

Министерство образования Российской Федерации  
Тамбовский государственный технический университет

РЕЛЕЙНАЯ  
ЗАЩИТА И АВТОМАТИКА  
В СИСТЕМАХ  
ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Методические указания по дисциплине  
"Релейная защита, автоматика и телемеханика  
в системах электроснабжения" для студентов заочного отделения  
специальности 1004

Тамбов  
Издательство ТГТУ  
2001

УДК 621.316.925  
ББК з29-5я73-5  
Р36

Утверждено Редакционно-издательским советом университета

Рецензент  
Кандидат технических наук  
А. П. Денисов

Р36 Релейная защита и автоматика в системах электроснабжения: Метод. указ. / Авт.-сост. А. В. Солопахо. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2001. 16 с.

Настоящие указания содержат программу курса, варианты двух контрольных работ и общие требования к защите элементов систем электроснабжения по дисциплине "Релейная защита, автоматика и телемеханика в системах электроснабжения" для студентов заочного отделения специальности 1004.

УДК 621.316.925  
ББК з29-5я73-5

© Тамбовский  
государственный  
технический университет  
(ТГТУ),  
2001

# 1 ПРОГРАММА КУРСА

## 1.1 Введение

Назначение релейной защиты и автоматики систем электроснабжения. Функции релейной защиты и основные требования, предъявляемые к ней. Основные принципы построения защит. Реле. Изображение реле на принципиальных схемах.

Роль релейной защиты и автоматики в обеспечении безаварийной работы потребителей. Задачи и перспективы автоматизации и телемеханизации систем электроснабжения [1, §§ 1.1 - 1.2, 1.5 - 1.8; 2, введение, с § В-1 по В-5].

## 1.2 Защита электрических сетей

Виды повреждений и ненормальные режимы работы линий [2, гл. 2].

Использование предохранителей и автоматических выключателей для защиты сетей напряжением до 1000 В [2, §§ 2.2 - 2.3; 4, гл. 1; 5, гл. 5 - 10].

Максимальная токовая защита. Принцип действия, ток срабатывания, время действия, чувствительность. Токовая отсечка. Принцип выполнения, ток срабатывания, зоны действия. Токовая защита со ступенчатой характеристикой времени действия. Принципиальные схемы токовой защиты линий. Оценка токовых защит линий [1 - 3].

Основные виды реле, применяемых для токовых защит: измерительные реле тока, логические реле защиты [1 - 3].

Источники оперативного тока [1, § 1.9; 2, § 2.13].

Токовые защиты нулевой последовательности для сетей с эффективно заземленной нейтралью [1, гл. 8; 2, § 2.10].

Защиты линий от замыканий на землю в сетях с изолированными и компенсированными нейтралью. Токовая защита нулевой последовательности, другие виды защит [3, гл. 5 - 7; 1, гл. 9; 2, гл. 6].

Токовые направленные защиты линий. Принцип действия. Максимальная токовая направленная защита, принцип выбора выдержек времени, тока срабатывания, согласование по чувствительности. Токовые направленные отсечки. Реле направления мощности [1 - 3]. Дистанционные защиты линий, область использования, выбор параметров срабатывания [1 - 3].

Дифференциальные токовые защиты линий. Принцип действия продольной дифференциальной токовой защиты, ток небаланса, ток срабатывания, чувствительность. Способы повышения чувствительности. Краткие сведения о дифференциальных защитах линий с проводным каналом связи. Продольные направленные и ненаправленные дифференциальные защиты линий. Краткие сведения о высокочастотных дифференциальных защитах линий [1 - 3].

## 1.3 Трансформаторы тока (ТТ) и напряжения (ТН) в устройствах релейной защиты и автоматики

Измерительные трансформаторы тока в устройствах релейной защиты. Погрешности. Схемы соединения трансформаторов тока и обмоток токовых реле. Выбор ТТ, основные сведения о расчетной проверке ТТ [1, гл. 3; 6, § 1 - 3].

Измерительные трансформаторы напряжения. Защита вторичных цепей ТН [1, гл. 6].

## 1.4 Защита трансформаторов

Повреждения и ненормальные режимы работы трансформаторов. Требования, предъявляемые к защитам [1 - 3].

Газовая защита. Дифференциальная защита. Особенности, ток небаланса, ток срабатывания, чувствительность. Реле РНТ и ДЗТ в дифференциальных защитах трансформаторов [1; 3; 6, §§ 2.4 - 2.5].

Защита трансформаторов от сверхтоков при внешних к.з. и перегрузок [3, §13.6; 6, §§ 2.1 - 2.3 и др.].

Особенности защит трансформаторов без выключателей со стороны высшего напряжения [1, § 16.11; 2, § 9.6].

Схемы защит трансформаторов на переменном оперативном токе [2, § 9.7; 6, § 1.4, п. 2 - 3; 7, гл. 4 - 7].

### **1.5 Защита электродвигателей**

Повреждения и ненормальные режимы работы электродвигателей, требования к защитам. Защита электродвигателей от к.з. и перегрузок, защита от замыканий на землю в обмотке статора, защита от потери питания. Особенности защиты синхронных двигателей [1 - 5].

### **1.6 Защита синхронных генераторов**

Повреждения и ненормальные режимы работы генераторов и синхронных компенсаторов. Дифференциальные защиты - продольная и поперечная, защиты от замыканий на землю и межвитковых замыканий в обмотке статора, токовые защиты от внешних к.з. и перегрузок [1, гл. 17].

