



Негосударственное частное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Технический университет УГМК»

## МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

### ЭЛЕМЕНТЫ СИСТЕМ АВТОМАТИКИ

Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника  
Профиль подготовки Электрооборудование и энергохозяйство горных и  
промышленных предприятий  
Уровень высшего образования бакалавриат  
*(бакалавриат, специалитет, магистратура)*

Автор - разработчик: Беспалов Л. К., ст. преподаватель  
Рассмотрено на заседании кафедры энергетики  
Одобрено Методическим советом университета 30 июня 2021 г., протокол № 4

г. Верхняя Пышма  
2021

**Лабораторные работы:**

| Раздел | Тема лабораторной работы                                                                                                                   |
|--------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 5      | Особенность построения токовой защиты трансформатора со схемами соединения обмоток $Y/Y0$ и $\Delta/Y0$ при наличии двигательной нагрузки. |
| 8      | Настройка токовых отсечек в блоке микропроцессорной защиты                                                                                 |
| 8      | Настройка МТЗ в блоке микропроцессорной защиты.                                                                                            |
| 8      | Настройка МТЗ с торможением по напряжению в блоке микропроцессорной защиты                                                                 |
| 8      | Исследование влияния схем соединения трансформаторов тока на чувствительность токовых защит.                                               |
| 8      | Настройка блока микропроцессорной дифференциальной защиты трансформатора                                                                   |

***Лабораторная работа №1***

*Тема:* Особенность построения токовой защиты трансформатора со схемами соединения обмоток  $Y/Y0$  и  $\Delta/Y0$  при наличии двигательной нагрузки.

**Цель работы:** Экспериментальное определение тока однофазного к.з. на землю в сети с глухозаземленной нейтралью при различных схемах соединения обмоток трансформатора.

**Теоретические пояснения к лабораторной работе:**

Несимметричные режимы работы трехфазных трансформаторов возникают при неравномерной нагрузке фаз при питании однофазных и несимметричных трехфазных приемников. Несимметрия фазных токов приводит к несимметрии напряжений, что неблагоприятным образом сказывается на работе трехфазных приемников.

Влияние несимметрии фазных токов на несимметрию напряжений обусловлено двумя причинами:

- различными падениями напряжения на сопротивлениях короткого замыкания в различных фазах и, соответственно, степень влияния этого фактора на несимметрию напряжений определяется величиной напряжения короткого замыкания трансформатора  $U_K$ ;

- возникновением первичных и вторичных токов (магнитных потоков) нулевой последовательности, величина которых определяется сопротивлением нулевой последовательности и, следовательно, зависит от схем соединения первичной и вторичной обмоток.

Так на рис. 1-4 показаны пути замыкания токов нулевой последовательности (рис. 1а - 4а) и диаграммы магнитных потоков (рис. 1б-4б) для исследуемых схем соединения обмоток.

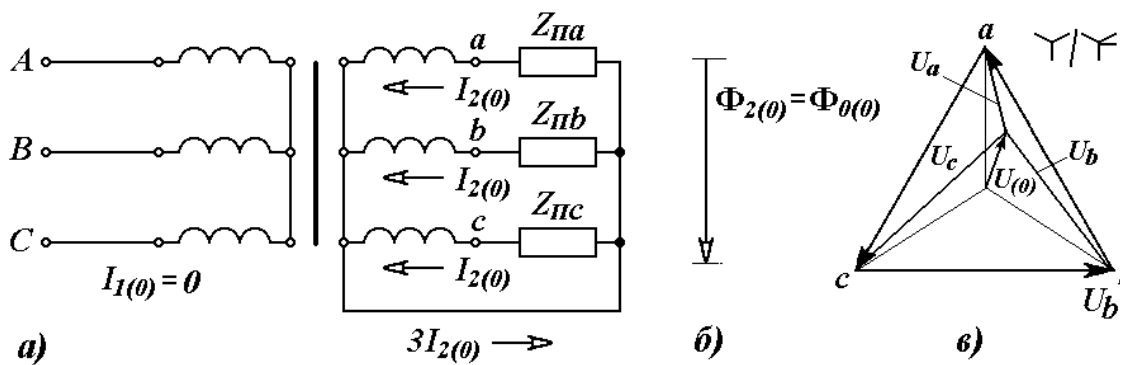


Рис. 1.

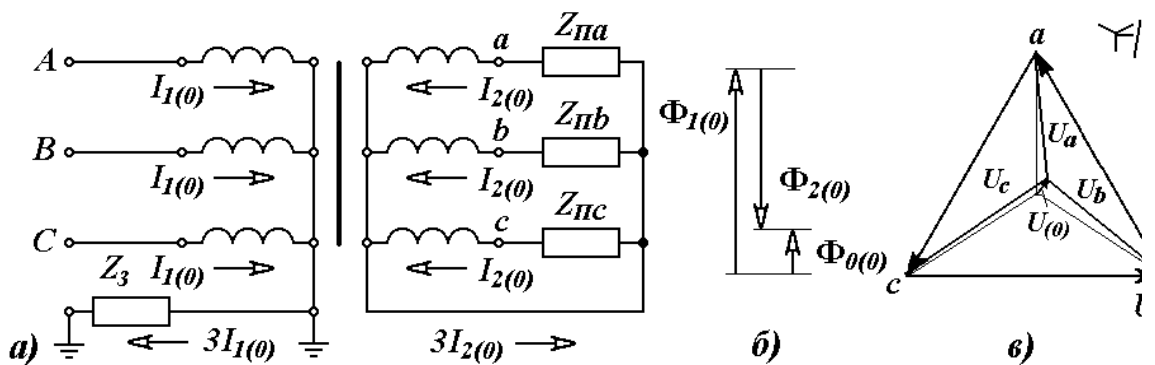


Рис. 2.

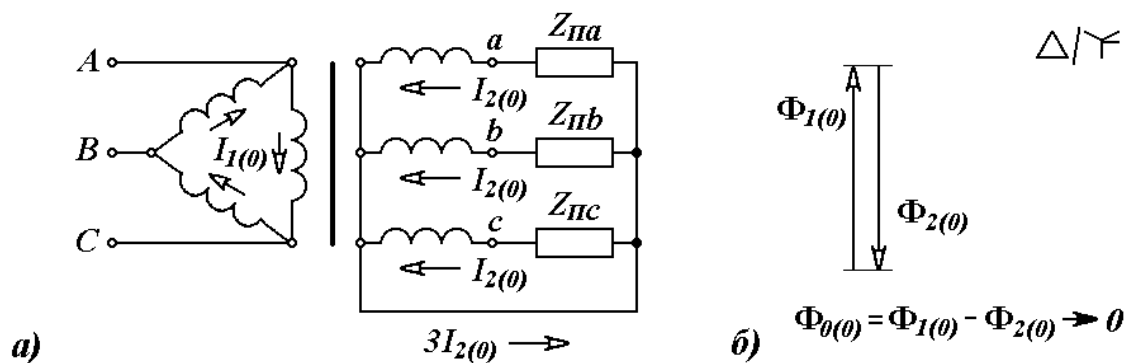


Рис. 3.

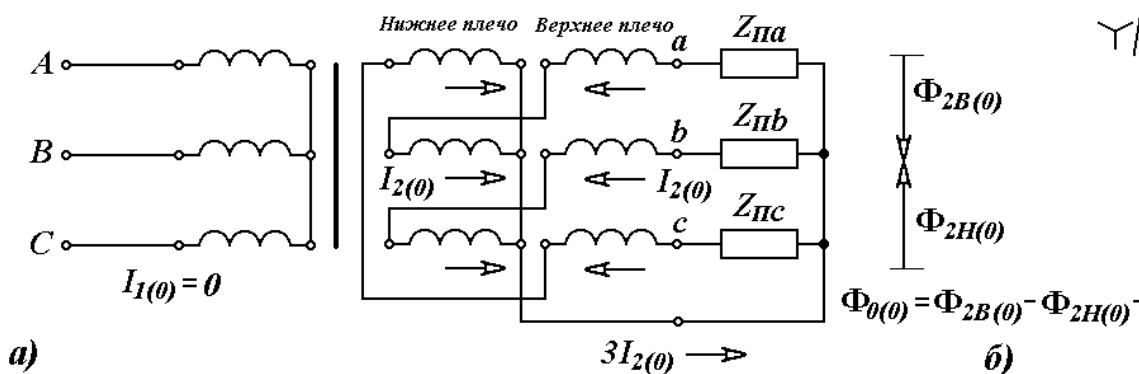


Рис. 4.

### Описание лабораторной установки

Лабораторная работа выполняется на учебном лабораторном стенде №1.

Подача напряжения на стенд производится кнопкой «ПУСК» (зеленой), снятие напряжения - кнопкой «СТОП» (красной), размещенных на блоке УЗО (рис. 5(а)).

**Трехфазный многообмоточный трансформатор (ТС1).** Номинальные данные трансформатора приведены в табл. 1.

Лицевая панель блока трансформатора **ТС1** приведен на рис. 5(б).

Включение и отключение трансформатора **ТС1** производится кнопками «ПУСК» и «СТОП».

**Таблица 1**  
**Номинальные данные исследуемого трансформатора ТС1**

| Схема соединения обмоток | $S_{НОМ}$ ,<br>ВА | $U_{1НОМ}$ ,<br>В | $I_{1НОМ}$ ,<br>А | $U_{2НОМ}$ ,<br>В | $I_{2НОМ}$ ,<br>А |
|--------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| $\Delta/Y_0$             | 380               | 380               | 0.58              | 220               | 1.0               |

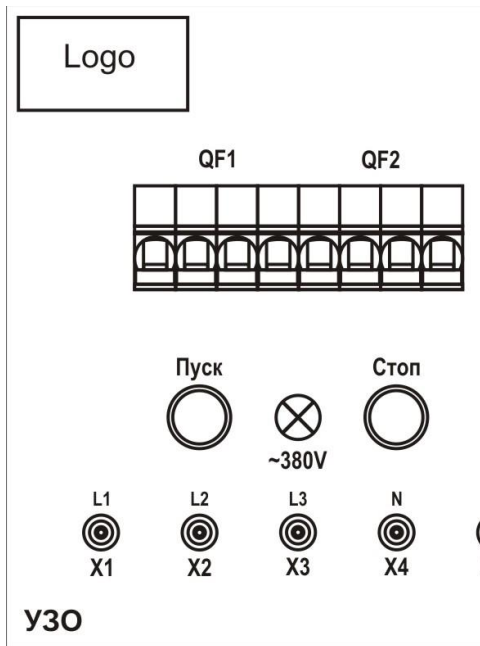


Рис. 5(а)

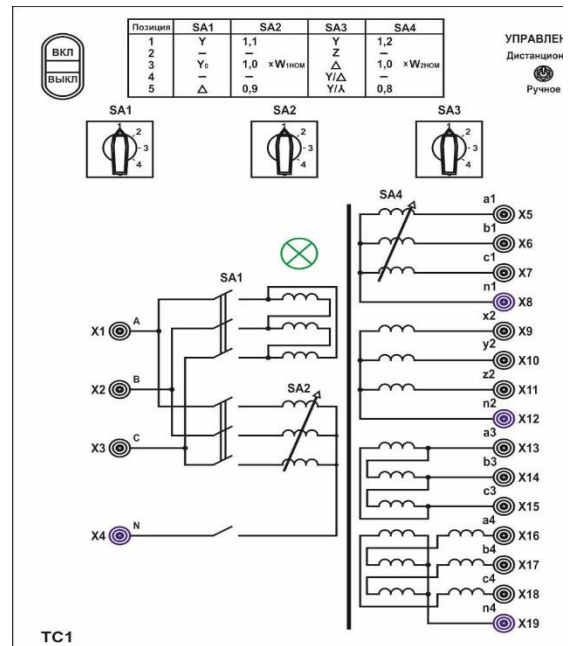


Рис. 5(б)

**Исследуемый асинхронный двигатель (ДА).** Объектом исследования является асинхронный двигатель. При проведении экспериментов и расчетов характеристик следует руководствоваться паспортными данными машины, приведенными в табл. 2.

Выводы статорной обмотки размещены на лицевой панели блока машин переменного тока, и имеют обозначение, показанное на рис. 6.

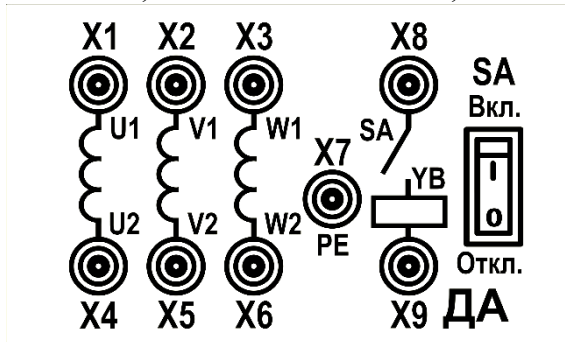


Рис. 6

**Таблица 2**  
Паспортные данные асинхронного двигателя АДМ63А4У2 (ДА)

| 2р | $P_{НОМ},$<br>Вт | $\cos\varphi$ | $n_{НОМ},$<br>об/мин | $U_{Л}$<br>$НОМ,$<br>В | $I_{НОМ},$<br>А | $k_M П,$<br>д.е. | $k_M КР,$<br>д.е. | $k_I П,$<br>д.е. | $R_{\Phi 1},$<br>Ом |
|----|------------------|---------------|----------------------|------------------------|-----------------|------------------|-------------------|------------------|---------------------|
|    | 250              | 0.67          | 1370                 | 380                    | 1.16            |                  |                   |                  |                     |

**Нагрузочная машина (ДП).** Для создания момента сопротивления на валу асинхронного двигателя используется генератор постоянного тока. Генератором служит машина постоянного тока ПЛ-072 У3, основные данные которого приведены в табл. 3. Электрическая схема генератора приведена на рис. 7. Выводы обмоток машины постоянного тока размещены на отдельном блоке стенда.

**Таблица 3**  
Паспортные данные генератора постоянного тока ПЛ-072 У3 (ДП)

| $P_{\text{НОМ}}$ ,<br>Вт | $n_{\text{НОМ}}$ ,<br>об/мин | КПД,<br>% | $U_{\text{Я}}$<br>НОМ,<br>В | $I_{\text{Я}}$<br>НОМ,<br>А | $U_{\text{В}}$<br>НОМ,<br>В | $I_{\text{В}}$<br>НОМ,<br>А | $R_{\text{Я}}$ ,<br>Ом | $R_{\text{В}}$ ,<br>Ом | $R_{\text{П}}$ ,<br>Ом |
|--------------------------|------------------------------|-----------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| 180                      | 1500                         | 63        |                             | 1,0                         |                             | 0,3                         |                        |                        |                        |

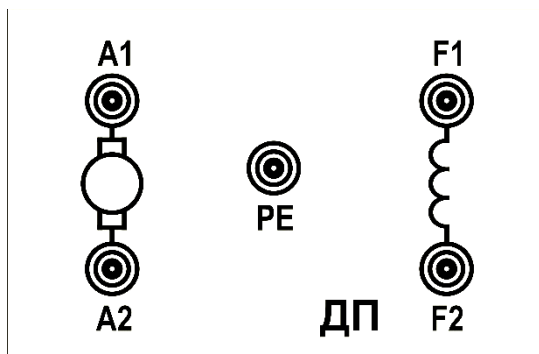
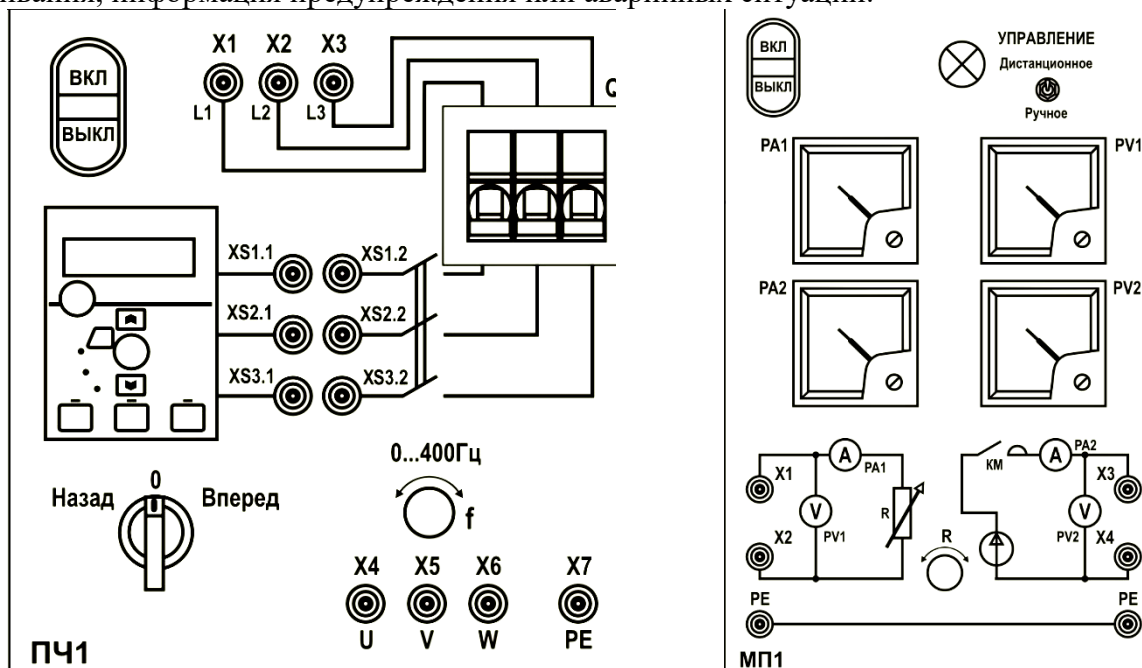


Рис. 7

**Преобразователь частоты (ПЧ).** В лабораторной работе используется промышленный преобразователь частоты ПЧВ101 фирмы «ОВЕН». Транзисторный преобразователь частоты встроен в отдельный блок стенда. Включение и отключение ТПЧ осуществляется кнопками «ПУСК» и «СТОП». Реверс осуществляется положениями переключателя «ВПЕРЕД», «НАЗАД». Регулирование частоты производится потенциометром «f».

Управление ТПЧ осуществляется с помощью панели управления оператора (рис. 8 а). Панель позволяет запускать и останавливать двигатель, контролировать режим работы, переключать режимы меню. В режиме меню устанавливаются данные функциональных кодов, контролируются состояния сигналов входа-выхода, выводится информация для обслуживания, информация предупреждения или аварийных ситуаций.



а)  
Рис. 8

б)

**Измерительный комплект.** Для измерения напряжений и токов, а так же гармонического состава на стенде имеется трехфазный измерительный комплект. Вид мнемосхемы комплекта приведен на рис. 9.

