИМЕР ВЫБОРА СЕЧЕНИЯ ЖИЛ ТРЕХФАЗНОГО КАБЕЛЯ

Исходные данные: напряжение  $U_n = 10\text{кВ}$ ; мощность нагрузки  $S_{\text{нагр}} = 2000 \text{ кВ} \cdot \text{А}$ , материал жил — алюминий; тип линии — одиночный кабель в траншее. Определяем длительно допустимую токовую нагрузку

$$I_{\text{доп}} = I_{\text{расч}} / (K_{\text{пер}} \cdot K_{\text{сн}})$$

Где  $I_{\text{расч}} = \frac{S_{\text{нагр}}}{\sqrt{3}U_n} = \frac{2000}{\sqrt{3} \cdot 10} \approx 116\text{А}$ , значение коэффициента перегрузки и коэффициента снижения находим в табл. П.6 и П.7:

$K_{\text{пер}}=1,3$ ;  $K_{\text{сн}} = 1$ . Таким образом,  $I_{\text{доп}}=89\text{А}$ .

Далее по табл. П.5 для ближайшего большего тока длительно допустимой нагрузки (90 А) находим рекомендуемую *площадь поперечного сечения жилы кабеля* — 25 мм.

## ПРИЛОЖЕНИЯ

### ПРИЛОЖЕНИЕ 1

#### ЗАДАНИЕ

на курсовую работу по дисциплине «Методы и средства диагностики высоковольтного оборудования».

Студенту гр. \_\_\_\_\_

*Ф.И.О.*

Вариант \_\_\_\_\_

Для системы электроснабжения в соответствии с номером варианта необходимо выполнить следующее.

1. Дать краткую характеристику системы с указанием назначения ее основных элементов.
2. Произвести расчет сечений и выбор проводников следующих линий:

\_\_\_\_\_  
*наименование линий*

3. Произвести расчет основных параметров следующих средств диагностики высоковольтного оборудования систем электроснабжения:

\_\_\_\_\_  
*номера и типы средств диагностики*

4. Разработать схемы подключения перечисленных средств диагностики высоковольтного оборудования систем электроснабжения
5. Оформить работу аналитического характера, а также расчеты и комментарии к ним в виде пояснительной записки.

Исходные данные для выполнения курсового проекта.

1. Типы и параметры трансформаторов \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
*номер, тип, мощность, напряжение и др.*

2. Типы и параметры линий: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
*номер, тип, параметры*

3. Типы и параметры средств диагностики высоковольтного оборудования:

\_\_\_\_\_  
*номер, тип, параметры*

4. Типы и параметры высоковольтных электродвигателей: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
*номер, тип, параметры*

5. Характер нагрузки линий и трансформаторов: \_\_\_\_\_

Сопротивление системы: \_\_\_\_\_

Дата выдачи задания: \_\_\_\_\_

Срок сдачи курсовой работы \_\_\_\_\_

Руководитель проекта: \_\_\_\_\_

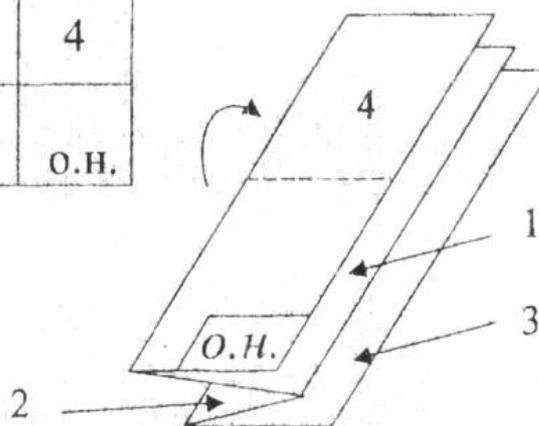
*Ф.И.О.*

Подпись руководителя \_\_\_\_\_



### ПРИЛОЖЕНИЕ 3 ПОРЯДОК ОФОРМЛЕНИЯ ЧЕРТЕЖА ДЛЯ ХРАНЕНИЯ

А4			4
3	2	1	О.Н.