### **1.7 Автоматическое повторное включение (АПВ)**

Назначение АПВ. Требования, предъявляемые к устройствам АПВ, параметры действия устройств АПВ и их расчет [1 - 3].

Устройства АПВ, схемы АПВ для выключателей с различными типами приводов, АПВ с использованием реле РПВ-258 (РПВ-358) [7, гл. 8].

### **1.8 Автоматическое включение резервного питания и оборудования (АПВ)**

Назначение АВР. Требования к устройствам АВР.

Автоматическое включение резервных линий, одностороннее и двухстороннее АВР, АВР трансформаторов [1 - 3, 8]. Схемы АВР [7, гл. 9].

### **1.9 Устройство автоматической частотной разгрузки (АЧР)**

Назначение и принцип организации АЧР. Реле частоты. Параметры срабатывания АЧР, устройств частотного автоматического повторного включения (ЧАПВ) [2, гл. 12; 3, § 10.8].

### **1.10 Защита и автоматика специальных электроустановок**

Защита и автоматика выпрямительных установок, блоков статических конденсаторных батарей [2 - 3].

Защита шин и шинопроводов [3, § 16.5].

### **1.11 Автоматическое регулирование напряжения в системах электроснабжения**

Автоматическое регулирование напряжения на трансформаторах. Особенности автоматического регулирования возбуждения синхронных двигателей. Использование статических конденсаторных установок для регулирования напряжения [2 - 3].

### 1.12 Телемеханизация и АСУ систем электроснабжения

Назначение и типы устройств телемеханики.

Системы ТИ, ТУ-ТС. Каналы связи.

Устройства телемеханики в системах электроснабжения.

Назначение, принципы построения и структура АСУ системы электроснабжения. Средства вычислительной техники, используемые в АСУ [2, гл. 13].

## 2 ЗАДАНИЕ НА КОНТРОЛЬНЫЕ РАБОТЫ

По курсу "Релейная защита и автоматика" предусмотрено две контрольные работы.

Исходные данные к ним приводятся в нескольких вариантах. Конкретный вариант определяется двумя последними цифрами номера *зачетной книжки* студента (или преподавателем). При этом далее № 1 означает предпоследнюю цифру этого номера, а № 2 - последнюю.

Схемы и графики при оформлении контрольных работ должны отвечать правилам, принятым в рекомендованной литературе. Условные обозначения на схемах должны соответствовать ЕСКД и ГОСТ.

### Контрольная работа 1

*Задача 1* Проверить допустимость погрешности трансформатора тока (ТТ) при расчетном токе, найти токовую погрешность при указанном максимальном токе к.з., проверить допустимость вторичного напряжения на выводах ТТ и если это нужно, надежность замыкания контактов реле. В случае не выполнения нужных требований предложить соответствующие пути к их обеспечению [6, § 1.3].

Вариант схемы соединения ТТ и реле определяется предпоследней цифрой номера зачетки № 1. Другие расчетные параметры - последней цифрой № 2.

#### ВАРИАНТЫ 1 - 3 (№ 1 = 1, 2, 3)

Рассматривается двухфазная двухрелейная МТЗ линии 10 кВ с реле типа РТ-85, каждое из которых при срабатывании дешунтирует электромагнит отключения ЭО, включенный в ту же фазу последовательно с катушкой реле [6, рис. 1.8]. В качестве ЭО используется реле прямого действия РТВ с уставкой 5 А реле [6, стр. 60 - 62].

| № 2                  | 1                      | 2                    | 3                     | 4                     | 5                     | 6                     | 7                     | 8                     | 9                     | 0                     |
|----------------------|------------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Уставка реле, А      | 6                      | 7                    | 8                     | 9                     | 6                     | 10                    | 5                     | 6                     | 7                     | 8                     |
| Тип ТТ и коэфф ициен | ТЛ<br>М-<br>10<br>150/ | ТП<br>Л-<br>10<br>20 | ТЛ<br>М-<br>10<br>100 | ТП<br>Л-<br>10<br>30/ | ТЛ<br>М-<br>10<br>100 | ТП<br>Л-<br>10<br>50/ | ТЛ<br>М-<br>10<br>200 | ТП<br>Л-<br>10<br>100 | ТЛ<br>М-<br>10<br>200 | ТП<br>Л-<br>10<br>50/ |

|                                      |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|--------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| т трансформации                      | 5   | 0/5 | /5  | 5   | /5  | 5   | /5  | /5  | /5  | 5   |
| Максимальный ток к.з. на участке, кА | 4,2 | 5,1 | 2,4 | 0,8 | 2,6 | 1,3 | 4,9 | 2,5 | 4,7 | 1,1 |

ВАРИАНТЫ 4 - 7 (№ 1 = 4, 5, 6, 7)

Рассматривается двухфазная МТЗ линии 10 кВ с реле типа РТ-40, реле времени РВМ-12 и промежуточными реле РП-341. Последние при срабатывании дешунтируют электромагнит отключения ЭО, включенный в их фазу последовательно с катушками остальных реле [6, рис. 1.19]. В качестве ЭО используется реле РТВ с уставкой 5 А [6, стр. 62 - 65].

|                                     |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |
|-------------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| № 2                                 | 1       | 2       | 3       | 4       | 5       | 6       | 7       | 8       | 9       | 0       |
| Уставка реле, А                     | 5,5     | 6,5     | 6       | 7,1     | 7,5     | 8,2     | 6,5     | 9       | 7,4     | 6,3     |
| Тип ТТ и коэффициент                | ТЛ М-10 | ТП Л-10 | ТЛ М-10 | ТП Л-10 | ТЛ М-10 | ТП Л-10 | ТЛ М-10 | ТП Л-10 | ТЛ М-10 | ТП Л-10 |
| трансформации                       | 10      | 15      | 20      | 50/5    | 15      | 30/5    | 10      | 15      | 75/5    | 50/5    |
| Максимальный ток к.з. на участке, А | 4,4     | 5,5     | 2,0     | 0,9     | 2,3     | 1,5     | 4,8     | 2,2     | 4,9     | 1,3     |