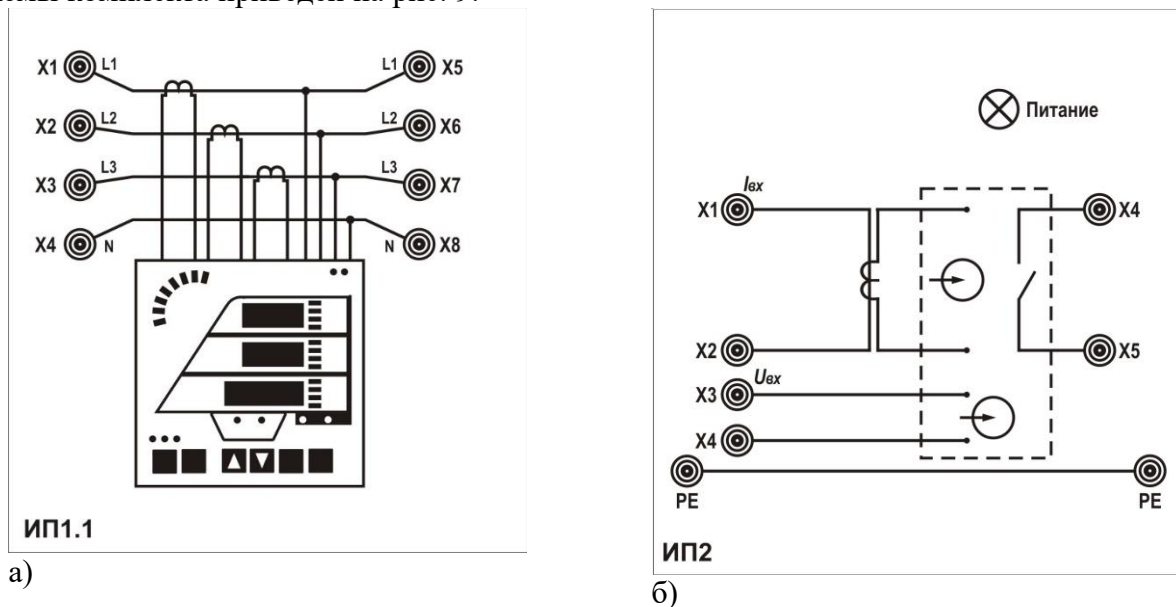


Рис. 9

**Оборудование машины постоянного тока (МПП).** Блок предназначен для управления и измерения электрических параметров нагрузочной машины ДП. Вид мнемосхемы комплекта приведен на рис. 9 б).

**Нагрузочный реостат НТЗ.** В качестве нагрузки трансформатора используется трехфазный нагрузочный реостат, схема которого приведена на рис. 10. Изменение сопротивления фаз осуществляется ступенчато поворотными рукоятками *R*, *L* и *C*.

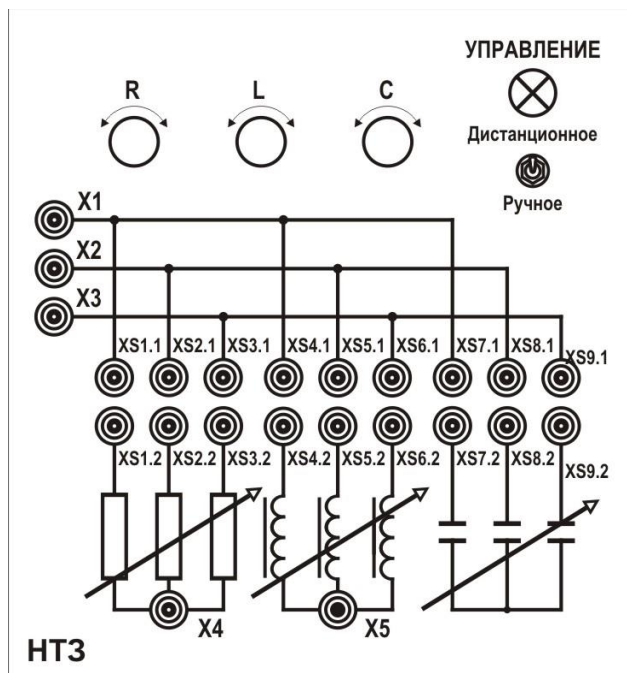


Рис. 10

1. Экспериментальное определение пускового тока асинхронного двигателя.
2. Экспериментальное определение тока однофазного к.з. на землю при схеме соединения обмоток трансформатора  $\Delta/Y$ .
3. Экспериментальное определение тока однофазного к.з. на землю при схеме соединения обмоток трансформатора  $Y/Y$ .
4. Обработка результатов исследования

#### **Ход работы:**

##### ***1. Экспериментальное определение пускового тока асинхронного двигателя.***

1. При выполнении работ в ручном режиме переключатели режима управления всех используемых блоков перевести в положение «ручное», при проведении работ в удаленном режиме – положение «дистанционное».
2. Проверить состояние аппаратов защиты стенда ***QF1*** и ***QF2*** на блоке УЗО. Указанные аппараты должны быть включены
3. Собрать схему 1
4. ***ТС1***. Установить положение избирателей отпаек первичной и вторичной обмоток: ***SA2*** - «5», ***SA4*** - «1».
5. ***ТС1***. Установить схему соединений обмоток трансформатора  $\Delta/Y_0$ . Положение ***SA1*** - «5», ***SA3*** - «1».
6. Изменение положений ***SA1***, ***SA2***, ***SA3***, ***SA4*** производить только при отключенном питании трансформатора
7. Преобразователь частоты (***ПЧ***). Проверить состояние аппарата ***QF***. Указанный аппарат должен быть включен.
8. Оборудование машины постоянного тока ***МПИ***. Величину сопротивления сделать максимальной (ступенчато поворотная рукоятка ***R*** в крайнем правом положении).
9. **ПОДГОТОВЛЕННЫЙ К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ СТЕНД ДОЛЖЕН БЫТЬ ПРОВЕРЕН ПРЕПОДАВАТЕЛЕМ (ЛАБОРАНТОМ)**
10. Подать питание на стенд включением кнопки «Пуск» на блоке УЗО.
11. Подать напряжение на трансформатор ***ТС1*** кнопкой «Пуск».
12. Подать напряжение на преобразователь частоты ***ПЧ*** кнопкой «Пуск».
13. Подать напряжение на блоке оборудования машины постоянного тока ***МПИ*** кнопкой «Пуск».
14. С помощью прибора ИП2 зарисовать кривую тока  $I_a$  во время разгона двигателя.
15. По завершении исследования каждой схемы отключать питание трансформатора ***ТС1*** кнопкой «Стоп», преобразователя частоты ***ПЧ*** кнопкой «Стоп» и оборудования машины постоянного тока ***МПИ*** кнопкой «Стоп».

Определить по графику пусковой ток асинхронного двигателя (максимальное амплитудное значение). Значение занести в таблицу 1



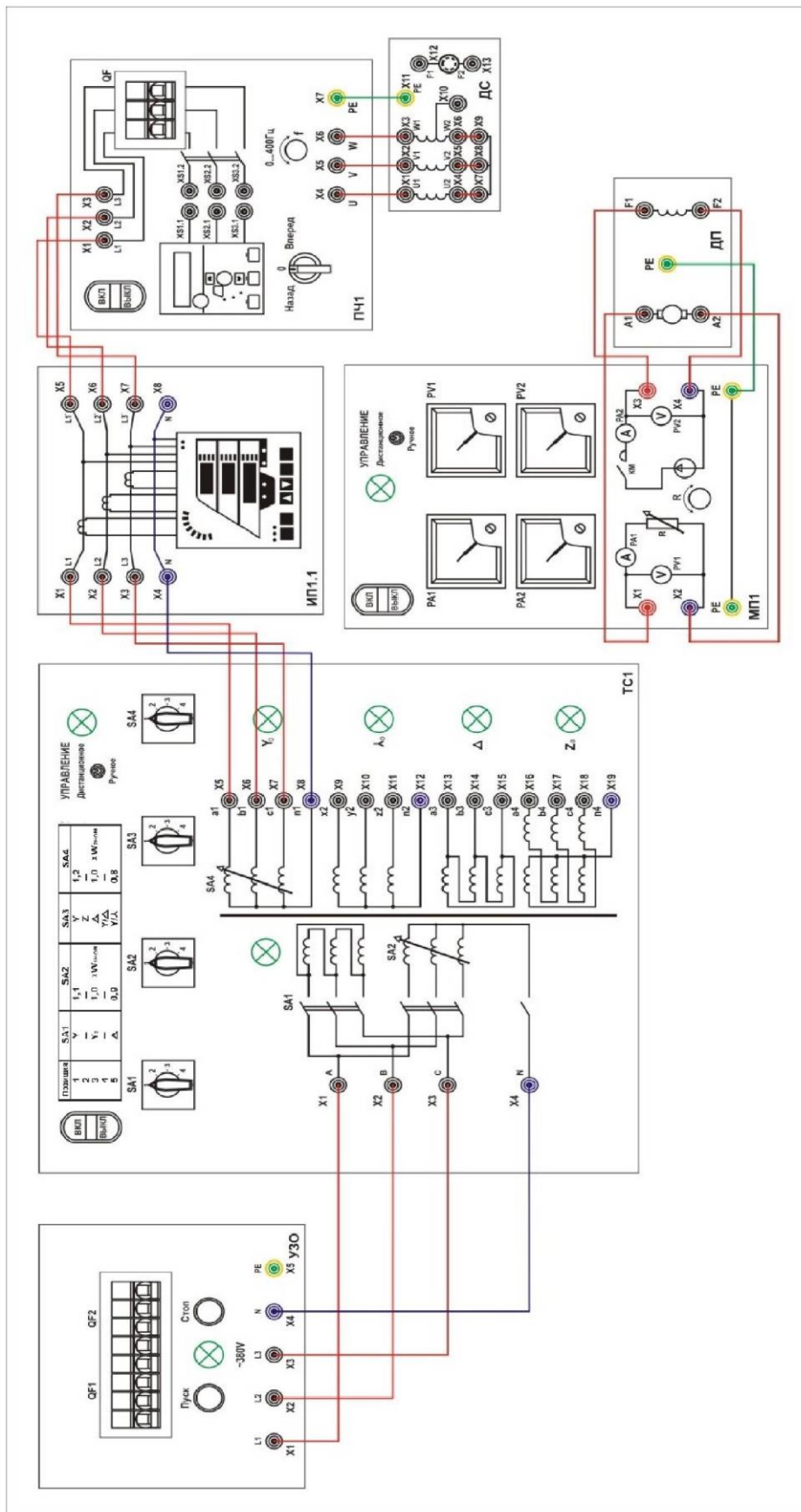


Схема 1

2.1 Экспериментальное определение тока однофазного к.з. на землю при схеме соединения обмоток трансформатора  $\Delta/Y$ . Опыт холостого хода.

16. При выполнении работ в ручном режиме переключатели режима управления всех используемых блоков перевести в положение «ручное», при проведении работ в удаленном режиме – положение «дистанционное».
17. Проверить состояние аппаратов защиты стенда *QF1* и *QF2* на блоке УЗО.  
Указанные аппараты должны быть включены
18. Собрать схему 2
19. *ТС1*. Установить положение избирателей отпаек первичной и вторичной обмоток:  
*SA2* - «5», *SA4* - «1».
20. *ТС1*. Установить схему соединений обмоток трансформатора  $\Delta/Y$ . Положение *SA1* - «5», *SA3* - «1».
21. Изменение положений *SA1*, *SA2*, *SA3*, *SA4* производить только при отключенном питании трансформатора
22. Нагрузочный реостат *НТЗ*. Установить активный характер сопротивления нагрузочного устройства, установить режим хх (ступенчато поворотная рукоятка *R* в крайнем левом положении).
- 23. ПОДГОТОВЛЕННЫЙ К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ СТЕНД ДОЛЖЕН БЫТЬ ПРОВЕРЕН ПРЕПОДАВАТЕЛЕМ (ЛАБОРАНТОМ)**
24. Подать питание на стенд включением кнопки «Пуск» на блоке УЗО.
25. Подать напряжение на трансформатор *ТС1* кнопкой «Пуск».
26. С помощью прибора ИП1.1 провести измерения фазных токов и напряжений.  
Измеряемые величины занести в таблицу 1.
27. По завершении исследования каждой схемы отключать питание трансформатора *ТС1* кнопкой «Стоп».

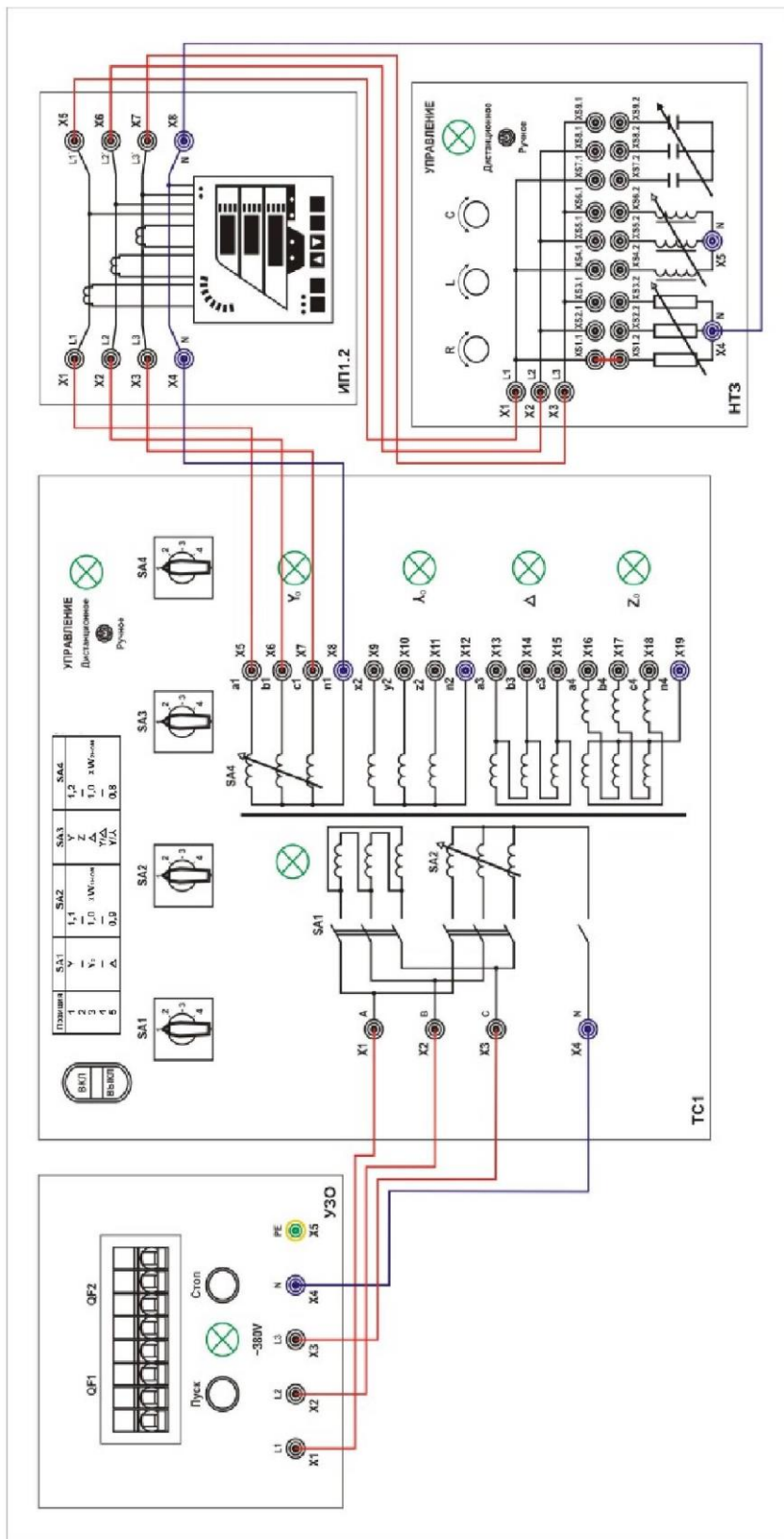


Схема 2

2.2 Экспериментальное определение тока однофазного к.з. на землю при схеме соединения обмоток трансформатора  $\Delta/Y$ . Опыт в режиме минимальной нагрузки.

28. При выполнении работ в ручном режиме переключатели режима управления всех используемых блоков перевести в положение «ручное», при проведении работ в удаленном режиме – положение «дистанционное».
29. Проверить состояние аппаратов защиты стенда *QF1* и *QF2* на блоке УЗО. Указанные аппараты должны быть включены
30. *ТС1*. Установить положение избирателей отпаек первичной и вторичной обмоток: *SA2* - «5», *SA4* - «1».
31. *ТС1*. Установить схему соединений обмоток трансформатора  $\Delta/Y$ . Положение *SA1* - «5», *SA3* - «1».
32. Изменение положений *SA1*, *SA2*, *SA3*, *SA4* производить только при отключенном питании трансформатора
33. Нагрузочный реостат *НТЗ*. Установить активный характер сопротивления нагрузочного устройства, величину его сделать минимальной (ступенчато поворотная рукоятка *R* в крайнем правом положении).
- 34. ПОДГОТОВЛЕННЫЙ К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ СТЕНД ДОЛЖЕН БЫТЬ ПРОВЕРЕН ПРЕПОДАВАТЕЛЕМ (ЛАБОРАНТОМ)**
35. Подать питание на стенд включением кнопки «Пуск» на блоке УЗО.
36. Подать напряжение на трансформатор *ТС1* кнопкой «Пуск».
37. С помощью прибора ИП1.1 провести измерения фазных токов и напряжений. Измеряемые величины занести в таблицу 1.
38. По завершении исследования каждой схемы отключать питание трансформатора *ТС1* кнопкой «Стоп».

### *3.1 Экспериментальное определение тока однофазного к.з. на землю при схеме соединения обмоток трансформатора Y/Y. Опыт холостого хода.*

39. При выполнении работ в ручном режиме переключатели режима управления всех используемых блоков перевести в положение «ручное», при проведении работ в удаленном режиме – положение «дистанционное».
40. Проверить состояние аппаратов защиты стенда *QF1* и *QF2* на блоке УЗО. Указанные аппараты должны быть включены
41. *ТС1*. Установить положение избирателей отпаек первичной и вторичной обмоток: *SA2* - «5», *SA4* - «1».
42. *ТС1*. Установить схему соединений обмоток трансформатора  $\Delta/Y$ . Положение *SA1* - «1», *SA3* - «1».
43. Изменение положений *SA1*, *SA2*, *SA3*, *SA4* производить только при отключенном питании трансформатора
44. Нагрузочный реостат *НТЗ*. Установить активный характер сопротивления нагрузочного устройства, установить режим хх (ступенчато поворотная рукоятка *R* в крайнем левом положении).
- 45. ПОДГОТОВЛЕННЫЙ К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ СТЕНД ДОЛЖЕН БЫТЬ ПРОВЕРЕН ПРЕПОДАВАТЕЛЕМ (ЛАБОРАНТОМ)**
46. Подать питание на стенд включением кнопки «Пуск» на блоке УЗО.
47. Подать напряжение на трансформатор *ТС1* кнопкой «Пуск».
48. С помощью прибора ИП1.1 провести измерения фазных токов и напряжений. Измеряемые величины занести в таблицу 1
49. По завершении исследования каждой схемы отключать питание трансформатора *ТС1* кнопкой «Стоп».