*Экономическая плотность тока*

Наименование элементов	Плотность $I_{эж}$ , А/мм <sup>2</sup> , при $T_{max}$ , ч/год		
	1000-3000	3001-5000	5001-8760
Голые провода и шины, алюминиевые:			
- европейская часть РФ, Забайкалье, Дальний Восток	1,3	1,1	1,0
- Центральная Сибирь	1,5	1,4	1,3
Кабели с бумажной и провода с резиновой и полихлорвиниловой изоляцией с алюминиевыми жилами:			
- европейская часть РФ, Забайкалье, Дальний Восток	1,6	1,4	1,2
- Центральная Сибирь			1,5
и с резиновой и пластмассовой и с алюминиевыми жилами:			
- европейская часть РФ, Забайкалье, Дальний Восток	1,9	1,7	1,6
- Центральная Сибирь			1,9

*Нормы ежегодных отчислений на амортизацию и обслуживание, в относительных единицах*

Наименование проводников системы	Норма амортизационных отчислений $P_a$	Затраты на ремонт и обслуживание $P_p+P_o$	Всего издержки на амортизацию и обслуживание $P_\Sigma$
Кабельные линии до 10 кВ: - со свинцовой оболочкой, проложенные в земле и помещениях	0,023	0,02	0,043
- с алюминиевой оболочкой, проложенные:			
• в земле	0,043	0,02	0,063
• в помещениях	0,023	0,02	0,043
- с пластмассовой изоляцией, проложенные в земле и помещениях	0,053	0,02	0,073
Кабельные линии до 20-35 кВ со свинцовой оболочкой, проложенные в земле и помещениях	0,034	0,02	0,054
Кабельные линии до 110-220 кВ, проложенные в земле и помещениях	0,025	0,02	0,045
Воздушные линии до 20 кВ на металлических или железобетонных опорах	0,036	0,003	0,039
Воздушные линии до 20 кВ на деревянных опорах	0,057	0,005	0,062
Воздушные линии 35 кВ и выше на стальных и железобетонных опорах	0,024	0,004	0,028
Воздушные линии 35-220 кВ на деревянных опорах	0,049	0,005	0,054
Силовое электротехническое	0,064 0,058	0,04	0,104

оборудование и распределительные устройства: до 20 кВ 35-150 кВ 220 кВ и выше	0,058	0,030 0,02	0,088 0,078
--	-------	---------------	----------------

Таблица П.3

*Основные расчетные данные трехфазных кабелей с алюминиевыми жилами*

Напряжение, кВ	Сечение жилы, мм <sup>2</sup>	Длительно допустимая токовая нагрузка, А		Потери в одном кабеле при полной нагрузке, кВт/км	Длина кабеля на 1% потери напря- жения, м
		При прокладке в траншее	При прокладке на конструкциях		
6	10	60	42	40	185
	16	80	50	45	220
	25	105	70	50	260
	35	125	85	51	310
	50	155	110	54	360
	70	190	135	59	410
	95	225	165	61	470
	120	260	190	64	510
	150	300	225	67	560
	185	340	250	69	600
10	16	75	46	36	400
	25	90	65	39	510
	35	115	80	42	560
	50	140	105	44	660
	70	165	130	44	780
	95	205	155	50	860
	120	240	185	54	930
	150	275	210	56	1010
	185	310	235	57	1100
	240	355	270	58	1250

Таблица П. 4

*Допустимые перегрузки кабелей 6-10 кВ в нормальных режимах*

Место прокладки кабеля	Предварительная нагрузка кабеля, %	Допустимые перегрузки (по отношению к нормальной нагрузке) в течение времени		
		0,5 ч	1 ч	3ч
В земле	60	1,35	1,30	1,15
	80	1,20	1,15	1,10
В воздухе	60	1,25	1,15	1,10
	80	1,15	1,10	1,05
В трубах (в земле)	60	1,20	1,10	1,00
	80	1,10	1,05	1,00