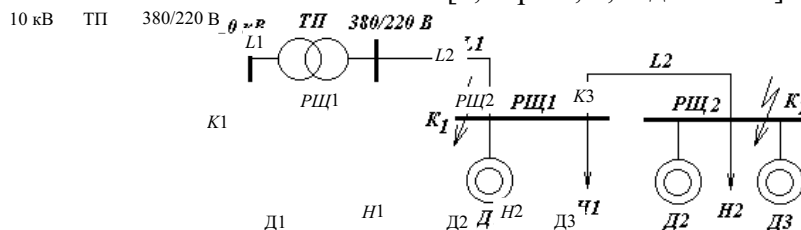
ВАРИАНТЫ 8 - 10 (№ 1 = 8, 9, 0)

Рассматривается двухфазная двухступенчатая токовая защита трансформатора 1МВА [6, рис. 1.20], выполненная посредством двух реле типа РТМ-III (токовая отсечка) и трех типа РТВ-I (максимальная токовая защита, третье реле для повышения чувствительности установлено в обратном проводе) [6, стр. 65 - 67].

|                  |   |     |   |     |   |    |   |   |     |    |
|------------------|---|-----|---|-----|---|----|---|---|-----|----|
| № 2              | 1 | 2   | 3 | 4   | 5 | 6  | 7 | 8 | 9   | 0  |
| Уставка РТВ-I, А | 6 | 7,5 | 5 | 7,5 | 6 | 10 | 5 | 6 | 7,5 | 10 |

|                                      |                         |                         |                         |                        |                         |                        |                         |                         |                         |                        |
|--------------------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|
| Уставка РТМ-III, А                   | 30                      | 40                      | 40                      | 50                     | 30                      | 60                     | 40                      | 40                      | 30                      | 50                     |
| Тип ТТ и коэффициент трансформации   | ТЛ<br>М-10<br>15<br>0/5 | ТП<br>Л-10<br>20<br>0/5 | ТЛ<br>М-10<br>10<br>0/5 | ТП<br>Л-10<br>30/<br>5 | ТЛ<br>М-10<br>10<br>0/5 | ТП<br>Л-10<br>50/<br>5 | ТЛ<br>М-10<br>20<br>0/5 | ТП<br>Л-10<br>10<br>0/5 | ТЛ<br>М-10<br>20<br>0/5 | ТП<br>Л-10<br>50/<br>5 |
| Максимальный ток к.з. на участке, кА | 2,2                     | 2,1                     | 2,4                     | 2,8                    | 2,6                     | 2,3                    | 2,9                     | 2,5                     | 2,7                     | 3,1                    |

**Задача 2** Расставить на схеме предохранители или автоматические выключатели. Выбрать сечения проводов и параметры защитных аппаратов. Параметры элементов схемы приводятся ниже в таблицах. Самозапуск Д2 не допускается. Нагрузка Н1 и Н2 является осветительной [4, стр.24; 7, задача 1.17].

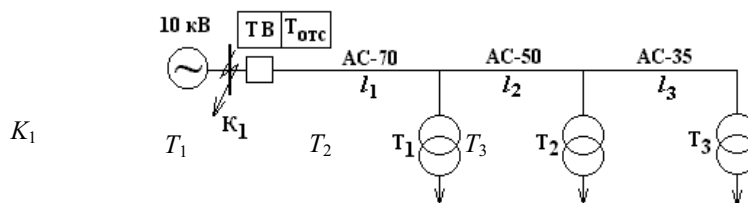


| № 1 | Д1          |                   |                  | Д2          |                   |                  | Д3          |                   |                  |
|-----|-------------|-------------------|------------------|-------------|-------------------|------------------|-------------|-------------------|------------------|
|     | Ном. ток, А | Кратн. пуск. тока | Усл. о-вия пуска | Ном. ток, А | Кратн. пуск. тока | Усл. о-вия пуска | Ном. ток, А | Кратн. пуск. тока | Усл. о-вия пуска |
| 0   | 12          | 5,5               | тяж.             | 32          | 6,1               | легк.            | 14          | 6,5               | легк.            |
| 1   | 21          | 6,2               | легк.            | 25          | 7,2               | легк.            | 24          | 5,2               | тяж.             |
| 2   | 8           | 7,1               | тяж.             | 18          | 6,4               | тяж.             | 18          | 6,1               | легк.            |
| 3   | 12          | 6,8               | легк.            | 29          | 5,8               | тяж.             | 9           | 7,3               | тяж.             |
| 4   | 17          | 5,2               | тяж.             | 27          | 7,2               | легк.            | 19          | 6,2               | легк.            |
| 5   | 19          | 5,9               | легк.            | 39          | 6,9               | тяж.             | 29          | 6,9               | тяж.             |
| 6   | 9           | 6,7               | тяж.             | 40          | 5,8               | легк.            | 19          | 7,7               | тяж.             |
| 7   | 7           | 7,8               | легк.            | 27          | 6,8               | легк.            | 27          | 6,8               | тяж.             |