### *3.2 Экспериментальное определение тока однофазного к.з. на землю при схеме соединения обмоток трансформатора Y/Y. Опыт в режиме минимальной нагрузки.*

50. При выполнении работ в ручном режиме переключатели режима управления всех используемых блоков перевести в положение «ручное», при проведении работ в удаленном режиме – положение «дистанционное».
51. Проверить состояние аппаратов защиты стенда **QF1** и **QF2** на блоке УЗО. Указанные аппараты должны быть включены
52. **ТС1**. Установить положение избирателей отпаек первичной и вторичной обмоток: **SA2** - «5», **SA4** - «1».
53. **ТС1**. Установить схему соединений обмоток трансформатора **Y/Y**. Положение **SA1** - «1», **SA3** - «1».
54. Изменение положений **SA1**, **SA2**, **SA3**, **SA4** производить только при отключенном питании трансформатора
55. Нагрузочный реостат **HT3**. Установить активный характер сопротивления нагрузочного устройства, его величину сделать максимальной (ступенчато поворотная рукоятка **R** в крайнем левом положении).
56. отключенном питании трансформатора
57. Нагрузочный реостат **HT3**. Установить активный характер сопротивления нагрузочного устройства, величину его сделать минимальной (ступенчато поворотная рукоятка **R** в крайнем правом положении).
- 58. ПОДГОТОВЛЕННЫЙ К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ СТЕНД ДОЛЖЕН БЫТЬ ПРОВЕРЕН ПРЕПОДАВАТЕЛЕМ (ЛАБОРАНТОМ)**
59. Подать питание на стенд включением кнопки «Пуск» на блоке УЗО.
60. Подать напряжение на трансформатор **ТС1** кнопкой «Пуск».
61. С помощью прибора ИП1.1 провести измерения фазных токов и напряжений. Измеряемые величины занести в таблицу 1.

По завершении исследования каждой схемы отключать питание трансформатора **ТС1** кнопкой «Стоп».

Таблица 1

| Опыт                         |           | $U_a, В$ | $I_a, А$ | $I_{пуск}, А$ |
|------------------------------|-----------|----------|----------|---------------|
| Прямой пуск АД               |           | -        | -        |               |
| <b><math>\Delta/Y</math></b> | xx        |          |          |               |
|                              | $R_{min}$ |          |          |               |
| <b><math>Y/Y</math></b>      | xx        |          |          |               |
|                              | $R_{min}$ |          |          |               |

#### **Обработка результатов исследования**

После проведения опытов, для каждой схемы соединения, по двум точкам построить характеристики  $U_a(I_a)$ . Определить графически ток однофазного к.з. на землю, для этого построенные характеристики необходимо продлить до пересечения с осью I. Точка пересечения характеристики и оси I будет равна току к.з.. Необходимо произвести сравнение полученных значений токов с пусковым током  $I_{пуск}$  и сделать соответствующие выводы об особенностях построения токовой защиты трансформатора при наличии двигательной нагрузки.

**Сделать выводы о проделанной работе.**

## Лабораторная работа №2

Тема: Настройка токовых отсечек в блоке микропроцессорной защиты.

**Цель работы:** Получение практических навыков настройки токовых отсечек в блоках микропроцессорной релейной защиты.

### Теоретические пояснения к лабораторной работе

Токовая отсечка (ТО) – это разновидность токовой защиты, обеспечивающая быстрое отключение аварийных токов коротких замыканий (КЗ). Используется только как защита от КЗ для предотвращения повреждения электрооборудования ЛЭП.

Токовые отсечки подразделяются на:

- 1) отсечки мгновенного действия, которые в свою очередь могут быть селективными и не селективными;
- 2) отсечки с выдержкой времени.

Для увеличения зоны действия ТО могут иметь пуск по напряжению, а в сетях с двухсторонним питанием выполняться направленными.

*Селективная токовая отсечка.* Селективность действия мгновенной селективной ТО достигается выбором ее тока срабатывания.

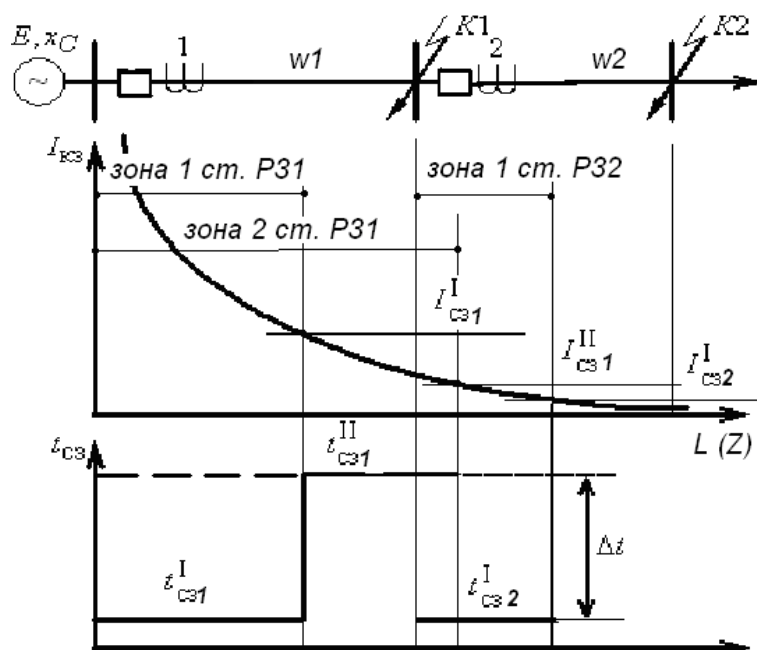


Рис. 1. Принцип выполнения и расчета тока срабатывания ТО

Рассмотрим принципы выполнения мгновенной селективной ТО на примере схемы сети, показанной на рис. 1. Ток срабатывания защиты ( $I_{cs}$ ) P31 принимается больше максимального тока КЗ ( $I_{kz\ max}$ ), проходящего через нее при замыкании в конце защищаемого элемента (в точке K1 для защиты P31 на рис. 1). При этом зона действия защиты не будет выходить за пределы защищаемых элементов сети, т.е. мгновенная селективная ТО является *абсолютно селективной*.

Характер изменения тока  $I_{kz}$  в зависимости от расстояния (сопротивления) до точки КЗ может быть определен следующим образом:

$$I_{kz}^{(3)} = \frac{E_c}{\sqrt{3}(x_c + x_{kz})} = \frac{E_c}{\sqrt{3}(x_c + l_{kz} \cdot x_0)}, \quad (1)$$

где  $E_c$  – эквивалентная ЭДС системы;  $x_{кз} = x_0 \cdot \ell_{кз}$  – сопротивление участка ЛЭП до точки КЗ;  $\ell_{кз}$  – длина участка до точки КЗ;  $x_0$  – удельное сопротивление, Ом/км.

На рис. 1 показана кривая изменения тока КЗ при перемещении повреждения от начала участка схемы сети к его концу. Ток  $I_{сз}$  должен быть выбран так, чтобы защита отключала КЗ на своей линии и не отключала на соседней, т.е.  $I_{сз} > I_{кз(K1)}$ , где  $I_{кз(K1)}$  – максимальное значение тока КЗ при замыкании в начале следующей ЛЭП. Исходя из этого положения ток срабатывания мгновенной селективной ТО определяется следующим образом:

$$I_{сз} = k_{отс} I_{кз \text{ внеш.мах}}, \quad (2)$$

где  $I_{кз \text{ внеш.мах}}$  – периодическая составляющая тока трехфазного КЗ в конце защищаемого элемента (в точке  $K1$  на рис. 1 для защиты линии  $W1$ ) в максимальном режиме работы системы. При использовании токового реле типа РТ-80 необходимо учитывать и аperiodическую составляющую тока КЗ, умножая  $I_{кз \text{ внеш.мах}}$  на коэффициент  $k_a = (1,8-2,0)$ . Это объясняется тем, что в схеме ТО с таким реле отсутствует выходное промежуточное реле, поэтому защита имеет меньшее время действия и может успеть сработать от полного тока внешнего КЗ;  $k_{отс}$  – коэффициент отстройки, учитывающий неточность расчета тока КЗ и погрешности реле защиты. Коэффициент отстройки принимается равным 1,2 – 1,3 при выполнении ТО с реле серии РТ-40 или РСТ, либо 1,5 при выполнении ТО с реле серии РТ-80, т. к. у электромагнитного элемента этого реле, который используется для выполнения ТО, большая погрешность в токе срабатывания (до 20-30%).

Если рассчитывать  $I_{сз}$  защиты по току двухфазного КЗ, который меньше, чем ток трехфазного замыкания, то возможно неселективное действие токовой отсечки при повреждениях на следующей линии. Точка пересечения кривой изменения тока КЗ и прямой, определяющей ток срабатывания защиты, в которой  $I_{кз} = I_{сз}$ , делит линию  $W1$  на две части: там, где  $I_{сз} < I_{кз}$  находится зона работы защиты, а там, где  $I_{сз} > I_{кз}$  – находится «мертвая зона», при замыкании в которой защита не работает. Наличие мертвой зоны является самым существенным недостатком ТО.

Зона действия ТО также не остается постоянной, Она зависит от вида КЗ и режима работы системы. При 3-х фазных КЗ и максимальном режиме работы системы – она наибольшая, при 2-х фазных КЗ и минимальном режиме работы системы уменьшается. Длина «мертвой зоны» может быть определена графически, если в масштабе относительно длины линии построить кривую изменения тока КЗ и прямую, определяющей ток срабатывания защиты, или путем следующего расчета:

на границе «мертвой зоны»  $I_{сз} = I_{кз}$ . Тогда на основании выражения (1) можно записать, что

$$I_{сз} = \frac{E_c}{\sqrt{3}(X_c + X_{отс})}, \quad (3)$$

откуда выразить сопротивление участка линии, равного длине зоны действия защиты, как

$$X_{отс} = \frac{E_c}{\sqrt{3}I_{сз}} - X_c. \quad (4)$$

Длина зоны действия мгновенной селективной ТО в процентах от длины защищаемой линии определяется следующим образом:

$$L_{отс} \% = \frac{100}{x_{Л}} \left( \frac{E_c}{\sqrt{3}I_{сз}} - X_c \right) \quad (5)$$

Согласно ПУЭ мгновенная селективная ТО может использоваться, если длина зоны ее действия оказывается не менее 20% длины защищаемой линии. Допускается применять эту защиту и с меньшей зоной действия в качестве дополнительной, если основная защита имеет мертвую зону при КЗ в начале защищаемого элемента, т. е. у шин подстанции (например, направленная МТЗ).

Схема ТО без выдержки времени аналогична схеме максимально токовой защиты (МТЗ) без реле времени.

Время действия мгновенной ТО складывается из времени замыкания контактов реле, входящих в схему защиты. В основном это время действия промежуточных реле. Обычно для электромеханических реле  $t_{сз}$  находится в диапазоне 0,06 – 0,1 с. Для защит с реле РТ-80, где отсутствуют выходные промежуточные реле, время действия получается меньше.

Для расширения зоны действия мгновенной селективной ТО, установленной на блоке линия-трансформатор, или на линии, питающей тупиковую подстанцию, применяется комбинированная ТО, т. е. отсечка по току и напряжению.

*Неселективная токовая отсечка.* Неселективной называется мгновенная ТО, действующая за пределами своей линии. Применяется она для мгновенного отключения токов КЗ в пределах всей защищаемой линии. Неселективная работа такой защиты исправляется действием автоматики повторного включения (АПВ). Пример применения неселективной ТО показан на рис. 2.

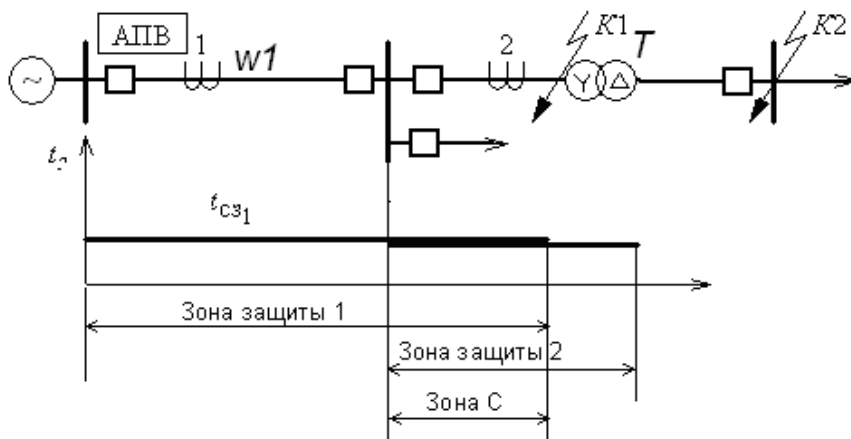


Рис. 2. Неселективная токовая отсечка в сочетании с АПВ

На линии  $W1$  установлена отсечка ТО1, неселективная по отношению к РЗ трансформатора. Ток срабатывания отсечки ТО1 отстраивается от конца зоны отсечки 2, установленной на трансформаторе. При этом

$$I_{сз1(н)} = k_{отс} I_{сз2}, \quad (6)$$

где  $I_{сз2}$  - ток срабатывания токовой отсечки трансформатора;  $k_{отс} = 1,1-1,2$  – коэффициент отстройки.

При данном способе согласования вся линия  $W1$  входит в зону мгновенной ТО1. Буквой «С» на рис. 2 обозначена зона совместного действия защит. При КЗ в трансформаторе (точка  $K1$ ) могут сработать обе защиты 1 и 2 и отключатся оба



выключателя. После отключения  $Q1$  срабатывает АПВ и вновь включает  $Q1$ . При этом питание неселективно отключившейся подстанции восстанавливается. Аналогичным образом производится согласование неселективной токовой отсечки линии  $W1$  с мгновенной селективной токовой отсечкой следующей линии.

*Направленные токовые отсечки.* Направленными токовые отсечки выполняются на линиях с двухсторонним питанием для расширения зоны их действия. Защиты на таких ЛЭП устанавливаются с двух сторон, причем токи внешних КЗ для каждой из них, как правило, не совпадают (рис. 3). Для того, чтобы защиты 1 и 2 не работали при замыканиях за пределами линии  $W$ , ток их срабатывания должен быть больше наибольшего из них. При этом зона действия одной из них, а именно с меньшим значением  $I_{кз\text{ внеш.}max}$  (защиты 1 на рис. 3), оказывается небольшой и будет тем меньше, чем больше разница между токами внешнего КЗ.

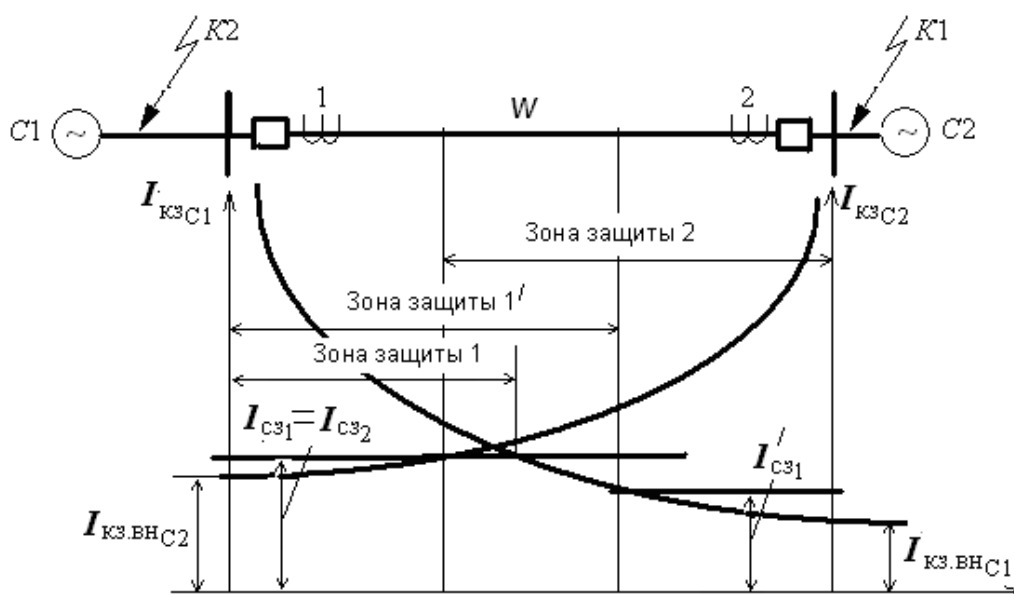


Рис. 3. Выбор тока срабатывания мгновенных токовых отсечек на линиях с двухсторонним питанием

Для расширения зоны действия этой защиты ее выполняют направленной. Направление действия ТО, как и для МТЗ, принимается от шин в линию. При этом каждая ТО отстраивается от тока КЗ, протекающего от «своей» системы при расчетном внешнем КЗ (на шинах в конце линии), т. е.:

$$I_{cs1} = k_n I_{кз.вн.C1}; \quad I_{cs2} = k_n I_{кз.вн.C2} \quad (7)$$

Зоны действия защит указаны на рис. 3, причем зона действия направленной ТО в этом случае значительно расширяется. Условие отстройки тока срабатывания ТО на ЛЭП с двухсторонним питанием от  $I_{кз\text{ внеш.}max}$  не является единственным. При наличии двухстороннего питания по линии могут протекать токи качаний. Для того, чтобы защита не работала от этих токов, необходимо выполнение второго условия, а именно:

$$I_{cs} = k_{отс} I_{кач.max}, \quad (8)$$

где  $k_{отс} = 1,2-1,3$  – коэффициент отстройки;  $I_{кач.max} = 2E_c / (\sqrt{3}Z_\Sigma)$  – максимальное значение тока качаний.

В качестве окончательного значения  $I_{cs}$  принимается наибольшее его значение. Схема направленной ТО аналогична схеме направленной МТЗ, но в ней отсутствует реле

времени. Направленная ТО так же, как и направленная МТЗ, имеет мертвую зону по напряжению при трехфазных КЗ вблизи места установки защиты. Несмотря на все отмеченные недостатки, ТО всех разновидностей широко применяются в качестве первых ступеней защит линий, поскольку КЗ, возникающее в зоне действия мгновенной ТО, отключаются без выдержки времени. Кроме того, мгновенная ТО является одним из самых простых устройств релейной защиты.

### Описание лабораторной установки

Лабораторная работа выполняется на учебном лабораторном стенде № 3. Подача напряжения на стенд производится кнопкой **SB1** «ПУСК» (зеленой), снятие напряжения - кнопкой **SB2** «СТОП» (красной), размещенных на блоке УЗО (рис. 4).

**Объектом исследования** является релейная микропроцессорная защита системы сборных шин двухтрансформаторной подстанции.