Таблица П.5

*Коэффициенты снижения на число работающих кабелей, лежащих рядом в земле*

Расстояние в свету, мм	Коэффициент снижения при числе кабелей					
	1	2	3	4	5	6
100	1,00	0,90	0,85	0,80	0,78	0,75
200	1,00	0,92	0,87	0,84	0,82	0,81
300	1,00	0,93	0,90	0,87	0,86	0,85

Таблица П.6

*Активные и индуктивные сопротивления трехжильных кабелей  
с поясной изоляцией*

Номиналь- ное сечение жил, мм <sup>2</sup>	Активное сопротивление жил при $t=20^{\circ}\text{C}$ , Ом/км		Индуктивное сопротивление, Ом/км, при номинальном напряжении, кВ	
	алюминие вых	медных	6	10
10	3,10	1,84	0,11	0,122
16	1,94	1,15	0,102	0,113
25	1,24	0,74	0,091	0,099
35	0,89	0,52	0,087	0,095
50	0,62	0,37	0,083	0,090
70	0,443	0,26	0,08	0,086
95	0,326	0,194	0,078	0,083
120	0,258	0,153	0,076	0,081
150	0,206	0,122	0,074	0,079
185	0,167	0,099	0,073	0,077
240	0,129	0,077	0,071	0,075

Формулы для определения расчетных токов в реле максимальных токовых защит при двухфазных к.з.

Схема выполнения максимальной токовой защиты	Коэффициент схемы при симметричном режиме $K_{ск}^{(3)}$	Токи в реле при двухфазном к.з.	
		в месте установки защиты или за трансформатором $Y/Y-0$ (12)	за трансформатором $Y/\Delta-11$
Полная звезда	1	$I_p = \frac{\sqrt{3}I_k^{(3)}}{2n_t}$	$I_p = \frac{I_k^{(3)}}{n_t}$
Неполная звезда с двумя реле	1	$I_p = \frac{\sqrt{3}I_k^{(3)}}{2n_t}$	$I_p = \frac{0,5 I_k^{(3)}}{n_t}$
Неполная звезда с тремя реле (третье реле включено в обратный провод)	1	$I_p = \frac{\sqrt{3}I_k^{(3)}}{2n_t}$	$I_p = \frac{I_k^{(3)}}{n_t}$
Треугольник с тремя реле	$\sqrt{3}$	$I_p = \frac{\sqrt{3}I_k^{(3)}}{n_t}$	$I_p = \frac{1,5 I_k^{(3)}}{n_t}$
Треугольник с двумя реле	$\sqrt{3}$	$I_p = \frac{\sqrt{3}I_k^{(3)}}{2n_t}$	$I_p = \frac{1,5 I_k^{(3)}}{n_t}$
Схема включения одного реле на разность токов двух фаз $A$ и $C$	$\sqrt{3}$	$I_p = \frac{\sqrt{3}I_k^{(3)}}{2n_t}$	Схема не применяется (отказывает при к.з. фаз $A$ и $B$ ).

Примечание.  $I_k^{(3)}$  - ток трехфазного к.з., приведенный к напряжению той питающей стороны, где установлена рассматриваемая защита;  $n_t$  - коэффициент трансформации трансформаторов тока этой защиты.

Формулы для определения расчетных токов в реле максимальных токовых защит на стороне б

(10) кВ при однофазных к.з. на стороне 0,4 кВ трансформаторов  $\Upsilon/\Upsilon$ и  $\Upsilon/\Delta$