|   |    |     |      |    |     |      |    |     |      |
|---|----|-----|------|----|-----|------|----|-----|------|
| 8 | 23 | 5,5 | легк | 33 | 6,5 | тяж. | 25 | 6,5 | легк |
| 9 | 14 | 7,3 | тяж. | 30 | 7,2 | тяж. | 32 | 5,6 | легк |

| № 2 | S трансформатора, кВА | Длина кабеля L <sub>1</sub> , м | Длина кабеля L <sub>2</sub> , м | Мощность нагрузки Н1, кВА | Мощность нагрузки и Н2, кВА |
|-----|-----------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------|-----------------------------|
| 1   | 100                   | 10                              | 10                              | 5                         | 20                          |
| 2   | 160                   | 25                              | 12                              | 15                        | 30                          |
| 3   | 40                    | 17                              | 16                              | 25                        | 11                          |
| 4   | 250                   | 41                              | 15                              | 30                        | 21                          |
| 5   | 160                   | 24                              | 19                              | 32                        | 9                           |
| 6   | 400                   | 14                              | 20                              | 17                        | 12                          |
| 7   | 63                    | 27                              | 14                              | 40                        | 14                          |
| 8   | 100                   | 19                              | 16                              | 6                         | 22                          |
| 9   | 250                   | 12                              | 17                              | 13                        | 33                          |
| 0   | 160                   | 35                              | 11                              | 16                        | 21                          |

**Задача 3** Выбрать предохранители для защиты трансформаторов. Рассчитать параметры максимальной токовой защиты линии. Произвести ее согласование с предохранителями наиболее мощного из трансформаторов. Построить карту селективности. Установить целесообразность установки токовой отсечки на линии, при положительном выводе рассчитать зону ее действия [6, пример 1.1].



Длины участков линии, мощности трансформаторов и величина тока  $I_{K1}$  - трехфазного к.з. на шинах подстанции указаны в таблицах. Нагрузку трансформаторов считать обобщенной (т.е.  $K_{сзп} = 1/0,35 \approx 2,86$ ) и равной номинальной мощности трансформаторов.

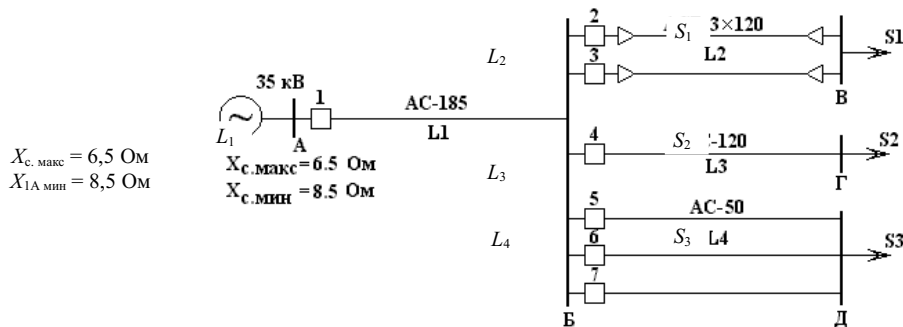
| № 1 | $I_{K1}$ , А | $l_1$ , км | $l_2$ , км | $l_3$ , км | № 2 | $S_{T1}$ , кВА | $S_{T2}$ , кВА | $S_{T3}$ , кВА |
|-----|--------------|------------|------------|------------|-----|----------------|----------------|----------------|
| 0   | 650          | 3          | 10         | 7          | 0   | 100            | 160            | 63             |
| 1   | 750          | 15         | 15         | 9          | 1   | 160            | 250            | 100            |
| 2   | 640          | 6          | 14         | 11         | 2   | 40             | 60             | 40             |
| 3   | 700          | 4          | 20         | 8          | 3   | 250            | 250            | 100            |
| 4   | 690          | 7          | 9          | 9          | 4   | 160            | 100            | 100            |
| 5   | 800          | 12         | 8          | 5          | 5   | 400            | 250            | 100            |
| 6   | 770          | 9          | 13         | 12         | 6   | 63             | 160            | 63             |
| 7   | 910          | 11         | 11         | 10         | 7   | 100            | 250            | 160            |
| 8   | 860          | 5          | 19         | 5          | 8   | 250            | 400            | 160            |



|   |     |    |    |   |   |     |     |     |
|---|-----|----|----|---|---|-----|-----|-----|
| 9 | 740 | 18 | 10 | 4 | 9 | 160 | 100 | 100 |
|---|-----|----|----|---|---|-----|-----|-----|

Задача 4 На рисунке представлена схема участка сети.

Рассчитать параметры МТЗ и отсечек для всех выключателей. Рассчитать чувствительность МТЗ и зону действия отсечек, в случае недостаточной чувствительности предложить другие типы защит. Проверить кабельные линии на термическую стойкость.