В лабораторной работе используется следующее оборудование:

**Двухтрансформаторная подстанция (ТП).** Управление режимом работы двухтрансформаторной подстанции осуществляется с помощью 6 контакторов, имитирующих работу выключателей, которые в свою очередь могут управляться либо вручную с помощью ключей **Q1 - Q6** либо дистанционно. В режиме дистанционного управления все ключи **Q1 - Q6** должны находиться в положении «Откл.» (рис. 5). Оборудована реле напряжения, установленными на выводах вторичных обмоток трансформаторов для контроля. Сигналы от реле напряжения поступают через блок сбора данных в компьютер для последующей обработки.

В один из трансформаторов включена цепь, имитирующая витковое замыкание в обмотке. Величина сопротивления, подключаемого к выводам одной из обмоток, может регулироваться в диапазоне от 10 Ом до 110 Ом. Замыкание аварийной цепи производится с помощью кнопки **SB1**.

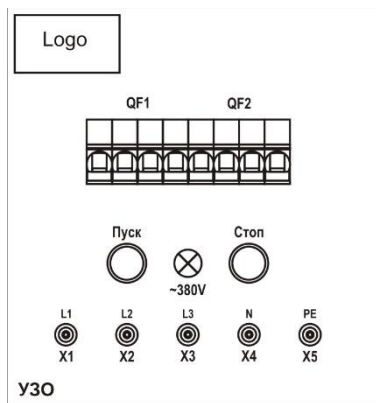


Рис. 4. Блок УЗО

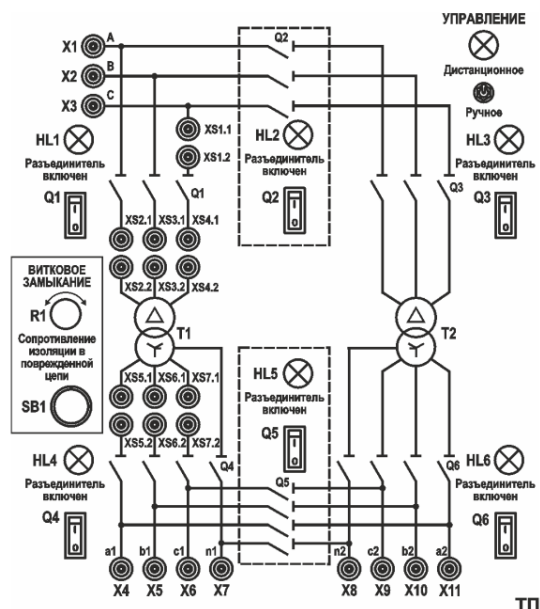


Рис. 5. Блок ТП

Таблица 1  
Технические данные трехфазного универсального лабораторного трансформатора

| Величина             | Значение         |
|----------------------|------------------|
| Число фаз            | 3                |
| Номинальная мощность | $S_{НОМ}$ 380 ВА |

|                                  |                   |                      |
|----------------------------------|-------------------|----------------------|
| Типовая мощность                 | $S_{\text{тип}}$  | 840 ВА               |
| Номинальное первичное напряжение | $U_{1\text{НОМ}}$ | 380 В                |
| Номинальное вторичное напряжение | $U_{2\text{НОМ}}$ | 220 В                |
| Номинальный первичный ток        | $I_{1\text{НОМ}}$ | 0.58 А               |
| Номинальный вторичный ток        | $I_{2\text{НОМ}}$ | 1.00 А               |
| Напряжение короткого замыкания   | $U_{\text{К}\%}$  | 3,6 %                |
| Ток холостого хода               | $I_{0\%}$         | 12,00%               |
| Потери короткого замыкания       | $P_{\text{К}}$    | 13 Вт                |
| Схемы соединения обмоток ВН      |                   | <b>Y</b>             |
| Схемы соединения обмоток НН      |                   | <b>Y<sub>0</sub></b> |
| Способ охлаждения                |                   | <b>C</b>             |

**Сборная система шин (ШС2).** Сборная система шин предназначена для присоединения нагрузок к источникам электрической энергии. Присоединение нагрузки осуществляется с помощью автоматического выключателя, который в свою очередь может подключаться к секции шин и нагрузке с помощью управляемых разъединителей. Управление разъединителями может быть как ручным так и дистанционным. Каждый выключатель оборудован независимым расцепителем, подключенным к источнику питания. Клеммы расцепителя выведены на лицевую панель. Также на лицевую панель выведены клеммы дистанционно управляемого контакта, и контакты сигнализации состояния выключателей. Вид мнемосхемы приведен на рис. 6.

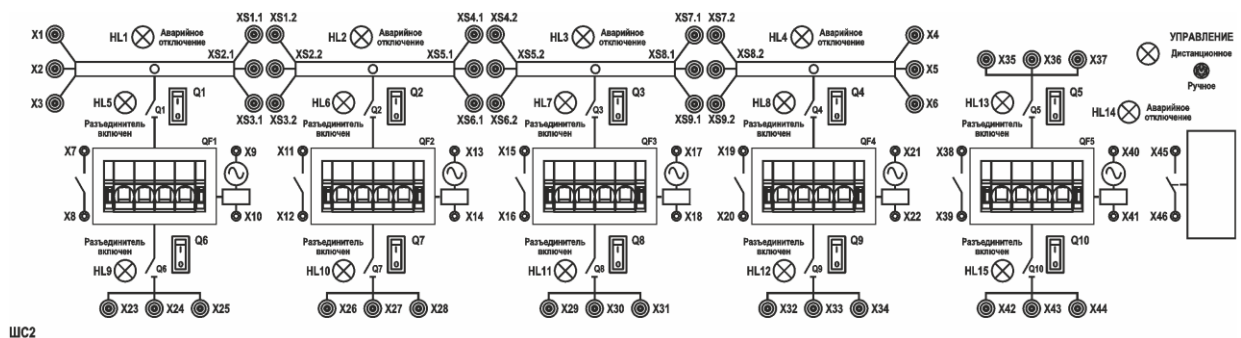


Рис. 6. Блок ШС2

**Короткозамыкатель (КЗ).** Блок предназначен для имитации аварийного режима работы системы электроснабжения. Для обеспечения безопасности при проведении экспериментов блок снабжен схемой, ограничивающей время замкнутого состояния контактов при нажатой и удерживаемой кнопке **SB**.

В блоке предусмотрено ограничение величины тока замыкания, для чего последовательно с каждым полюсом контактора включен токоограничивающий резистор сопротивлением 5,1 Ом. Вид мнемосхемы приведен на рис. 7.

**Трехфазный измерительный комплект (ИП1.2).** Для измерения электрических величин используется встроенный в стенд трехфазный измерительный прибор. Вид мнемосхемы прибора приведен на рис. 8.

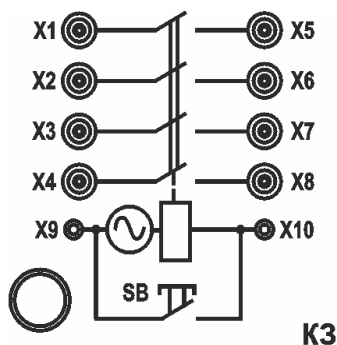
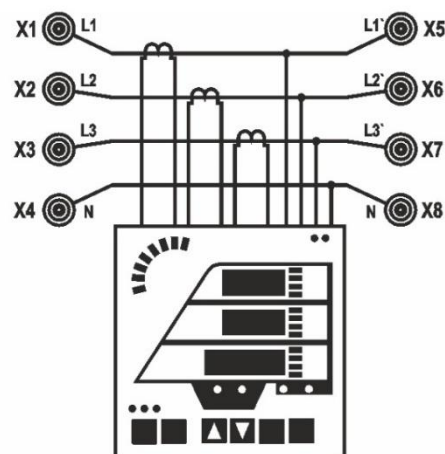


Рис. 7. Блок КЗ



ИП1.2  
Рис. 8. Блок ИП1.2

**3-х фазная регулируемая RL-нагрузка (НТ2).** В качестве нагрузки трансформатора используется трехфазный нагрузочный реостат, схема которого приведена на рис. 9. Изменение сопротивления фаз осуществляется ступенчато поворотной рукояткой **R** и **L**.

**Регистрирующий амперметр (ИП 2.1).** Для измерения мгновенных значений тока, а также для подачи синхронизирующего релейного сигнала в цепи управления используется встроенный в стенд регистрирующий амперметр (рис. 10). Блок выполняет следующие функции:

- измерение мгновенных значений тока в трех независимых каналах измерения в диапазоне  $0 \pm 2$  А с регистрацией измерений в виде графиков;
- измерение мгновенных значений тока в диапазоне  $0 \pm 20$  А с регистрацией измерений в виде графиков.

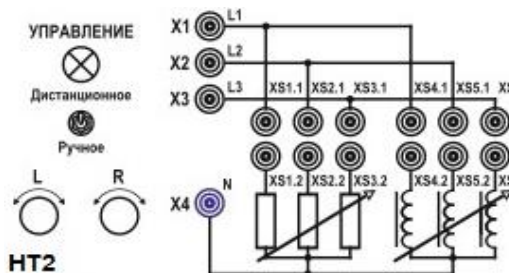


Рис. 9. Блок НТ2

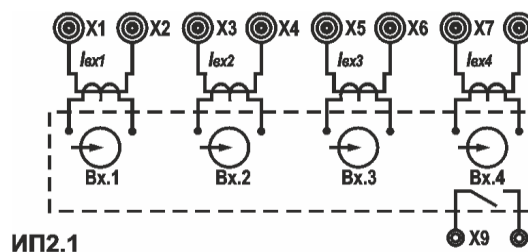


Рис. 10. Блок ИП2.1

**Блок микропроцессорной защиты Serat (P31).** Предназначен для исследования токовых защит (рис. 11). На коммутационную панель блока выведены клеммы для подключения проводников контролируемой сети, а также клеммы, предназначенные для подключения расцепителей выключателей и линий связи с другими модулями микропроцессорных защит. Блок оборудован трансформаторами тока с коэффициентом трансформации 5/1 А.

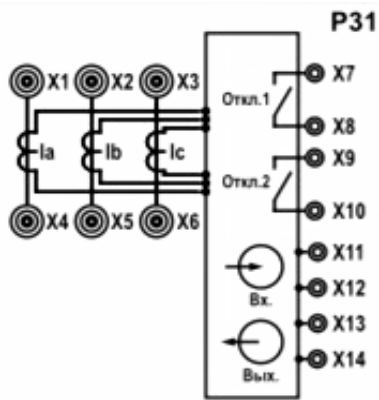
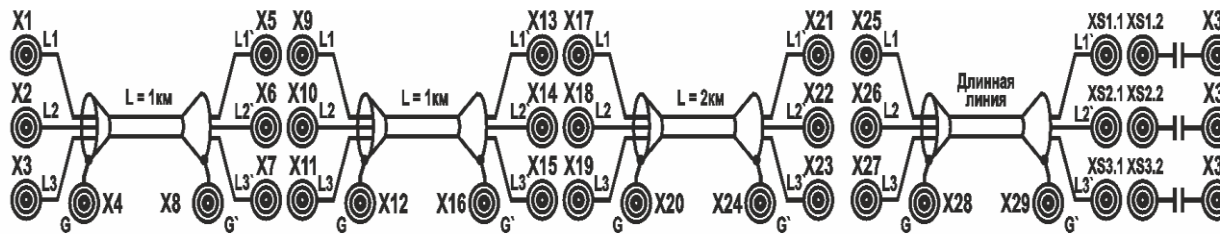


Рис. 11. Блок P31

**Кабельная линия (ЛК2).** В качестве системы передачи электроэнергии от трансформаторной подстанции используется блок кабельных линий, схема которого приведена на рис. 12. Блок предназначен для имитации кабельной линии электропередачи длиной 1 и 2 км.



**ЛК2**

Рис. 12. Блок ЛК2

Каждый участок линии моделируется П-образной цепью, содержащей продольные активные сопротивления и индуктивности, а также поперечно включенные емкости. Схема участка линии приведена на рис. 13.

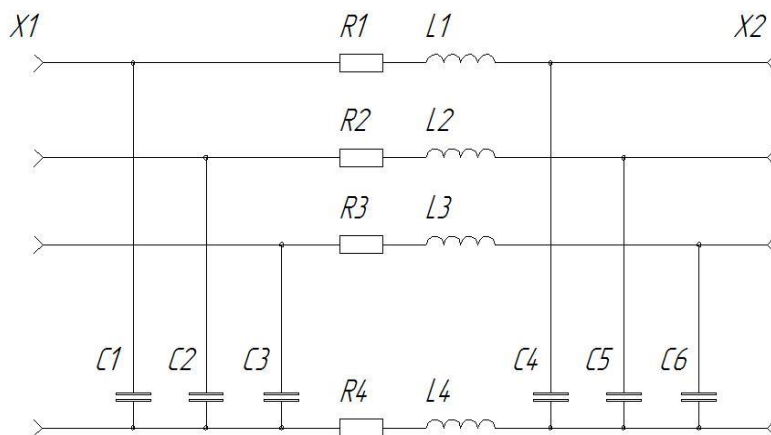


Рис. 13

Таблица 2

**Технические данные участков кабельной линии длиной 1 км**

| Величина                                                        | Значение        |
|-----------------------------------------------------------------|-----------------|
| Число фаз                                                       | 3               |
| Номинальное линейное напряжение                                 | $U_{ном}$ 220 В |
| Продольное активное сопротивление/индуктивность фазного провода | 3 Ом/4,35 мГн   |

|                                                                                |           |                |
|--------------------------------------------------------------------------------|-----------|----------------|
| Продольное активное сопротивление/индуктивность нулевой жилы (оболочки) кабеля | $R_N/L_N$ | 3,3 Ом/8,7 мГн |
| Суммарная емкость фазы относительно оболочки                                   | $C_L$     | 0,2 мкФ        |

### Программа работы

1. Настройка токовых отсечек в блоке микропроцессорной защиты *Sepam*.
2. Проверка мертвой зоны микропроцессорной защиты при двухфазном коротком замыкании
3. Формулировка выводов по проделанной работе.

### Ход работы

#### 1. Настройка токовых отсечек в блоке микропроцессорной защиты *Sepam*.

62. Работа выполняется студентами только локально в лаборатории, в ручном режиме переключателя режима управления всех используемых блоков перевести в положение «ручное», при использовании компьютера для управления переключателями – положение «дистанционное».

63. Собрать схему 1 и установить аппараты управления стенда в исходные положения.

64. Проверить состояние аппаратов защиты стенда 3 *QF1* и *QF2* на блоке УЗО, *QF1* на блоке ШС2. Указанные аппараты должны быть включены.

#### 65. ПРОВЕРКА СХЕМЫ ПРЕПОДАВАТЕЛЕМ (ЛАБОРАНТОМ)

66. Подать питание на собранную схему, нажав кнопку «Пуск» на блоке УЗО стенда № 3.

67. Подготовить схему к проведению экспериментов.

- Блок ТП – переключатели *Q1* и *Q4* перевести в положение 1; переключатели *Q2, Q3, Q5, Q6* перевести в положение 0.
- Блок ШС2 – переключатели *Q1, Q6*, перевести в положение 1.
- Блок НТ2 – переключатели *R* и *L* выставить в максимальное положение (15), крайнее левое на стенде.

### Ход эксперимента:

- 1.1. После подачи питания на схему с помощью блока ИП 1.2 заполнить таблицу 3, нажатием левой клавишей мыши кнопки «Считать» на экране монитора.

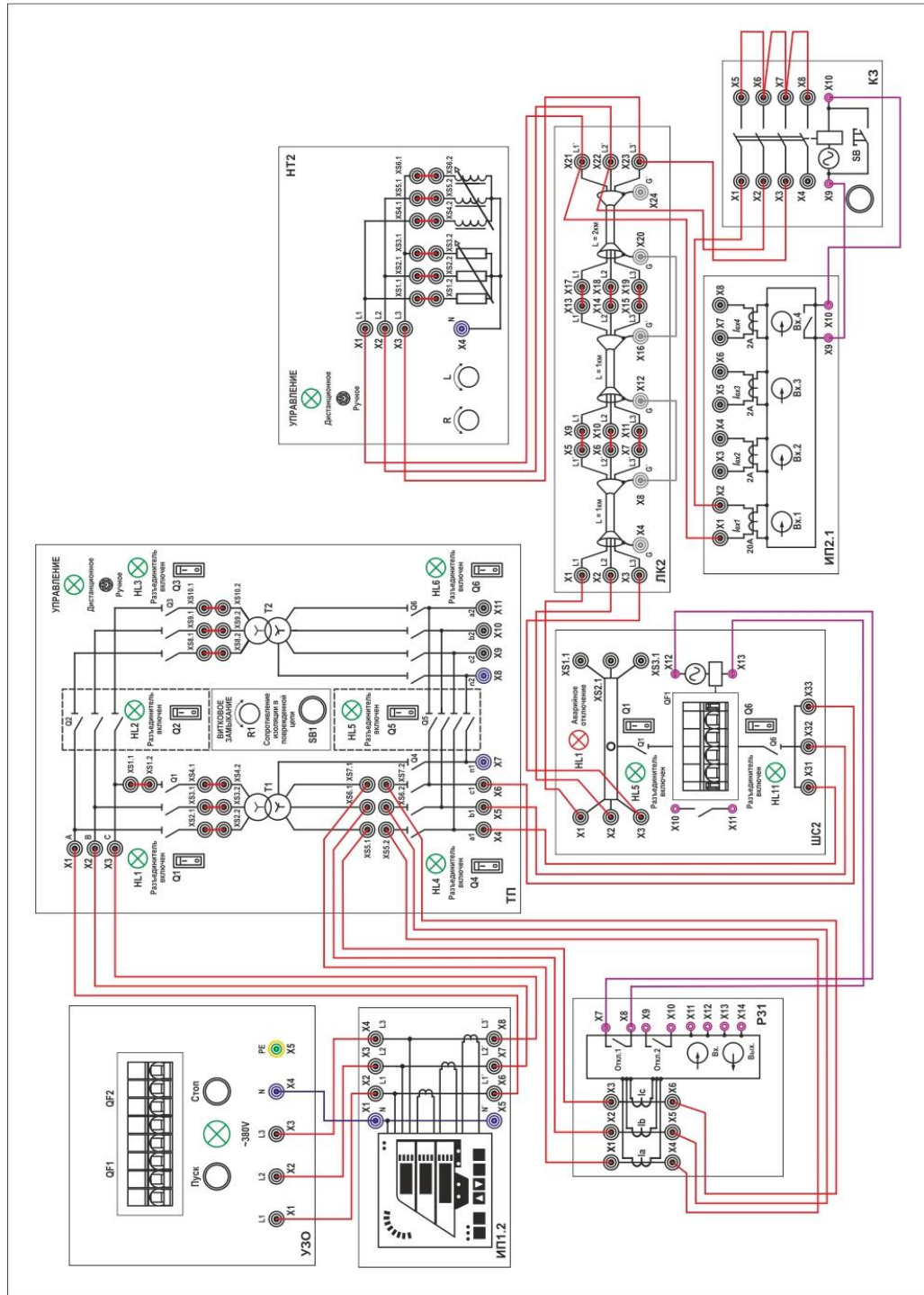


Схема 1

Таблица 3

| Фаза | $U_{л}, В$ | $U_{ф}, В$ | $I, А$ | $S, ВА$ | $P, Вт$ | $Q, ВАр$ |
|------|------------|------------|--------|---------|---------|----------|
| А    |            |            |        |         |         |          |
| В    |            |            |        |         |         |          |
| С    |            |            |        |         |         |          |

1.2. Рассчитайте ток трехфазного короткого замыкания  $I_{к.з.}^3$  в конце защищаемого участка линии по следующей формуле:

$$I_{к.з.}^3 = \frac{E}{\sqrt{3}Z_{сум}} \quad (9)$$

где:  $E$  – ЭДС источника;  $Z_{сум}$  – полное сопротивление системы трансформатор – линия, 23.5 Ом.