Схема выполнения максимальной токовой защиты	Коэффициент схемы при симметричном режиме $K_{сх}$	Токи в реле при однофазном к.з. за трансформатором	
		$\Upsilon/\Upsilon-0$	$\Upsilon/\Delta-11$
Полная звезда	1	Не применяется	Не применяется
Неполная звезда с двумя реле	1	$I_p = \frac{I_k^{(1)}}{3n_r}$	$I_p = \frac{I_k^{(1)}}{\sqrt{3}n_r}$
Неполная звезда с тремя реле (третье реле включено в обратный провод)	1	$I_p = \frac{2I_k^{(1)}}{3n_r}$	$I_p = \frac{I_k^{(1)}}{\sqrt{3}n_r}$
Треугольник с тремя реле	$\sqrt{3}$	Не применяется	$I_p = \frac{2I_k^{(1)}}{\sqrt{3}n_r}$
Треугольник с двумя реле	$\sqrt{3}$	Не применяется	$I_p = \frac{I_k^{(1)}}{\sqrt{3}n_r}$
Схема включения одного реле на разность токов двух фаз $A$ и $C$ .	$\sqrt{3}$	Схема не применяется (отказывает при однофазном к.з. фазы $B$ )	Схема не применяется (отказывает при к.з. фаз $B$ и $C$ )

Примечание.  $I_k^{(3)}$  — полный ток однофазного к.з. на стороне 0,4 кВ, приведенный к напряжению питающей стороны трансформатора, где установлена максимальная токовая защита;  $n_r$  — коэффициент трансформации трансформаторов тока этой защиты.

## Библиографический список

### Основная литература

1. Михеев Г.М.\* Цифровая диагностика высоковольтного оборудования систем электроснабжения. М.: Изд. дом «ДОДЭКА». 2008. 298 с.
2. Сви П. М.\* Методы и средства диагностики оборудования высокого напряжения. - М.: Энергоатомиздат, 2012. 240 с.
3. Шахнин В.А. Энергетическое обследование. Энергоаудит. 2-е издание, испр. М.: Национальный Открытый Ун-т "ИНТУИТ", 2016. – 145 с. ISBN 768-5-9784-0204-3.
4. Решетов А.А., Аракелян А.К. Неразрушающий контроль и техническая диагностика энергетических объектов. М.; Инфра-инженерия. 2010. 470 с.
5. Шахнин В.А. Методические рекомендации к курсовому проектированию по дисциплине «Средства и методы диагностики высоковольтного оборудования». (электронный ресурс). Акт внедрения электронного средства обучения от 28.10.2014 г. – Владимир: ВлГУ.

### Дополнительная литература

1. Алексеев, О.В. Высоковольтные аппараты / О.В. Алексеев, В.А. Фёдоров, С.И. Резин. – М.: Энергоатомиздат, 2001. – 372 с. – ISBN 978-5-4634-4321-2.
2. Шахнин В.А., Рощина С.И., Энергетическое обследование. Владимир: Изд-во ВлГУ, 2013, 139 с. ISBN 978-5-9984-0312-5.\*
3. Электротехнический справочник\*/ Под ред. В.Г. Герасимова-М.: Энергоатомиздат. 1986. 675 с.
4. Зиновьев Г.С.\* Силовая электроника. Учебник НГТУ. Новосибирск: 77
5. Энергетическая электроника: справочное пособие / Под ред. В.А. Лабунцова. – М.: Энергоатомиздат, 2002. – 441 с. – ISBN 978-5-364-00531-1.

### Периодические издания

1. Журнал «Контроль. Диагностика»
2. Журнал «Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика»\*
3. Журнал «ЭЛЕКТРО»\*

*\*Книги и журналы из фонда библиотеки ВлГУ*

## Программное обеспечение и Интернет-ресурсы

1. Электронное средство обучения по дисциплине «Средства и методы диагностики высоковольтного оборудования» / Комплект из 52 слайдов. Составитель В.А. Шахнин. Акт внедрения электронного средства обучения от 2.12.2011 г. – Владимир: ВлГУ.
2. Микропроцессорные устройства управления средствами диагностической электроники. НТЦ «Радиус-Автоматика» / Компьютерная презентация. – Зеленоград: НТЦ «Радиус-Автоматика» 2009г.
3. Интеллектуальные диагностические модули (г. Саранск) / Компьютерная презентация. – Саранск: ОАО «Электровыпрямитель», 2010г.
4. [www.dimrus.ru](http://www.dimrus.ru)
5. [www.defekt.ru](http://www.defekt.ru)
6. [www.ess-enes.ru](http://www.ess-enes.ru)