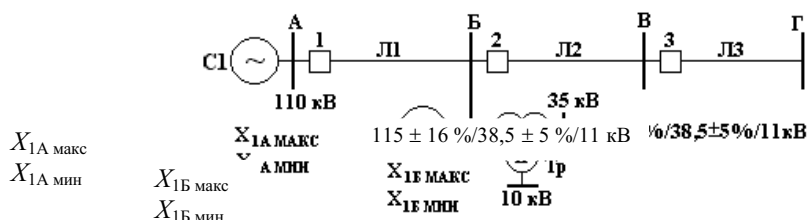


Наибольшие выдержки времени МТЗ элементов, отходящих от шин подстанций В-Д, считать 1,6 с, ступень селективности принять 0,5 с. Параметры элементов схемы и присоединений указаны ниже в таблице.

| № | $L_1$ , км | $L_2$ , км | $L_3$ , км | $L_4$ , км | № | $S_1$ , МВА | $S_2$ , МВА | $S_3$ , МВА |
|---|------------|------------|------------|------------|---|-------------|-------------|-------------|
| 0 | 120        | 20         | 30         | 15         | 0 | 2,6         | 2,5         | 6,3         |
| 1 | 75         | 25         | 45         | 25         | 1 | 3,6         | 3,0         | 4,5         |
| 2 | 140        | 15         | 56         | 24         | 2 | 2,8         | 3,5         | 3,9         |
| 3 | 110        | 26         | 44         | 20         | 3 | 3,0         | 2,0         | 5,5         |
| 4 | 80         | 26         | 37         | 19         | 4 | 3,4         | 2,4         | 4,6         |
| 5 | 95         | 18         | 62         | 28         | 5 | 4,0         | 2,9         | 4,2         |
| 6 | 100        | 28         | 49         | 13         | 6 | 3,5         | 3,6         | 6,0         |
| 7 | 65         | 29         | 60         | 16         | 7 | 2,9         | 4,0         | 5,1         |
| 8 | 70         | 20         | 50         | 19         | 8 | 3,2         | 3,5         | 4,5         |
| 9 | 90         | 14         | 38         | 20         | 9 | 3,9         | 2,5         | 6,1         |

## Контрольная работа 2

Задача 1 На рисунке приведена схема участка сети 110 кВ. Определить для всех ступеней трехступенчатой дистанционной защиты 1 первичные сопротивления срабатывания и выдержки времени [9].



Параметры линий и сопротивления систем указаны в таблице и принимаются в зависимости от варианта. Угол собственного сопротивления линии  $\varphi_L = 65^\circ$ .

Напряжения короткого замыкания трансформатора в соответствии с ГОСТ:  $U_{К.ВН-СН} = 10,5\%$ ;  $U_{К.ВН-НН} = 17\%$ .

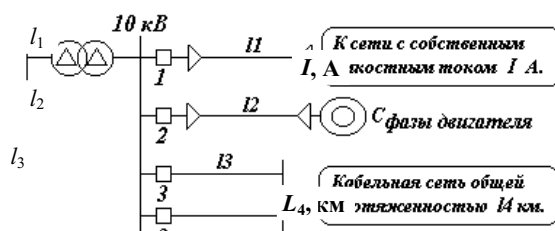
| № 1 | $X_{1А \text{ МАКС}}$ | $X_{1А \text{ МИН}}$ | $X_{1Б \text{ МАКС}}$ | $X_{1Б \text{ МИН}}$ |
|-----|-----------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|
|-----|-----------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|

|   |     |      |      |      |
|---|-----|------|------|------|
| 1 | 6   | 7,5  | 11   | 17   |
| 2 | 6,5 | 8    | 13   | 18,5 |
| 3 | 6,5 | 8,5  | 12   | 18   |
| 4 | 5,7 | 7    | 14   | 19,5 |
| 5 | 5,8 | 6,5  | 12,5 | 18   |
| 6 | 5   | 6    | 10   | 15,5 |
| 7 | 7,6 | 8,75 | 11,5 | 17   |
| 8 | 8   | 9    | 13,5 | 18,5 |
| 9 | 6   | 7,2  | 10,5 | 16   |
| 0 | 5,5 | 6,9  | 14,5 | 20   |

| № 2 | Сопротивление Л1, Ом | Максимальный рабочий ток линии Л1, А. | Сопротивление Л2, Ом | Сопротивление Л3, Ом |
|-----|----------------------|---------------------------------------|----------------------|----------------------|
| 1   | 35                   | 450                                   | 10                   | 20                   |
| 2   | 39                   | 500                                   | 11                   | 15                   |
| 3   | 41                   | 550                                   | 12                   | 24                   |
| 4   | 33                   | 430                                   | 15                   | 26                   |
| 5   | 25                   | 560                                   | 19                   | 22                   |
| 6   | 38                   | 700                                   | 20                   | 20                   |
| 7   | 36                   | 600                                   | 14                   | 30                   |
| 8   | 45                   | 590                                   | 8                    | 25                   |
| 9   | 20                   | 490                                   | 19                   | 21                   |
| 0   | 21                   | 420                                   | 25                   | 25                   |

**Задача 2** Сеть, представленная на рисунке, работает в режиме изолированной нейтрали. Рассчитать токи срабатывания и рассчитать чувствительность защит от замыкания на землю 1, 2 и 3. Для защиты двигателя рассмотреть два варианта установки трансформатора тока нулевой последовательности ТНП: на выводах двигателя, в распределительстве. Принять коэффициент надежности, учитывающий бросок емкостного тока в момент замыкания  $K_H = 4$ . Указать, какие из защит необходимо выполнить направленными [7, задача 12.18].