1.3. Определите первичный ток срабатывания защиты  $I_{с.з.}^1$  по следующей формуле:

$$I_{с.з.}^1 = k_{отст} \cdot I_{к.з.}^3 \quad (10)$$

где:  $k_{отст}$  – коэффициент отстройки (принимается самостоятельно в диапазоне 1.1-1.3).

1.4. Определите ток срабатывания реле  $I_{с.р.}$

$$I_{с.р.} = \frac{I_{с.з.}^1 \cdot k_{сх}}{k_{тт}} \quad (11)$$

где:  $k_{сх}$  – коэффициент схемы, выбирается в зависимости от схемы соединения трансформаторов тока;

$k_{тт}$  – коэффициент трансформации трансформаторов тока.

1.5. Рассчитайте минимальный ток короткого замыкания в линии, ток двухфазного короткого замыкания по следующей формуле:

$$I_{к.з. min.} = I_{к.з.}^2 = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{к.з.}^3 \quad (12)$$

1.6. Определите коэффициент чувствительности защиты  $k_{ч}$

$$k_{ч} = \frac{I_{к.з. min.}}{I_{с.р.}} \quad (13)$$



1.7. Коэффициент чувствительности по ПУЭ  $k_{\text{ч}} \geq 2$ , это условие правильности выполненных расчётов. При невыполнении условия, необходимо провести расчет заново, подобрав (изменив) коэффициенты.

1.8. Задайте ток уставки  $I_{\text{уст}}$  на блоке микропроцессорной защиты *Sepam* (дискретность = 0,01), с условием:


$$I_{\text{уст}} > I_{\text{с.р.}}$$

1.9. Настройте в блоке *Sepam* токовую отсечку. С помощью



кнопок обеспечивается перемещение по меню, просмотр и утверждение выведенных на дисплей значений и данных. На лицевой панели

блока необходимо снять блокировку, нажав кнопку  и введя код 0000. После

получения доступа перейдите в меню защит, нажимая кнопку  выберите раздел «50/51» (Максимальная токовая защита в фазах).

1.10. Выберите группу уставок «1А», в строке «уставка» выставьте рассчитанный ток срабатывания защиты при трехфазном КЗ и выдержку времени 0,05 секунд. Включите данную уставку и сохраните изменения. Войдите в меню

измерений, нажав кнопку .


1.11. Проведите опыт трехфазного короткого замыкания в конце линии, нажатием левой клавишей мыши кнопки "КЗ с измерением", на экране монитора. При этом микропроцессорная защита *Sepam* должна сработать, подать своим релейным контактом сигнал на независимый расцепитель автомата *QF1* блока *ШС2* и отключить питание в линии *ЛК2*. Сигнализация блока *ШС2 HL5* информирует о срабатывании защиты.

1.12. С помощью прибора *ИП2.1* измерьте ток трехфазного короткого замыкания в конце защищаемого участка линии, повторно нажав кнопку "КЗ с измерением". По временной диаграмме мгновенных значений тока определите максимальное значение тока КЗ, запишите показания в таблицу 4, нажатием левой клавишей мыши кнопки "Записать", на экране монитора.

Таблица 4

| Место КЗ                  | $I_{\text{кз}}, A$ |
|---------------------------|--------------------|
| 3-х фазное в конце линии  |                    |
| 2-х фазное в конце линии  |                    |
| 2-х фазное в начале линии |                    |

## 2. Проверка мертвой зоны микропроцессорной защиты при двухфазном коротком замыкании

2.1. Произведите квитирование блока *Sepam* нажав кнопку .


2.2. Проверьте состояние аппарата защиты на блоке *ШС2*, *QF1* стенда 3. Указанный аппарат должен быть включен.

2.3. Проведите опыт двухфазного короткого замыкания в конце линии, оставив только перемычку между клеммами *X5-X6* на блоке *КЗ*. Подайте сигнал на короткозамыкатель, нажав кнопку "КЗ с измерением", при этом микропроцессорная защита *Sepam* не должна сработать.

2.4. Измерьте с помощью прибора *ИП2.1* ток двухфазного короткого замыкания в конце защищаемого участка линии, повторно нажав кнопку "КЗ с измерением". По

временной диаграмме определите максимальное значение тока КЗ, запишите показания в таблицу 4.

2.5. Подключите короткозамыкатель в начало кабельной линии, с клемм **X21-X23** на клеммы **X1-X3** блока **ЛК2**.

2.6. Произведите квитирование блока **Sepam** нажав кнопку .

2.7. На стенде 3, при срабатывании защиты, включите автомат **QF1** блока **ШС2**.

2.8. Проведите опыт двухфазного короткого замыкания в начале линии, нажав кнопку "КЗ с измерением" на короткозамыкателе, при этом микропроцессорная защита **Sepam** должна сработать.

2.9. Измерьте ток двухфазного короткого замыкания в начале защищаемого участка линии с помощью прибора **ИП2.1**, повторно нажав кнопку "КЗ с измерением". По диаграмме определите максимальное значение тока КЗ, запишите показание в таблицу 4.

2.10. Произведите квитирование блока **Sepam** нажав кнопку .

2.11. Вернуть все задействованные переключатели в исходное положение.

2.12. Снимите питание со стенда кнопкой "Стоп" на блоке **УЗО**.

**3. Сделайте выводы по проделанной работе.**

### **Лабораторная работа №3**

*Тема:* Настройка МТЗ в блоке микропроцессорной защиты.

**Цель работы:** Получение практических навыков настройки максимальной токовой защиты в блоках микропроцессорной релейной защиты.

#### **Теоретические пояснения к лабораторной работе**

Одним из признаков возникновения КЗ или ненормального режима работы оборудования является увеличение тока в защищаемом элементе. Этот признак используется для выполнения РЗ, называемых токовыми. Токовые защиты приходят в действие при увеличении тока в фазах сверх определенного значения. Таким образом, принцип действия токовых защит основан на увеличении тока в защищаемом элементе при КЗ и ненормальных режимах работы (например, перегрузках) по сравнению с током нормального нагрузочного режима.

*Классификация токовых защит.* Токовые защиты классифицируют по следующим признакам:

1) по способу обеспечения селективности:

- максимальные токовые защиты;
- токовые отсечки;

2) по роду оперативного тока:

- на постоянном или выпрямленном оперативном токе;
- на переменном оперативном токе;

3) по числу трансформаторов тока (ТТ) в фазах защищаемого элемента и числу пусковых токовых реле защиты:

- трехфазные, которые могут быть двух-, трех-, четырех- или однорелейными;
- двухфазные, которые могут быть двух-, трех- или однорелейными;
- однофазные однорелейные;

4) по способу воздействия на привод выключателя:

- токовые защиты косвенного действия;
- токовые защиты прямого действия.

Максимальные токовые защиты (МТЗ) имеют токовый принцип действия, а их селективность достигается с помощью выдержек времени. Выдержкой времени называют время, искусственно вводимое в действие РЗ и вызывающее замедление в ее срабатывании. В сетях с двухсторонним питанием для обеспечения селективности действия МТЗ выполняют направленными.

Появление тока КЗ в каком-либо элементе электрической сети не всегда является признаком повреждения этого элемента, т. к. ток КЗ может протекать не только по поврежденному элементу, но и по неповрежденным, связанным с ним элементам. Например, при КЗ в точке  $K1$  (рис. 1, *а*), ток КЗ проходит по всем участкам сети, расположенным между источником питания ( $G$ ) и местом повреждения. В результате этого приходят в действие 1, 2, 3 и 4 защиты. По условию селективности сработать на отключение должна только РЗ 4, установленная на поврежденном элементе.

Для обеспечения указанной селективности МТЗ выполняются с выдержками времени, нарастающими от потребителей к источнику питания, как это показано на рис. 1, *б*. При соблюдении этого принципа в случае КЗ в точке  $K1$  раньше других сработает МТЗ 4 и отключит поврежденный элемент. Защиты 1, 2 и 3, имеющие большие выдержки времени, вернуться в начальное положение, не успев подействовать на отключение. Причем, в случае отказа в действии МТЗ 4 или выключателя поврежденного элемента, их будет резервировать защита, расположенная ближе к источнику питания, т.е. МТЗ 3. Соответственно при КЗ в точке  $K2$  быстрее всех сработает МТЗ 3, а МТЗ 1 и 2, имеющие большее время, не успеют подействовать. МТЗ 2 в этом случае будет резервировать МТЗ 3.

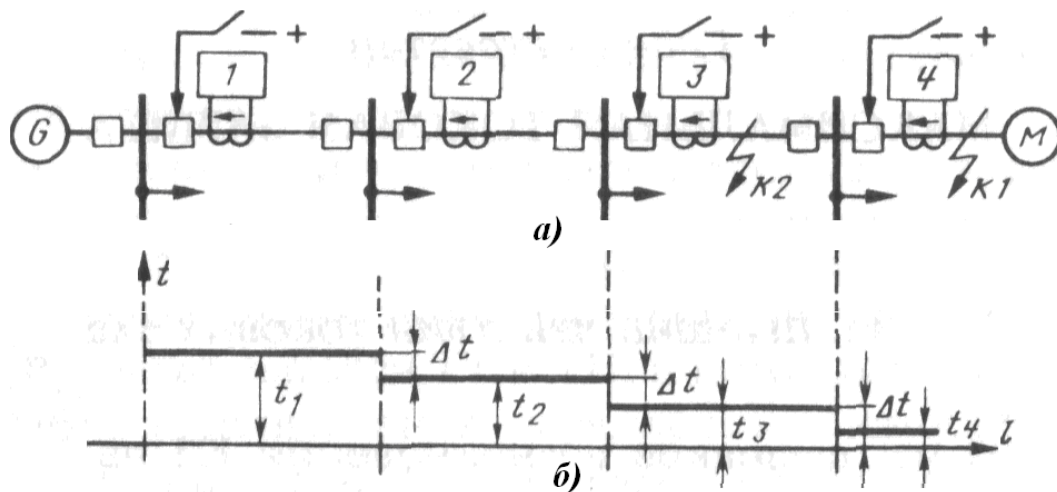


Рис. 1. Максимальные токовые РЗ в радиальной сети с односторонним питанием: а - размещение МТЗ; б - выдержки времени МТЗ, выбранные по ступенчатому принципу

МТЗ является относительно селективной защитой. Она может использоваться в качестве основной или резервной защиты, обеспечивая отключение поврежденного элемента с выдержкой времени, согласованной с временами действия МТЗ смежных элементов. Место установки МТЗ зависит от схемы электрической сети, а также от элемента, на котором она устанавливается. Однако в пределах защищаемого элемента МТЗ должна устанавливаться как можно ближе к источнику питания, от тока которого она работает. При этом зона действия защиты будет больше.

Максимальные токовые защиты классифицируют по следующим признакам:

- 1) по назначению:
  - МТЗ от повреждений (прежде всего от коротких замыканий);
  - МТЗ от ненормальных режимов (перегрузок);
- 2) по характеру зависимости выдержки времени от величины тока:
  - МТЗ с независимой характеристикой времени срабатывания;
  - МТЗ с зависимой характеристикой времени срабатывания.
- 3) по обеспечению необходимой чувствительности:
  - МТЗ без пуска по напряжению;
  - МТЗ с пуском по напряжению.

В качестве измерительных (пусковых) реле, выявляющих повреждения или перегрузку какого-либо элемента, служат максимальные токовые реле, реагирующих на возрастание тока. Поэтому МТЗ без пуска по напряжению может использоваться как защита от повреждений и как защита от перегрузок.

*Принципиальные схемы МТЗ на постоянном оперативном токе.* Трехфазная трехрелейная схема МТЗ, выполненная на электромеханических или статических реле, приведена на рис. 2. Измерительная часть МТЗ состоит из токовых реле  $KAI-KA3$  мгновенного действия. В трехфазной трехрелейной схеме токовые реле устанавливаются на каждой фазе и питаются вторичными токами ТТ соответствующих фаз, соединенных по схеме полной звезды. Логическая часть состоит из реле времени  $KT$ , создающего выдержку времени  $t$ .

Исполнительный орган, выполняемый посредством указательного реле  $KH$  и выходного промежуточного реле  $KL$ , срабатывая, подает сигнал о срабатывании защиты и производит отключение выключателя  $Q$ . Исполнительный орган должен обладать мощным выходным сигналом, достаточным для приведения в действие электромагнита отключения (ЭО) УАТ привода выключателя. При возникновении повреждения на защищаемом элементе срабатывают токовые реле тех фаз, по которым проходит ток КЗ.

Сработавшие токовые реле воздействуют на реле времени  $KT$ , которое по истечении заданной выдержки времени замыкает цепь питания указательного реле  $KH$  и промежуточного реле  $KL$ . Последнее срабатывает и подает напряжение от источника оперативного тока в электромагнит отключения выключателя  $YAT$ . Указательное реле фиксирует факт срабатывания РЗ и воздействует на устройства аварийной сигнализации (световые и звуковые).

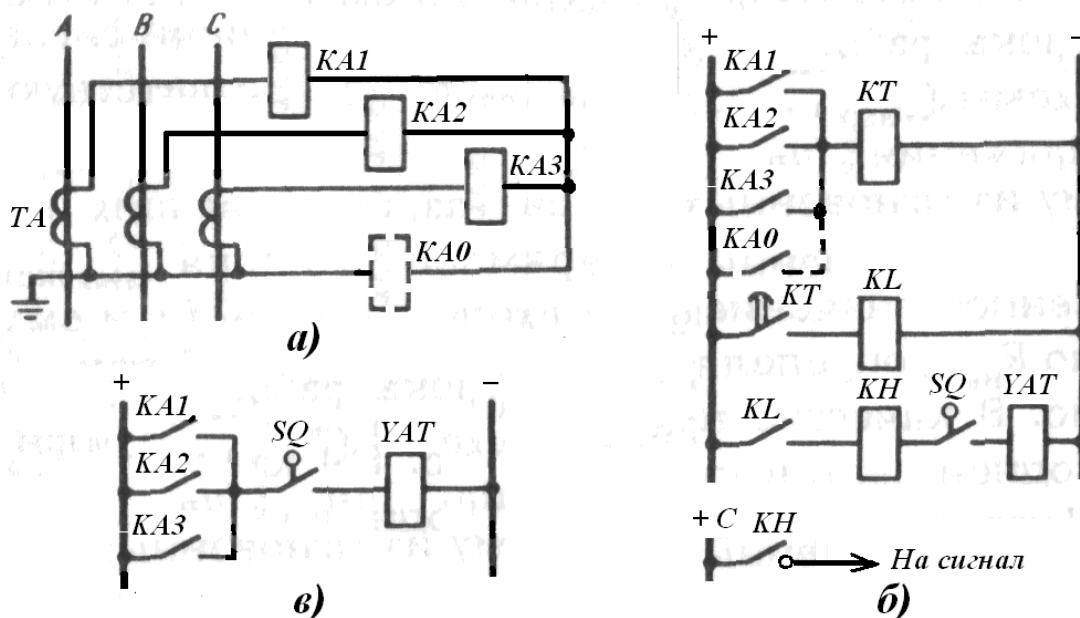


Рис. 2. Принципиальная схема трехфазной трехрелейной МТЗ:  
 а - токовые цепи; б - оперативные цепи защиты с независимой (б) и с зависимой (в) характеристикой.

После отключения повреждения ток короткого замыкания прекращается, измерительные органы и все элементы РЗ (кроме указательного реле) возвращаются в исходное состояние. Для успешного размыкания тока, проходящего через электромагнит отключения ( $YAT$ ) после отключения КЗ, в цепи отключения выключателя предусматривается вспомогательный блокировочный контакт (БК)  $SQ$ . При включенном выключателе  $SQ$  замкнут, а при отключении выключателя  $Q$  он размыкается, разрывая цепь тока электромагнита отключения  $YAT$ . В схеме РЗ с выходными промежуточными реле размыкание цепи электромагнита отключения с помощью  $SQ$  вызвано тем, что контакты промежуточного реле  $KL$  не рассчитаны на разрыв относительно большого тока электромагнита отключения  $YAT$ .

При использовании электромеханических реле измерительный орган выполняется с помощью трех реле РТ-40, элемент времени - с помощью реле РВ-100, сигнальный элемент - с помощью указательного реле РУ-21, исполнительный элемент - посредством промежуточного реле РП-20 (или других промежуточных реле), контакты которых рассчитаны на ток цепи электромагнита отключения выключателя. При использовании статических реле измерительный орган выполняется с помощью трех реле тока типа РСТ-13. Для создания выдержки времени в рассматриваемой схеме может использоваться статическое реле времени РВ-01 с регулировкой времени от 0,1 до 10 с. В качестве промежуточных реле применяются малогабаритные реле типа РП-13 или реле с магнитоуправляемыми контактами типа РПГ-5.

Эта защита действует при всех видах КЗ. В случае недостаточного значения тока при однофазных замыканиях в нулевой провод включается реле  $KA0$ , чувствительность которого выше, чем у реле, включенных на фазные токи, так как его не надо отстраивать от токов нагрузки. При этом схема защиты становится четырехрелейной. Контакты всех

токовых реле  $KA$  (трех или четырех) соединяются между собой параллельно (по схеме ИЛИ). Питание оперативных цепей защиты осуществляется постоянным током с шин управления через свои предохранители, а электромагнита отключения  $YAT$  - от других предохранителей. Питание сигнальных цепей производится с шин сигнализации.

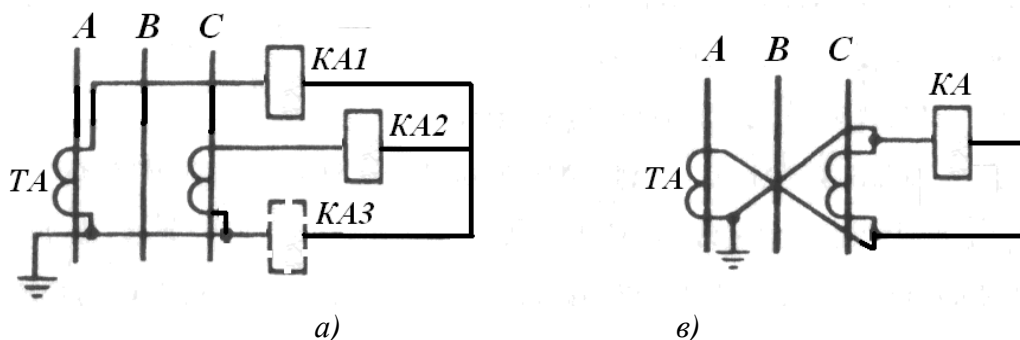
Трехфазные схемы обычно применяются в сетях с глухозаземленными нейтралью (110 кВ и выше), т.к. работают при всех видах КЗ. Время действия рассмотренной МТЗ определяется выдержкой времени, установленной на реле времени  $KT$ , и не зависит от значения тока КЗ, поэтому такая РЗ называется защитой с *независимой выдержкой времени* и имеет характеристику  $t = f(I_p)$  в виде прямой линии, показанной на рис. 1.