10 кВ



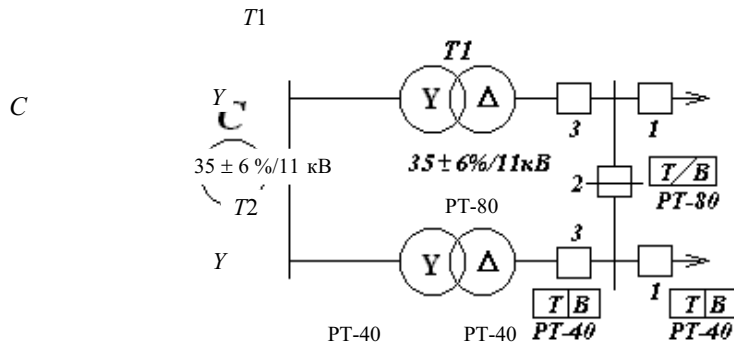
Параметры элементов сети задаются в таблице и принимаются в зависимости от варианта.

| № | $l_1$ , км | $l_2$ , м | $l_3$ , км |
|---|------------|-----------|------------|
| 1 | 10         | 200       | 7          |
| 2 | 11         | 250       | 5          |
| 3 | 15         | 150       | 9          |
| 4 | 5          | 100       | 12         |
| 5 | 7          | 300       | 12         |
| 6 | 3          | 220       | 10         |

| № 2 | $l_4$ , км | $I$ | $C_{\text{фазы двигателя}}, \text{ мкФ}$ |
|-----|------------|-----|--|
| 1   | 17         | 1,2 | 2,0                                      |
| 2   | 12         | 2,0 | 1,5                                      |
| 3   | 9          | 1,7 | 1,0                                      |
| 4   | 6          | 1,4 | 1,6                                      |
| 5   | 21         | 1,6 | 2,5                                      |
| 6   | 9,5        | 1,9 | 1,8                                      |
| 7   | 11         | 2,5 | 2,6                                      |
| 8   | 14         | 2,1 | 1,6                                      |
| 9   | 12         | 1,8 | 1,2                                      |
| 0   | 10         | 1,3 | 1,9                                      |

|   |    |     |    |
|---|----|-----|----|
| 7 | 12 | 180 | 15 |
| 8 | 8  | 240 | 6  |
| 9 | 9  | 140 | 8  |
| 0 | 14 | 175 | 10 |

**Задача 3** Выбрать уставки МТЗ 3 трансформаторов Т1 и Т2 и МТЗ на секционном выключателе 2 по данным, приведенным ниже в таблицах.



Нагрузку каждой из секций считать обобщенной и равной по величине  $0,6U_{\text{ном.т.}}$ . Мощность каждого из трансформаторов  $U_{\text{ном.т.}} = 4,5$  МВА. Напряжения к.з. на разных ступенях РПН:

$$U_{\text{к.макс}} = 8,6\%; U_{\text{к.средн}} = 7,6\%; U_{\text{к.мин}} = 7\%.$$

| № 1 | Мощность Т1 и Т2, МВА | Ток срабатывания МТЗ 1, А | Время срабатывания МТЗ 1, с | Сопротивление системы $X_{\text{с.мин}}$ , Ом. | Сопротивление системы $X_{\text{с.макс}}$ , Ом |
|-----|-----------------------|---------------------------|-----------------------------|--|--|
| 1   | 4,5                   | 1200                      | 1                           | 25   | 19   |
| 2   | 6,3                   | 1100                      | 1,2                         | 31   | 17   |
| 3   | 16                    | 950                       | 1,3                         | 35   | 21   |
| 4   | 2,5                   | 1350                      | 1,4                         | 26   | 19   |
| 5   | 6,3                   | 1450                      | 0,9                         | 28   | 18   |
| 6   | 4,5                   | 1300                      | 0,8                         | 30   | 16   |
| 7   | 12                    | 1250                      | 1,1                         | 33   | 21   |
| 8   | 16                    | 1050                      | 1,3                         | 36   | 22   |
| 9   | 6,3                   | 1000                      | 1,5                         | 31   | 25   |
| 0   | 10                    | 1340                      | 1,6                         | 27   | 17   |

**Задача 4** Рассчитать дифференциальную защиту трансформатора Т1. Ниже в первой таблице приведены данные о трансформаторе. Во второй - величина тока трехфазного к.з. на шинах НН в максимальном, минимальном и среднем режимах работы, приведенная к стороне ВН.

| № 1 | Мощность Т1 - $S_{\text{ном}}$ , МВА | Напряжение к.з. : $U_{\text{к.мин}}$ , % | Напряжение Т1, кВ |
|-----|--------------------------------------|--|-------------------|
| 1   | 6,3                                  | 10,5                                     | $110 \pm 16$ %/10 |
| 2   | 10                                   | 9,5                                      | $35 \pm 5$ %/10   |
| 3   | 16                                   | 10                                       | $110 \pm 16$ %/10 |

|   |     |      |                      |
|---|-----|------|----------------------|
| 4 | 10  | 11   | $35 \pm 5 \% / 6$    |
| 5 | 6,3 | 9    | $110 \pm 16 \% / 10$ |
| 6 | 16  | 9,5  | $35 \pm 5 \% / 10$   |
| 7 | 10  | 10   | $110 \pm 16 \% / 10$ |
| 8 | 15  | 10,5 | $110 \pm 16 \% / 10$ |
| 9 | 7,5 | 10,5 | $35 \pm 5 \% / 10$   |
| 0 | 9   | 11   | $110 \pm 16 \% / 10$ |

| № 2 | $I_{к.з. макс. вн}$ | $I_{к.з. мин. вн}$ | $I_{к.з. средн. вн}$ |
|-----|---------------------|--------------------|----------------------|
| 1   | 1210                | 690                | 870                  |
| 2   | 1150                | 710                | 920                  |
| 3   | 1000                | 730                | 950                  |
| 4   | 1300                | 680                | 880                  |
| 5   | 1250                | 720                | 910                  |
| 6   | 1060                | 700                | 900                  |
| 7   | 1170                | 750                | 820                  |
| 8   | 1110                | 740                | 850                  |

## ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ЗАЩИТЕ ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

### 3.1 Указания по проверке чувствительности защит и их согласованию

Оценка чувствительности основных типов релейных защит должна производиться при помощи коэффициента чувствительности, определяемого:

для защит, реагирующих на величины, возрастающие в условиях повреждений, как отношение расчетных значений этих величин (например, тока или напряжения) при металлическом к.з. в пределах защищаемой зоны к параметрам срабатывания защит; для защит, реагирующих на величины, уменьшающиеся в условиях повреждений, - как отношение параметров срабатывания к расчетным значениям этих величин (например, напряжения или сопротивления) при металлическом к.з. в пределах защищаемой зоны.