Наряду с независимой применяется МТЗ с *зависимой и ограниченно зависимой характеристиками*. Оба вида зависимых МТЗ выполняются при помощи токовых реле, работающих не мгновенно, а с выдержкой времени, зависящей от значения тока. В схеме МТЗ с ограниченно зависимой характеристикой, показанной на рис. 2, в, кроме реле времени, отсутствуют промежуточное и указательное реле, так как реле типов РТ-80 и РТ-90, используемые для ее выполнения, имеют контакты достаточной мощности и сигнальный флажок, выпадающий при срабатывании реле. Статические измерительные органы тока использованы в МТЗ с зависимой характеристикой, входящей в состав устройства типа ЯРЭ-2201. Зависимые характеристики используются во всех устройствах цифровых МТЗ.

В отличие от РЗ с независимой характеристикой МТЗ с зависимой характеристикой действуют при токах, близких к току срабатывания реле защиты ( $I_{ср}$ ), со значительно большей выдержкой времени, чем при КЗ, что улучшает отстройку РЗ от кратковременных перегрузок ( $I_{п}$ ). Защиты с зависимой характеристикой позволяют также ускорить отключение выключателя при повреждении в начале защищаемого элемента. Однако согласование выдержек времени независимых МТЗ значительно проще. Кроме того, реле типа РТ-80 и РТ-90 более сложные и дорогостоящие по сравнению с реле типа РТ-40.

В случаях, когда МТЗ должна действовать только при междуфазных КЗ, применяются двухфазные схемы с двумя, тремя или одним токовым реле.

*Двухфазная двухрелейная (трехрелейная) схема МТЗ с независимой характеристикой* показана на рис. 3, а. Токовые цепи МТЗ выполняются по схеме неполной звезды. Достоинством двухфазной двухрелейной схемы является то, что она, реагируя на все междуфазные КЗ, экономичнее трехфазной схемы (по два ТТ и реле вместо трех).



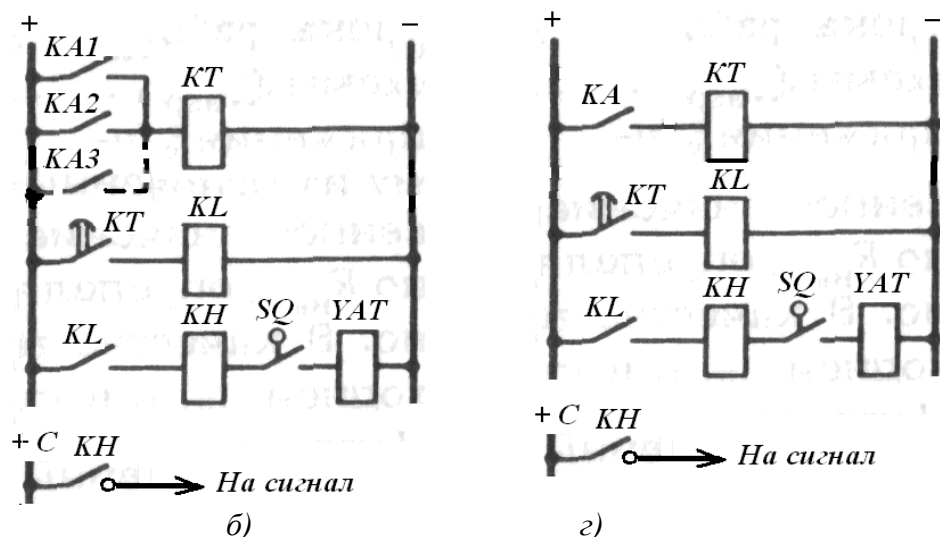


Рис. 3. Двухфазные схемы МТЗ:

двухрелейная: *а* - цепи переменного тока; *б* - цепи постоянного тока;  
 однорелейная: *в* - цепи переменного тока; *г* - цепи постоянного тока.

К недостаткам двухфазной схемы с двумя реле нужно отнести ее меньшую чувствительность (по сравнению с трехфазной схемой) при двухфазных КЗ за трансформатором с соединением обмоток  $Y/\Delta$ . При необходимости чувствительность двухфазной схемы можно повысить, установив третье токовое реле в обратном проводе токовых цепей. В этом проводе протекает геометрическая сумма токов двух фаз, питающих схему, равная току третьей (отсутствующей в схеме) фазы В. С дополнительным реле двухфазная схема становится по чувствительности равноценной трехфазной.

Двухфазные схемы широко применяются в сетях с изолированной нейтралью, где возможны только междуфазные КЗ. Двухфазные схемы применяются в качестве МТЗ от междуфазных КЗ и в сетях с глухозаземленной нейтралью. При этом для отключения однофазных КЗ устанавливается дополнительная МТЗ, реагирующая на ток нулевой последовательности.

Двухфазная однорелейная схема МТЗ приведена на рис. 3, *в*. Защита состоит из тех же элементов, что и предыдущая схема, но выполняется с одним токовым реле  $K_A$ , которое включается на разность токов двух фаз ( $I_A - I_C$ ) и реагирует на все случаи междуфазных КЗ. К недостаткам, ограничивающим применение этой схемы, нужно отнести меньшую чувствительность по сравнению с двухрелейной схемой при КЗ между фазами  $A$  и  $B$  или  $B$  и  $C$ , недействие МТЗ при одном из трех возможных случаев двухфазного КЗ за трансформатором с соединением обмоток  $Y/\Delta$ , когда  $I_P = I_A - I_C = 0$ . Однорелейная схема находит применение в распределительных сетях напряжением 6-10 кВ, питающих трансформаторы с соединением обмоток  $Y/Y$ , и для релейной защиты электродвигателей.

Двухфазные МТЗ с зависимой и ограниченно зависимой характеристиками выполняются так же, как и аналогичные защиты в трехфазном исполнении (рис. 2, *а*, *в*). В качестве реле тока с зависимой характеристикой выдержки времени в отечественных схемах используются реле типов РТ-80 и РТ-90.

В сети с изолированной нейтралью возможны одновременные замыкания на землю разноименных фаз в двух разных точках сети, например, в точке  $K_1$  на линии  $W_1$  и в точке  $K_2$  на на линии  $W_2$  (рис. 1). В этих случаях желательно отключить не обе поврежденные ЛЭП, а только одну из них –  $W_1$  или  $W_2$ . При произвольном расположении ТТ (на разноименных фазах на разных участках сети) МТЗ может отказать в действии, если оба замыкания на землю возникнут на тех фазах, где ТТ нет. Для исключения отказов в работе ТТ защит всех элементов сети устанавливают на одноименных фазах, а именно

на фазах  $A$  и  $C$ . При таком размещении ТТ повреждения будут отключаться селективно (т. е. в одной точке сети), за исключением следующих случаев:

а) если более удаленное от источника питания замыкание на землю (в точке  $K2$ ) окажется на фазе  $B$ , не имеющей ТТ, а второе (в точке  $K1$ ) на фазе  $A$  или  $C$ , где есть ТТ. В этом случае подействует МТЗ и отключит ближнюю к источнику питания ЛЭП  $W1$ . Трехфазная МТЗ в этих условиях обеспечивает селективное отключение поврежденной линии  $W2$ ;

б) если оба замыкания на землю возникнут на ЛЭП  $W1$  и  $W2$ , имеющих МТЗ с одинаковыми выдержками времени и на тех фазах ( $A$  и  $C$ ), которые оборудованы ТТ. В этом случае двухфазные МТЗ обоих ЛЭП отключат обе точки повреждения одновременно. Совершенно так же в этом случае действует и МТЗ в трехфазном исполнении;

в) если одно повреждение ( $K1$ ) возникает на фазе  $B$ , не имеющей ТТ, а второе ( $K2$ ) - на фазе  $A$  или  $C$ , имеющей его, двухфазная МТЗ работает только на той из ЛЭП, у которой на поврежденной фазе есть ТТ, в результате чего другая ЛЭП остается в работе. Трехфазная МТЗ в приведенном случае действует неселективно, отключая обе ЛЭП.

Таким образом, в первом из трех приведенных случаев имеет преимущество трехфазная схема, а в третьем - двухфазная, которая действует правильно в  $2/3$  случаев таких повреждений. С точки зрения ликвидации двойных замыканий на землю двухфазная схема имеет преимущество перед трехфазной.

*Расчет параметров МТЗ.* Расчет параметров МТЗ включает определение тока срабатывания защиты ( $I_{с.з}$ ) и тока срабатывания реле ( $I_{с.р}$ ), коэффициента чувствительности ( $k_{ч}$ ), времени срабатывания защиты ( $t_3$ ).

*Ток срабатывания защиты ( $I_{с.з}$ )* – это наименьший первичный ток, т.е. ток, протекающий в фазах защищаемого элемента, необходимый для срабатывания токовых измерительных органов защиты. Исходным для выбора тока срабатывания МТЗ является требование надежного действия защиты при повреждениях на защищаемом элементе и, в то же время, не действие ее при максимальном рабочем токе нагрузки  $I_{р.мах}$  и кратковременных перегрузках, вызванных пуском или самозапуском электродвигателей, а также нарушением нормального режима работы электрической сети.

Электродвигатели имеются в составе большей части электрических нагрузок. При понижении или исчезновении напряжения, вызванном КЗ либо кратковременным перерывом электроснабжения потребителей при действии АПВ или АВР, электромагнитный момент вращения электродвигателей уменьшается, и они начинают тормозиться, оставаясь подключенными к сети. При восстановлении напряжения электродвигатели начинают разворачиваться (самозапускаются), потребляя из сети повышенные пусковые токи. Суммарный ток во время самозапуска может существенно превосходить суммарный максимальный рабочий ток нагрузки  $I_{р.мах}$  установившегося режима. Увеличение тока нагрузки из-за самозапуска электродвигателей принято оценивать коэффициентом самозапуска  $k_{сзп}$ , показывающим, во сколько раз возрастает ток  $I_{р.мах}$ .

Характер изменения тока и напряжения в линии  $W1$  (рис. 1) при внешнем КЗ в точке  $K1$  и после его отключения показан на рис. 4.

Для отстройки тока срабатывания МТЗ от максимального рабочего тока нагрузки необходимо выполнить два условия:

- 1)  $I_{с.з} > I_{р.мах}$  - пусковые органы защиты не должны приходить в действие при максимальном рабочем токе;
- 2) пусковые органы защиты, пришедшие в действие при внешнем КЗ, должны вернуться в исходное состояние после его отключения и снижения тока до значения, равного  $k_{сзп} \cdot I_{р.мах}$ . Для выполнения этого требования ток возврата защиты  $I_{в.з}$  (наибольший первичный ток, при котором пусковые органы защиты,



сработавшие при внешнем КЗ, возвращаются в исходное состояние) должен удовлетворять следующему условию:  $I_{в.з} > k_{сзп} \cdot I_{р.мах}$ .

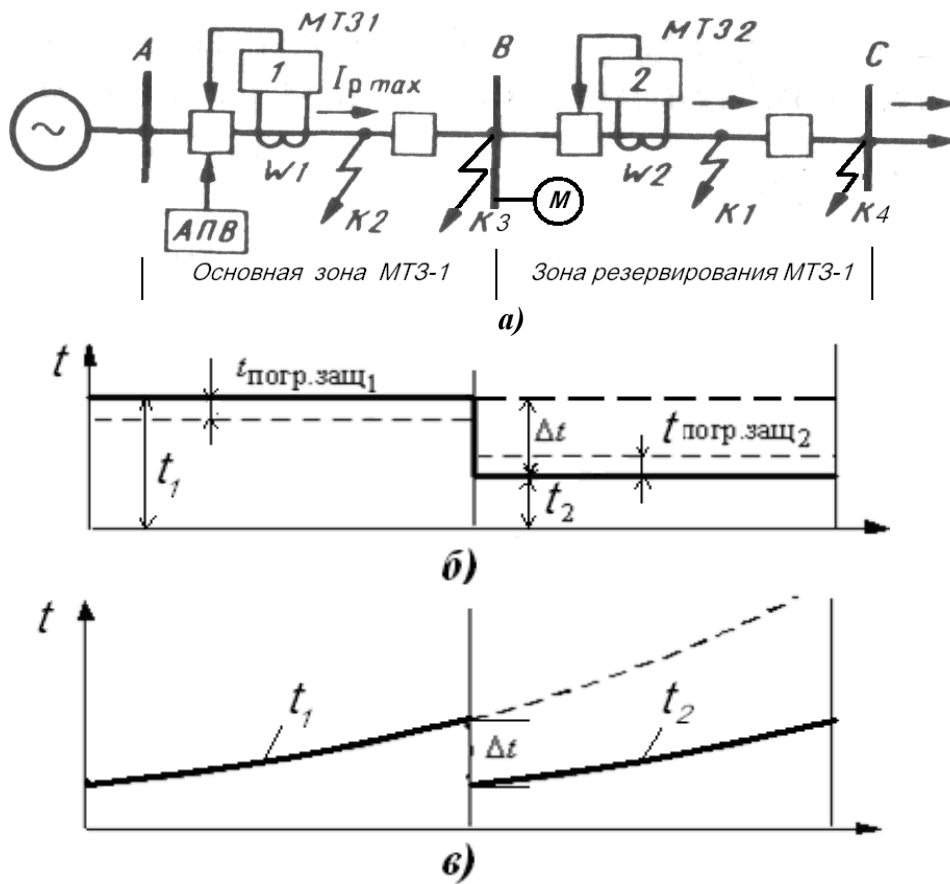


Рис. 4. К выбору тока и времени срабатывания МТЗ:  
 а – схема сети; б – согласование МТЗ с независимой характеристикой;  
 в - согласование МТЗ с зависимой характеристикой.

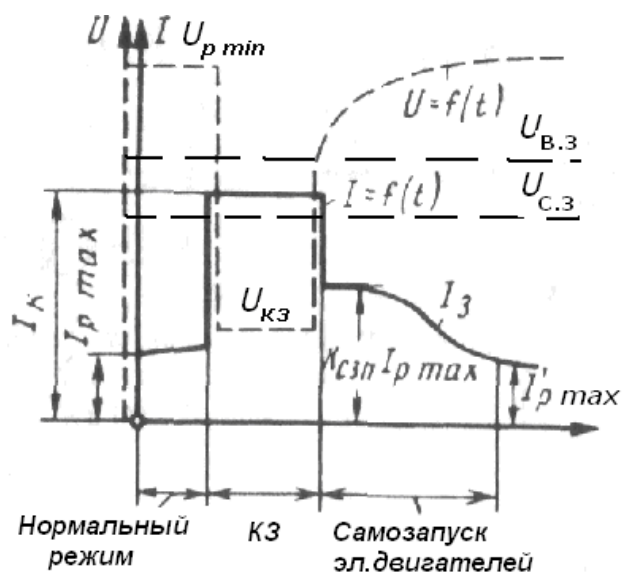


Рис. 5. Характер изменения тока и напряжения в ЛЭП при КЗ в сети и после его отключения.

Токи  $I_{с.з}$  и  $I_{в.з}$  связаны через коэффициент возврата  $k_B = I_{в.з} / I_{с.з}$ , причем для токовых реле МТЗ  $k_B < 1$ . Следовательно, при выполнении условия 2 всегда выполняется условие 1, поэтому выражение для определения  $I_{с.з}$  можно получить следующим образом:

- выразим ток срабатывания защиты через ток возврата и коэффициент возврата:

$$I_{с.з} = I_{в.з} / k_B; \quad (1)$$

- из условия 2 получим ток возврата защиты как

$$I_{в.з} = k_{отс} \cdot k_{сзп} \cdot I_{р.мах}, \quad (2)$$

где  $k_{отс}$  - коэффициент отстройки, учитывающий погрешность токового реле МТЗ. Подставив значение  $I_{в.з}$  в выражение для  $I_{с.з}$ , получим:

$$I_{с.з} = \frac{k_{отс}}{k_B} \cdot k_{сзп} \cdot I_{р.мах}. \quad (3)$$

Коэффициент отстройки  $k_{отс}$  для реле типов РТ-40, РТ-80 и статических реле серии РСТ принимается равным 1,1-1,2, коэффициент возврата  $k_B$  определяется по техническим данным реле, значения коэффициента самозапуска  $k_{сзп}$  принимаются равными 3-6 для нагрузки с преобладанием электродвигателей и 1,5-2 - при малом удельном значении электродвигателей.

В целях уменьшения  $I_{с.з}$  для повышения чувствительности МТЗ при КЗ стремятся применять токовые реле с высоким  $k_B$ .

При определении максимального тока нагрузки необходимо исходить из наиболее тяжелых, но реальных режимов работы оборудования конкретной электроустановки. Наибольшее значение  $I_{р.мах}$  имеет обычно в послеаварийных режимах:

- при отключении одной из двух параллельных линий или трансформаторов, в результате чего нагрузка на оставшихся в работе удваивается;
- при успешном включении от АПВ поврежденной ЛЭП или трансформатора с подключенной к ней большой двигательной нагрузкой;
- если к ЛЭП или трансформатору, находящимся в работе и питающей нагрузку при действии АВР подключается дополнительная нагрузка, оставшаяся без напряжения из-за отключения питавшей ее элементов.

*Ток срабатывания реле ( $I_{с.р}$ )* – это наименьший вторичный ток, т.е. ток, протекающий в токовых измерительных органах защиты, необходимый для их срабатывания. Ток срабатывания реле находится с учетом коэффициента трансформации ТТ и схемы включения реле, характеризуемой коэффициентом схемы, по следующему выражению:

$$I_{с.р} = \frac{I_{с.з}}{k_I} \cdot k_{сх} = \frac{k_{отс}}{k_B} \cdot k_{сх} \cdot \frac{I_{р.мах}}{k_I}. \quad (4)$$

По току срабатывания реле определяется ток уставки ( $I_{уст}$ ), т.е. ток, который выставляется на пусковых токовых реле. Если в качестве пусковых реле используются токовые реле серии РТ-40, имеющие плавную регулировку тока срабатывания, то  $I_{уст} = I_{с.р}$ . Если в качестве пусковых реле используются токовые реле серии РТ-80 или статические реле серии РСТ, имеющие ступенчатую регулировку тока срабатывания, то  $I_{уст} \geq I_{с.р}$ . После определения тока срабатывания МТЗ, следует проверить ее чувствительность при КЗ в установленной зоне действия.