Чувствительность защит на переменном оперативном токе, выполняемых по схеме с дешунтированием электромагнитов отключения, следует проверять с учетом действительной токовой погрешности трансформаторов тока после дешунтирования. При этом минимальное значение коэффициента чувствительности электромагнитов отключения, определяемое для условия их надежного срабатывания, должно быть приблизительно на 20 % больше принимаемого для соответствующих защит.

Если действие защиты последующего элемента возможно из-за отказа вследствие недостаточной чувствительности защиты предыдущего элемента, то чувствительности этих защит необходимо согласовывать между собой.

При расчете параметров срабатывания, чувствительности защит и их согласовании необходимо исходить из наиболее неблагоприятного, но реального режима системы.

### 3.2 Требования к чувствительности защит

При оценке чувствительности основных защит необходимо исходить из того, что должны обеспечиваться следующие наименьшие коэффициенты их чувствительности.

Максимальные токовые защиты, с пуском и без пуска напряжения, направленные и ненаправленные, а также токовые одноступенчатые направленные и ненаправленные защиты, включенные на составляющие обратной или нулевой последовательностей:

для органов тока и напряжения - около 1,5;

для органов направления мощности обратной и нулевой последовательности - около 2,0 по мощности и около 1,5 по току и напряжению;

для органа направления мощности, включенного на полные ток и напряжение, не нормируется по мощности и около 1,5 по току.

Коэффициент чувствительности МТЗ трансформатора считается достаточным, если  $K_{\text{ч}} \geq 1,5$  при к.з. на низшей стороне трансформатора и  $K_{\text{ч}} \geq 1,2$  при к.з. в конце линий, отходящих от шин низшего напряжения.

В случае трансформатора со вторичным напряжением 0,4 кВ и вторичной обмоткой, соединенной в звезду с заземленной нейтралью,  $K_{\text{ч}} \geq 1,5$  при металлическом к.з. на вводах НН,  $K_{\text{ч}} \geq 1,2$  при к.з. на вводах НН через переходное сопротивление, которое принимается равным  $R_{\text{пер}} = 0,15$  мОм. Кроме того в этом случае необходимо проверить чувствительность защиты при однофазных к.з. на землю на стороне 0,4 кВ.

Ступенчатые защиты тока или тока и напряжения, направленные и ненаправленные, включенные на полные токи и напряжения или на составляющие нулевой последовательности:

для органов тока и напряжения ступени защиты, предназначенной для действия при к.з. в конце защищаемого участка, без учета резервного действия - около 1,5, а при наличии надежно действующей селективной резервной ступени - около 1,3; при наличии на противоположном конце линии отдельной защиты шин соответствующие коэффициенты чувствительности (около 1,5 и около 1,3) для ступени защиты нулевой последовательности допускается обеспечивать в режиме каскадного отключения;

для органов направления мощности нулевой и обратной последовательности - около 2,0 по мощности и около 1,5 по току и напряжению;

для органа направления мощности, включенного на полные ток и напряжение, не нормируется по мощности и около 1,5 по току.

Дистанционные защиты от многофазных к.з.:

для пускового органа любого типа и дистанционного органа третьей ступени - около 1,5;

для дистанционного органа второй ступени, предназначенного для действия при к.з. в конце защищаемого участка, без учета резервного действия - около 1,5, а при наличии третьей ступени защиты - около 1,25; для указанного органа чувствительность по току должна быть около 1,3 (по отношению к току точной работы) при повреждении в той же точке.

Продольные дифференциальные защиты генераторов, трансформаторов, линий и других элементов, а также полная дифференциальная защита шин, - около 2,0. Для токового пускового органа неполной дифференциальной дистанционной защиты шин генераторного напряжения чувствительность должна быть около 2,0, а для первой ступени неполной дифференциальной токовой защиты шин генераторного напряжения, выполненной в виде отсечки - около 1,5 (при к.з. на шинах).

Для дифференциальной защиты генераторов и трансформаторов чувствительность следует проверять при к.з. на выводах.

Допускается снижение коэффициента чувствительности для дифференциальной защиты трансформатора или блока генератор-трансформатор до значения около 1,5 в следующих случаях (в которых обеспечение коэффициента чувствительности около 2,0 связано со значительным усложнением защиты или технически невозможно):

при к.з. на выводах низшего напряжения понижающих трансформаторов мощностью менее 80 МВА (определяется с учетом регулирования напряжения);

в режиме включения трансформатора под напряжение, а также для кратковременных режимов его работы (например, при отключении одной из питающих сторон).

Для режима подачи напряжения на поврежденные шины включением одного из питающих элементов допускается снижение коэффициента чувствительности для дифференциальной защиты шин до значения около 1,5.

Указанный коэффициент 1,5 относится также к дифференциальной защите трансформатора при к.з. за реактором, установленным на стороне низшего напряжения трансформатора и входящим в зону его дифференциальной защиты. При наличии других защит, охватывающих реактор и удовлетворяющих требованиям чувствительности при к.з. за реактором, чувствительность дифференциальной защиты трансформатора при к.з. в этой точке допускается не обеспечивать.