*Чувствительность МТЗ.* Проверка ведется по минимальному значению тока КЗ ( $I_{к.мин}$ ) при повреждении в конце зоны действия МТЗ, которая должна охватывать

защищаемый элемент и резервировать защиты следующих участков сети, т.е. линий и трансформаторов, подключенных к шинам противоположной подстанции (рис. 1, а). Минимальный ток КЗ рассчитывается для реального минимального режима работы электростанций и сетей, питающих точку КЗ.

Чувствительность МТЗ оценивается коэффициентом чувствительности, который определяется по следующему выражению:

$$k_{\text{ч}} = I_{\text{к.мин}} / I_{\text{с.з.}} \quad (5)$$

Коэффициент чувствительности для МТЗ считается допустимым, если величина его оказывается не менее 1,5 при КЗ в конце защищаемого элемента (точка КЗ на рис. 1, а) и не менее 1,2 при КЗ в конце зоны резервирования (точка К4 на рис. 1, а).

**Выдержки времени МТЗ. Степень времени (селективности).** Для обеспечения селективности выдержки времени МТЗ с независимой характеристикой выбираются по ступенчатому принципу (рис. 1). Разница между временем действия МТЗ двух смежных участков называется *ступенью времени или ступенью селективности*. Обозначается она как  $\Delta t$  и равна (рис. 1, б):

$$\Delta t = t_{\text{МТЗ-1}} - t_{\text{МТЗ-2}}. \quad (6)$$

Величина ступени селективности  $\Delta t$  должна быть такой, чтобы при КЗ на каком-нибудь участке сети (например, на линии W2) МТЗ предыдущего участка (линии W1) не успевала сработать. Чтобы защита линии W1 не сработала при КЗ на линии W2, она должна иметь выдержку времени большую, времени отключения поврежденной линии W2, т. е:

$$t_{\text{МТЗ-1}} > t_{\text{МТЗ-2}} + t_{\text{погр.защ2}} + t_{\text{отк.}Q2}, \quad (7)$$

где  $t_{\text{МТЗ-2}}$  - выдержка времени МТЗ2;  $t_{\text{погр.защ2}}$  - положительная погрешность в сторону замедления реле времени МТЗ2;  $t_{\text{отк.}Q2}$  - время отключения выключателя линии W2 с момента подачи импульса в катушку отключения до разрыва тока КЗ контактами выключателя. Приняв некоторый запас  $t_{\text{зап}}$  и учтя, что МТЗ1 может из-за погрешности реле времени снизить выдержку времени на величину  $t_{\text{погр.защ1}}$  (отрицательная погрешность), получим:

$$t_{\text{МТЗ-1}} = t_{\text{МТЗ-2}} + t_{\text{погр.защ2}} + t_{\text{отк.}Q2} + t_{\text{погр.защ1}} + t_{\text{зап}}. \quad (8)$$

Отсюда минимальная степень селективности будет равна:

$$\Delta t = t_{\text{МТЗ-1}} - t_{\text{МТЗ-2}} = t_{\text{погр.защ2}} + t_{\text{отк.}Q2} + t_{\text{погр.защ1}} + t_{\text{зап}}. \quad (9)$$

Согласно выражению (9) выбирается степень для МТЗ с независимой характеристикой. Что касается МТЗ с зависимой характеристикой, выполняемых с помощью индукционных реле, то они могут продолжать работать по инерции после отключения тока КЗ. Поэтому степень времени у таких МТЗ должна быть увеличена на время инерционной ошибки реле  $t_{\text{и}}$ :

$$\Delta t = t_{\text{погр.защ2}} + t_{\text{отк.}Q2} + t_{\text{погр.защ1}} + t_{\text{и}} + t_{\text{зап}}. \quad (10)$$

Для применяемых в эксплуатации реле и выключателей степень времени колеблется у МТЗ с независимой выдержкой времени в пределах 0,3 до 0,6 с, а у МТЗ с зависимой или ограниченно зависимой характеристикой 0,6 до 1 с. При согласовании с

быстродействующей РЗ погрешность ее не учитывается ( $t_{\text{погр.защ2}} = 0$ ), и тогда  $\Delta t = 0,3 - 0,4$  с.

*Согласование МТЗ с независимыми характеристиками.* Считая, что выдержка времени МТЗ2 задана, выдержку времени МТЗ1 (рис. 4, б) определяют по выражению:

$$t_{\text{МТЗ-1}} = t_{\text{МТЗ-2}} + \Delta t. \quad (11)$$

Это время принимается в качестве времени уставки ( $t_{\text{уст}}$ ) защиты и выставляется на реле типов РВ-100, РВ-01 или РСВ, используемых в качестве элемента времени МТЗ с независимыми характеристиками.

В соответствии с «Общими техническими требованиями к микропроцессорным устройствам защиты и автоматики энергосистем» РД 34.35.310-01 в микропроцессорных устройствах защиты должно быть предусмотрено три ступени МТЗ:

- 1 ступень – МТЗ без выдержки времени (токовая отсечка);
- 2 ступень – МТЗ с независимой от тока выдержкой времени;
- 3 ступень – МТЗ с независимой или интегрально-зависимой от тока

выдержками времени.

**МТЗ-1** предназначена для защиты от междуфазных коротких замыканий. Пусковые органы тока защиты объединены по схеме «ИЛИ». В устройстве предусмотрена возможность задания выдержки времени для первой ступени МТЗ. Небольшое замедление токовых отсечек (порядка 0,1 с) может потребоваться:

- для отстройки от искусственных кратковременных КЗ, создаваемых трубчатыми разрядниками, устанавливаемыми для защиты воздушных линий от атмосферных перенапряжений;

- для лучшей отстройки от бросков тока при внешних КЗ и при пуске (самозапуске) для защиты электродвигателей.

Незначительная потеря в быстродействии защиты компенсируется в этом случае повышением её чувствительности. Рекомендуемое минимальное время срабатывания составляет 0,01 с.

Пусковые органы тока **МТЗ-2** выполнены аналогично МТЗ-1. Предусматривается цепь ускорения МТЗ-2 при включении выключателя на короткое замыкание. Время ввода ускорения не регулируется и равно 1 секунде. Имеется возможность задания выдержки времени, диапазон регулирования которой от 0 до 1 секунды с шагом 0,01 с. В алгоритме МТЗ-2 предусмотрен пуск по напряжению через дискретный вход (вольтметровая блокировка «ВМБ»). Защита имеет регулируемую выдержку времени.

Пусковые органы **МТЗ-3** выполнены аналогично МТЗ-1. Тип защиты – с независимой выдержкой времени или с интегрально-зависимой выдержкой. Защита может действовать на отключение или на сигнал. МТЗ-3 с независимой характеристикой срабатывания срабатывает при превышения тока заданной уставки с выдержкой времени. Для защиты электродвигателей от перегрузки в МТЗ-3 предусмотрена интегрально-зависимая характеристика срабатывания, которая строится на основе тепловой модели электродвигателя.

Тепловое состояние электродвигателей, работающих в тяжелых условиях пуска, подверженных частым перегрузкам по технологическим причинам, будет определяться не только степенью перегрузки и её длительностью, но и предшествующим тепловым состоянием. Поэтому характеристика срабатывания защиты должна быть интегрально зависимой от тока, учитывать предшествующее перегрузке тепловое состояние, процесс отдачи тепла, как в режиме перегрузки, так и в нормальном режиме работы и отключении от сети.

Структура построения такого алгоритма должна соответствовать дифференциальному уравнению, учитывающему отдачу тепла с поверхности обмотки:

$$T_n \cdot \frac{dB}{dt} = K_i^2 - \tau \cdot B, \quad (12)$$

здесь  $B$  – тепловой импульс, отражающий тепловое состояние электродвигателя;  $T_H$  – постоянная времени нагрева (охлаждения) электродвигателя;  $\tau$  – коэффициент интегрирования.

Этому выражению соответствует передаточная функция инерционного звена. Таким образом, накопление теплового импульса во времени происходит по экспоненциальному закону. При отключении электродвигателя от сети коэффициент  $\tau$  должен соответствовать постоянной времени охлаждения остановленного двигателя.

### Описание лабораторной установки

Лабораторная работа выполняется на учебном лабораторном стенде № 3. Подача напряжения на стенд производится кнопкой **SB1** «ПУСК» (зеленой), снятие напряжения - кнопкой **SB2** «СТОП» (красной), размещенных на блоке УЗО (рис. 6).

**Объектом исследования** является релейная микропроцессорная защита системы сборных шин двухтрансформаторной подстанции.

В лабораторной работе используется следующее оборудование:

**Двухтрансформаторная подстанция (ТП).** Управление режимом работы двухтрансформаторной подстанции осуществляется с помощью 6 контакторов, имитирующих работу выключателей, которые в свою очередь могут управляться либо вручную с помощью ключей **Q1 - Q6** либо дистанционно. В режиме дистанционного управления все ключи **Q1 - Q6** должны находиться в положении «Откл.» (рис. 7). Оборудована реле напряжения, установленными на выводах вторичных обмоток трансформаторов для контроля. Сигналы от реле напряжения поступают через блок сбора данных в компьютер для последующей обработки.

В один из трансформаторов включена цепь, имитирующая витковое замыкание в обмотке. Величина сопротивления, подключаемого к выводам одной из обмоток, может регулироваться в диапазоне от 10 Ом до 110 Ом. Замыкание аварийной цепи производится с помощью кнопки **SB1**.

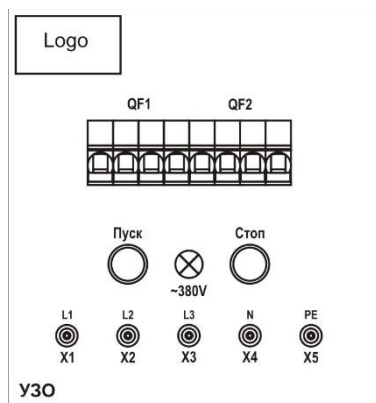


Рис. 6. Блок УЗО

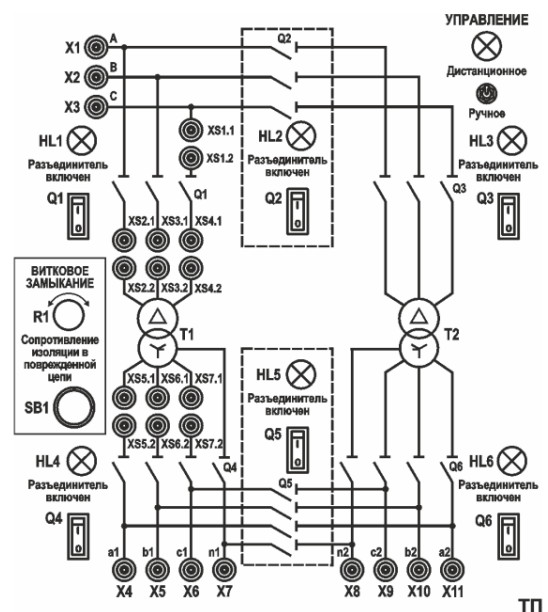


Рис. 7. Блок ТП

Таблица 1

## Технические данные трехфазного универсального лабораторного трансформатора

| Величина                         |            | Значение       |
|----------------------------------|------------|----------------|
| Число фаз                        |            | 3              |
| Номинальная мощность             | $S_{НОМ}$  | 380 ВА         |
| Типовая мощность                 | $S_{ТИП}$  | 840 ВА         |
| Номинальное первичное напряжение | $U_{1НОМ}$ | 380 В          |
| Номинальное вторичное напряжение | $U_{2НОМ}$ | 220 В          |
| Номинальный первичный ток        | $I_{1НОМ}$ | 0.58 А         |
| Номинальный вторичный ток        | $I_{2НОМ}$ | 1.00 А         |
| Напряжение короткого замыкания   | $U_{К\%}$  | 3,6 %          |
| Ток холостого хода               | $I_{0\%}$  | 12,00%         |
| Потери короткого замыкания       | $P_{К}$    | 13 Вт          |
| Схемы соединения обмоток ВН      |            | Y              |
| Схемы соединения обмоток НН      |            | Y <sub>0</sub> |
| Способ охлаждения                |            | С              |

**Сборная система шин (ШС2).** Сборная система шин предназначена для присоединения нагрузок к источникам электрической энергии. Присоединение нагрузки осуществляется с помощью автоматического выключателя, который в свою очередь может подключаться к секции шин и нагрузке с помощью управляемых разъединителей. Управление разъединителями может быть как ручным так и дистанционным. Каждый выключатель оборудован независимым расцепителем, подключенным к источнику питания. Клеммы расцепителя выведены на лицевую панель. Также на лицевую панель выведены клеммы дистанционно управляемого контакта, и контакты сигнализации состояния выключателей. Вид мнемосхемы приведен на рис. 8.

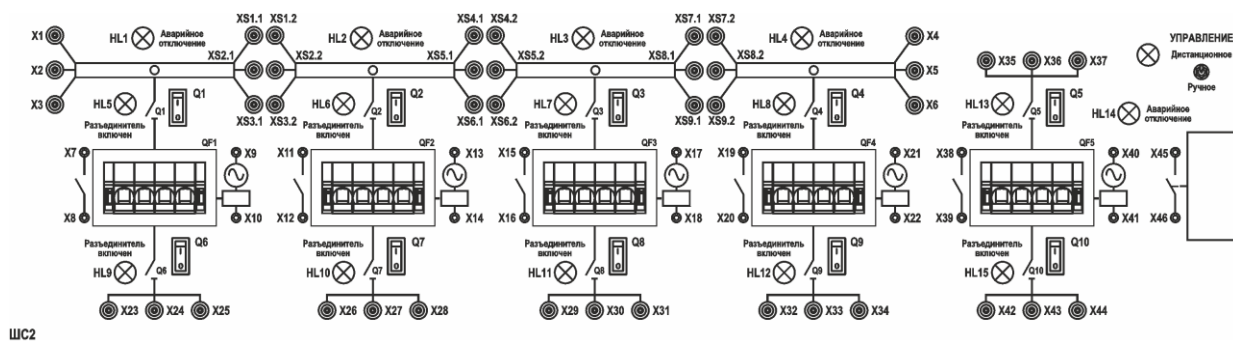


Рис. 8. Блок ШС2

**Короткозамыкатель (КЗ).** Блок предназначен для имитации аварийного режима работы системы электроснабжения. Для обеспечения безопасности при проведении экспериментов блок снабжен схемой, ограничивающей время замкнутого состояния контактов при нажатой и удерживаемой кнопке **SB**.

В блоке предусмотрено ограничение величины тока замыкания, для чего последовательно с каждым полюсом контактора включен токоограничивающий резистор сопротивлением 5,1 Ом. Вид мнемосхемы приведен на рис. 9.

**Трехфазный измерительный комплект (ИП1.2).** Для измерения электрических величин используется встроенный в стенд трехфазный измерительный прибор. Вид мнемосхемы прибора приведен на рис. 10.

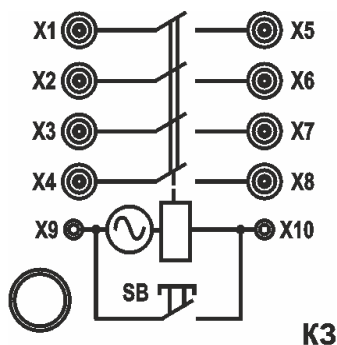
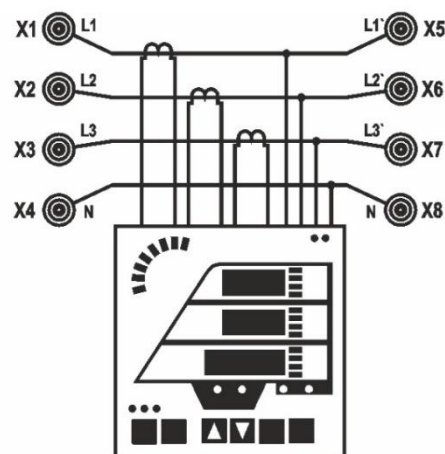


Рис. 9. Блок КЗ



ИП1.2

Рис. 10. Блок ИП1.2

**3-х фазная регулируемая RL-нагрузка (НТ2).** В качестве нагрузки трансформатора используется трехфазный нагрузочный реостат, схема которого приведена на рис. 11. Изменение сопротивления фаз осуществляется ступенчато поворотной рукояткой **R** и **L**.

**Регистрирующий амперметр (ИП 2.1).** Для измерения мгновенных значений тока, а также для подачи синхронизирующего релейного сигнала в цепи управления используется встроенный в стенд регистрирующий амперметр (рис. 12). Блок выполняет следующие функции:

- измерение мгновенных значений тока в трех независимых каналах измерения в диапазоне  $0 \pm 2$  А с регистрацией измерений в виде графиков;
- измерение мгновенных значений тока в диапазоне  $0 \pm 20$  А с регистрацией измерений в виде графиков.

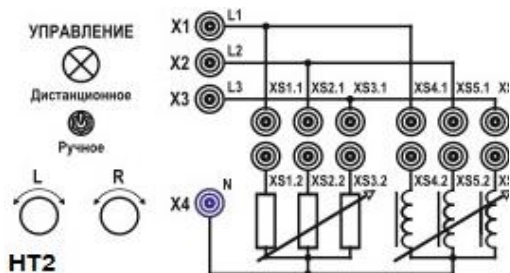


Рис. 11. Блок НТ2

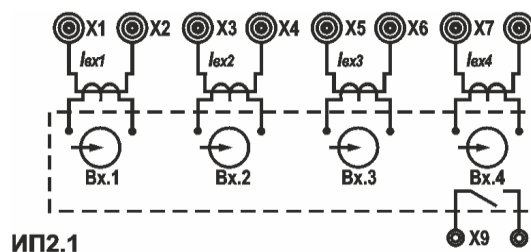


Рис. 12. Блок ИП2.1

**Блок микропроцессорной защиты Сириус ДЗ-35 (РЗ3).** Предназначен для исследования токовых защит и дистанционной защиты линий (рис. 13). На коммутационную панель блока выведены клеммы для подключения проводников контролируемой сети, а также клеммы, предназначенные для подключения расцепителей выключателей и линий связи с другими модулями микропроцессорных защит. Блок оборудован трансформаторами тока с коэффициентом трансформации 10/5 А. Также блок оборудован трансформатором напряжения с коэффициентом трансформации 220/50 В.