Поперечные дифференциальные направленные защиты параллельных линий: для реле тока и реле напряжения пускового органа комплектов защиты от междуфазных к.з. и замыканий на землю - около 2,0 при включенных выключателях с обеих сторон поврежденной линии (в точке одинаковой чувствительности) и около 1,5 при отключенном выключателе с противоположной стороны поврежденной линии; для органа направления мощности нулевой последовательности - около 4,0 по мощности и около 2,0 по току и напряжению при включенных выключателях с обеих сторон и около 2,0 по мощности и около 1,5 по току и напряжению при отключенном выключателе с противоположной стороны;

для органа направления мощности включенного на полные ток и напряжение по мощности не нормируется, а по току - около 2,0 при включенных выключателях с обеих сторон и около 1,5 при отключенном выключателе с противоположной стороны.

Направленные защиты с высокочастотной блокировкой:

для органа направления мощности обратной или нулевой последовательности, контролирующего цепь отключения, - около 3,0 по мощности, около 2,0 по току и напряжению;

для пусковых органов, контролирующих цепь отключения, - около 2,0 по току и напряжению, около 1,5 по сопротивлению.

Дифференциально-фазные высокочастотные защиты:

для пусковых органов, контролирующих цепь отключения, - около 2,0 по току и напряжению, около 1,5 по сопротивлению.

Токовые отсечки без выдержки времени, устанавливаемые на генераторах мощностью до 1 МВт и трансформаторах, при КЗ в месте установки защиты - около 2,0.

Защиты от замыканий на землю на кабельных линиях, в сетях с изолированной нейтралью (действующие на сигнал или на отключение): для защит, реагирующих на токи основной частоты, - около 1,25; для защит, реагирующих на токи повышенных частот, - около 1,5.

Защиты от замыканий на землю на ВЛ сетях с изолированной нейтралью, действующие на сигнал или на отключение, - около 1,5.

При определении коэффициентов чувствительности необходимо учитывать следующее:

- 1 Чувствительность по мощности индукционного реле направления мощности проверяется только при включении его на составляющие токов и напряжений обратной и нулевой последовательностей.
- 2 Чувствительность реле направления мощности, выполненного по схеме сравнения (абсолютных значений или фаз) проверяется при включении на полные ток и напряжение - по току; при включении на составляющие токов и напряжений обратной и нулевой последовательностей - по току и напряжению.

Для генераторов, работающих на сборные шины, чувствительность токовой защиты от замыканий на землю в обмотке статора, действующей на отключение, определяется ее током срабатывания, который должен быть не более 5 А. Допускается как исключение увеличение тока срабатывания до 5,5 А.

Наименьшие коэффициенты чувствительности для резервных защит при к.з. в конце смежного элемента или наиболее удаленного из нескольких последовательных элементов, входящих в зону резервирования, должны быть:

для органов тока, напряжения, сопротивления - 1,2;

для органов направления мощности обратной и нулевой последовательностей - 1,4 по мощности и 1,2 по току и напряжению;

для органа направления мощности, включенного на полные ток и напряжение, не нормируется по мощности и 1,2 по току.

При оценке чувствительности ступеней резервных защит, осуществляющих ближнее резервирование, следует исходить из коэффициентов чувствительности для соответствующих защит.

Для токовых отсечек без выдержки времени, устанавливаемых на линиях и выполняющих функции дополнительных защит, коэффициент чувствительности должен быть около 1,2 при к.з. в месте установки защиты в наиболее благоприятном по условию чувствительности режиме.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Чернобровов Н. В., Семенов В.А. Релейная защита энергетических систем. М.: Энергоатомиздат, 1998.
- 2 Кривенков В. В., Новелла В. Н. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения. М.: Энергоатомиздат, 1981.
- 3 Андреев В. А. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения. М: Высшая школа, 1991.
- 4 Голубев М. Л. Расчет уставок релейной защиты и предохранителей в сетях 0,4 - 35 кВ. М: Энергия, 1969.
- 5 Беляев А. В. Выбор аппаратуры, защит и кабелей в сетях 0,4 кВ. Л: Энергоатомиздат, 1988.
- 6 Шабад М.А. Расчеты релейной защиты и автоматики распределительных сетей. Л: Энергоатомиздат, 1985.
- 7 Фабрикант В. Л., Андреев В. А., Бондаренко Е. В. Задачник по релейной защите. М., 1971.
- 8 Гельфанд Я. С., Голубев М. Л., Царев М. И. Релейная защита и электроавтоматика на переменном оперативном токе. М.: Энергия, 1973.
- 9 Авербух А. Релейная защита в примерах и задачах. М.: Энергоатомиздат, 1975.
- 10 Барзам А. Б. Системная автоматика. М.: Энергоатомиздат, 1989.

**Учебное издание**

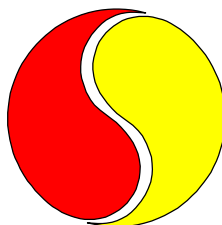
**РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА  
И АВТОМАТИКА В СИСТЕМАХ  
ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ**

Методические указания

Автор-составитель **СОЛОПАХО** Александр Владимирович

Редактор Т. М. Глинкина  
Инженер по компьютерному макетированию  
Г. Ю. Корабельникова

**РЕЛЕЙНАЯ  
ЗАЩИТА И АВТОМАТИКА  
В СИСТЕМАХ  
ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ**



Издательство ТГТУ