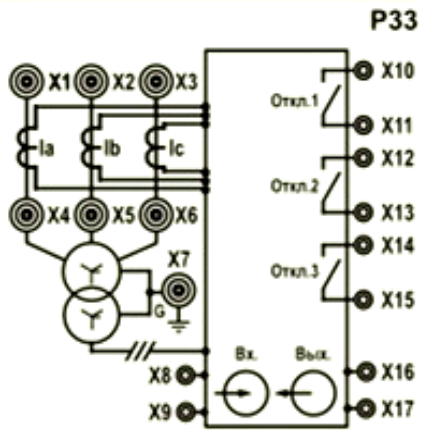
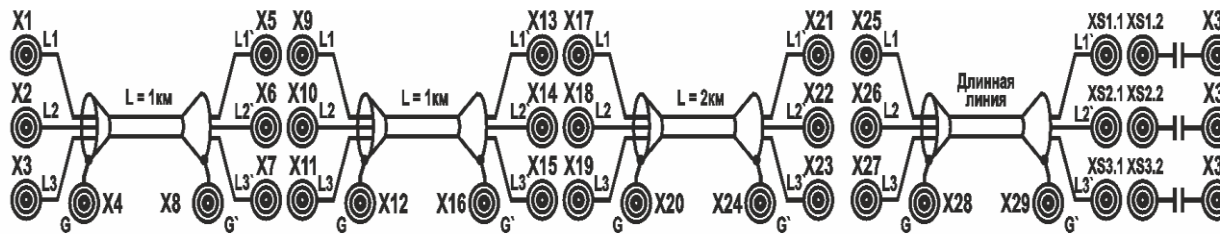


Рис. 13. Блок P33

**Кабельная линия (ЛК2).** В качестве системы передачи электроэнергии от трансформаторной подстанции используется блок кабельных линий, схема которого приведена на рис. 14. Блок предназначен для имитации кабельной линии электропередачи длиной 1 и 2 км.



ЛК2

Рис. 14. Блок ЛК2

Каждый участок линии моделируется П-образной цепью, содержащей продольные активные сопротивления и индуктивности, а также поперечно включенные емкости. Схема участка линии приведена на рис. 15.

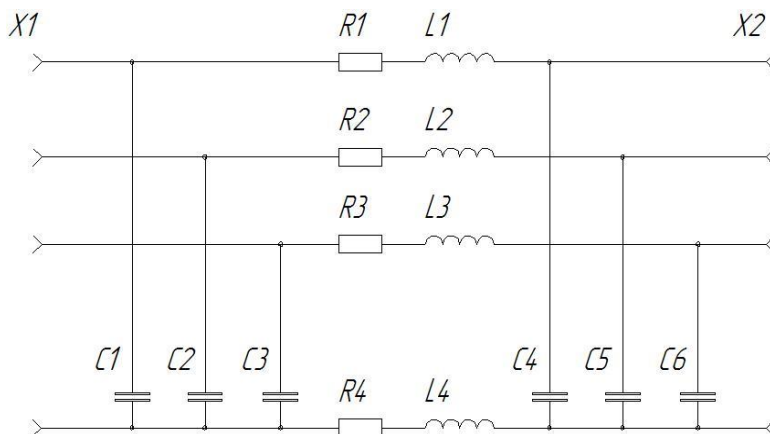


Рис. 15

Таблица 2  
Технические данные участков кабельной линии длиной 1 км

| Величина  | Значение |
|-----------|----------|
| Число фаз | 3        |



|                                                                                |           |                |
|--------------------------------------------------------------------------------|-----------|----------------|
| Номинальное линейное напряжение                                                | $U_{НОМ}$ | 220 В          |
| Продольное активное сопротивление/индуктивность фазного провода                | $R_L/L_L$ | 3 Ом/4,35 мГн  |
| Продольное активное сопротивление/индуктивность нулевой жилы (оболочки) кабеля | $R_N/L_N$ | 3,3 Ом/8,7 мГн |
| Суммарная емкость фазы относительно оболочки                                   | $C_L$     | 0,2 мкФ        |

### Программа работы

1. Настройка максимальной токовой защиты в блоке микропроцессорной защиты Сириус ДЗ-35.
2. Использование оперативного ускорения в работе МТЗ.
3. Формулирование выводов по проделанной работе.

### Ход работы

#### 2. Настройка максимальной токовой защиты в блоке микропроцессорной защиты Сириус ДЗ-35

68. Работа выполняется студентами только локально в лаборатории, в ручном режиме переключателя режима управления всех используемых блоков перевести в положение «ручное», при использовании компьютера для управления переключателями – положение «дистанционное».
69. Собрать схему 1 и установить аппараты управления стенда в исходные положения.
70. Проверить состояние аппаратов защиты стенда 3 **QF1** и **QF2** на блоке **УЗО**, **QF1** на блоке **ШС2**. Указанные аппараты должны быть включены.
- 71. ПРОВЕРКА СХЕМЫ ПРЕПОДАВАТЕЛЕМ (ЛАБОРАНТОМ)**
72. Подать питание на собранную схему, нажав кнопку «Пуск» на блоке **УЗО** стенда № 3.
73. Подготовить схему к проведению экспериментов.
  - Блок **ТП** – переключатели **Q1** и **Q4** перевести в положение 1; переключатели **Q2**, **Q3**, **Q5**, **Q6** перевести в положение 0.
  - Блок **ШС2** – переключатели **Q1**, **Q6**, перевести в положение 1.
  - Блок **НТ2** – переключатели **R** и **L** выставить в максимальное положение (15), крайнее левое на стенде.

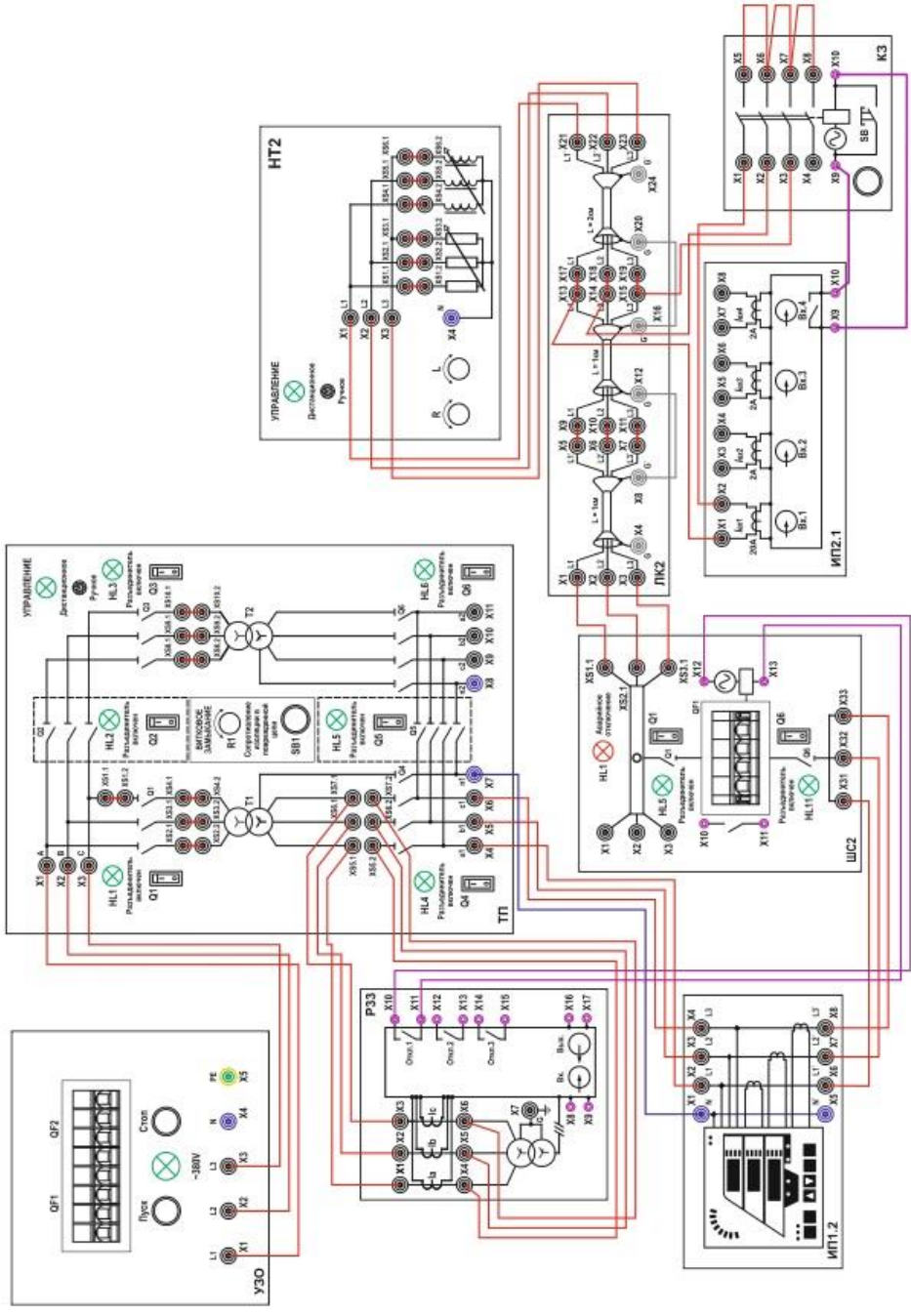


Схема 1

### Ход эксперимента:

1.1. По показаниям блока **ИП 1.2** заполнить таблицу 3 для фазы «А», нажатием левой клавишей мыши кнопки «Считать» на экране монитора.

Таблица 3

| Фаза | $U_{л}, В$ | $U_{ф}, В$ | $I, А$ | $S$<br>ВА | $P$<br>Вт | $Q$<br>ВАр |
|------|------------|------------|--------|-----------|-----------|------------|
| А    |            |            |        |           |           |            |

1.2. Определить максимальный ток нагрузки:

$$I_{нагр. max} = I_A \quad (13)$$

1.3. Произвести расчёт тока срабатывания реле  $I_{с.р.}$  по следующей формуле:

$$I_{с.р.} = \frac{k_{над}}{k_{воз}} \cdot k_{с.з.} \cdot k_c \cdot \frac{I_{нагр. max}}{k_{тт}} \quad (14)$$

где:  $k_{над}$  – коэффициент надежности, рекомендован производителем 1.1;  
 $k_{воз}$  – коэффициент возврата, выбирается самостоятельно в диапазоне от 0.92 до 0.95;  
 $k_{с.з.}$  – коэффициент самозапуска, для проведения лабораторной работы выбирается равным 1.2;  
 $k_{сх}$  – коэффициент схемы, выбирается в зависимости от схемы соединения трансформаторов тока;  
 $k_{тт}$  – коэффициент трансформации трансформаторов тока.

1.4. Задать ток уставки  $I_{уст}$  на блоке микропроцессорной защиты Сириус ДЗ-35, с условием:

$$I_{уст} > I_{с.р.} \quad (15)$$

- a. Активировать в блоке ДЗ-35 функцию **МТЗ**. С помощью кнопок **ввод**, **выход**, **◀**, **▲**, **▼**, **▶** обеспечивается перемещение по меню, просмотр и утверждение выведенных на дисплей значений и данных. Необходимо войти в меню и включить функцию **МТЗ**. Нажимаем **ввод**, выбираем меню «уставки», изменяем «набор 1», функция **МТЗ**. Включить функцию, снять блокировку, ввести код 0277. После получения доступа настроить меню **МТЗ**, выставить рассчитанный ранее по формулам ток уставки и минимальное время срабатывания защиты. Выйти в начальное меню, сохранить изменения в блоке и вывести измерения на дисплей.
- b. Провести опыт трехфазного короткого замыкания в линии, нажатием левой клавишей мыши кнопки «КЗ с измерением» на экране монитора, подать сигнал на короткозамыкатель.
- c. Микропроцессорная защита **ДЗ-35** при срабатывании, подает сигнал своим релейным контактом на независимый расцепитель и отключает питание в

линии ЛК2 автоматом *QF1* блока ШС2. Сигнализация *HL5* блока ШС2 информирует о срабатывании защиты.

- d. Измерить ток трехфазного короткого замыкания в конце защищаемого участка линии, с помощью прибора ИП2.1 повторно нажать кнопку "КЗ с измерением" и по диаграмме определить максимальное значение тока КЗ.

## **2. Использование оперативного ускорения в работе МТЗ**

- 2.1. Если защита не сработала (*HL5* не горит, *QF1* блока ШС2 не отключился), при верно выставленной уставке, необходимо подключить оперативное ускорение на блоке ДЗ-35 для уменьшения времени срабатывания защиты.
- 2.2. Заходим в меню «уставки», в разделе «набор 1» зайти в меню «опер. ускор», включить функцию «ОУ МТЗ», выставить время срабатывания МТЗ 50 мс. Сохранить измерения, вывести измерения на дисплей.
- 2.3. Повторно провести опыт трехфазного короткого замыкания в линии, нажатием левой клавишей мыши кнопки «КЗ с измерением» на экране монитора, подать сигнал на короткозамыкатель.
- 2.4. Измерить ток трехфазного короткого замыкания в конце защищаемого участка линии, с помощью прибора ИП2.1 повторно нажать кнопку "КЗ с измерением" и по диаграмме определить максимальное значение тока КЗ.
- 2.5. Вернуть все задействованные переключатели в исходное положение. Произвести квитирование релейной защиты кнопкой «сброс» на блоке ДЗ-35.
- 2.6. Снять питание со стенда кнопкой «Стоп» на блоке УЗО.

## **3. Сделать выводы по проделанной работе.**

#### Лабораторная работа №4

Тема: Настройка МТЗ с торможением по напряжению в блоке микропроцессорной защиты

**Цель работы:** Получение практических навыков настройки МТЗ с торможением по напряжению в блоках микропроцессорной релейной защиты.

#### Теоретические пояснения к лабораторной работе

В ряде случаев при расчете тока срабатывания пусковых токовых реле МТЗ отстройка от максимального тока нагрузки с учетом коэффициента самозапуска электродвигателей приводит к такому его увеличению, при котором не обеспечивается необходимая чувствительность. Для повышения чувствительности МТЗ дополняется измерительным органом, реагирующим на изменение напряжения при КЗ. Срабатывая при КЗ, он разрешает работу защиты (пускает защиту) и запрещает ей срабатывать (блокирует) в режиме максимальной нагрузки и при самозапуске электродвигателей. Таким образом, *пуск (блокировка) по напряжению применяется для повышения чувствительности МТЗ*. МТЗ с пуском (блокировкой) по напряжению используется только как защита от КЗ.

Схема МТЗ с пуском по напряжению показана на рис. 1. Измерительный орган напряжения (ИОН) выполнен на реле напряжения  $KV$  и действует совместно с измерительным органом тока (ИОТ), выполненным на реле тока  $KA$ , на запуск органа выдержки времени  $KT$ . Остальная часть схемы защиты совпадает со схемой МТЗ без пуска по напряжению. Во время КЗ возрастает ток и уменьшается напряжение, поэтому срабатывают оба измерительных органа (ИОН и ИОТ) и с заданной выдержкой времени МТЗ действует на отключение. Если же в результате перегрузки защищаемого элемента токовые реле  $KA$  приходят в действие, то ИОН блокирует работу защиты, так как реле напряжения ИОН не действуют.

Недействие ИОН при перегрузке обеспечивается выбором уставок срабатывания реле напряжения  $KV$  такими, чтобы они не сработали при минимальном рабочем напряжении  $U_{p.min}$ . Благодаря этому ток срабатывания пусковых токовых реле  $KA$  отстраивается не от  $I_{p.max}$ , а от тока нагрузки нормального режима  $I_{p.норм}$  или от номинального тока  $I_{ном}$  защищаемого элемента:

$$I_{с.з} = \frac{k_{отс}}{k_B} \cdot I_{p.норм} (I_{ном}). \quad (1)$$

В обоих случаях расчета тока срабатывания МТЗ не учитывается коэффициент самозапуска электродвигателей  $k_{сзп}$ . Исходя из этого, можно убедиться, что чувствительность токовых реле МТЗ с пуском по напряжению выше чувствительности реле без пуска по напряжению.

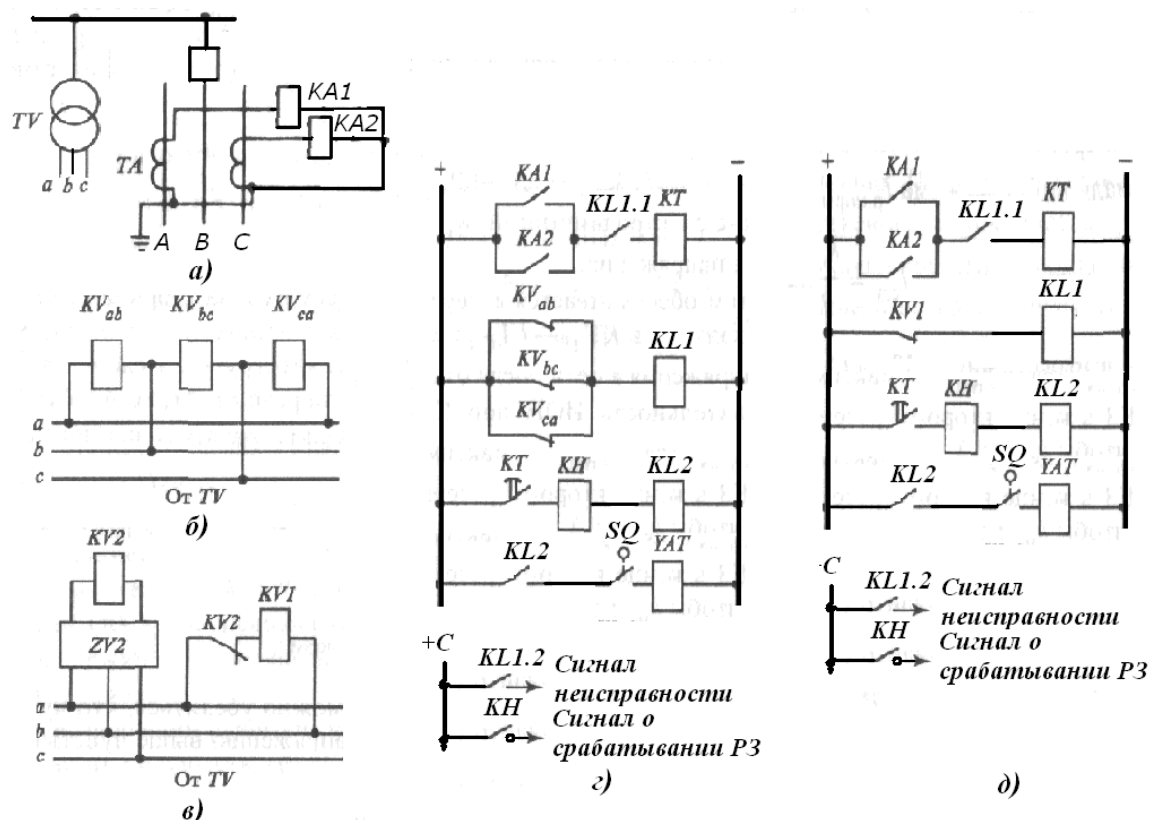


Рис. 1. Схема двухфазной МТЗ: *а* - цепи переменного тока; цепи переменного напряжения; *б* - с пуском от реле минимального напряжения; *в* - с комбинированным пуском по напряжению; цепи оперативного тока: *з* - с пуском от реле минимального напряжения; *д* - с комбинированным пуском по напряжению.

Ток срабатывания МТЗ с пуском по напряжению рассчитывается по формуле:

$$I_{с.р} = \frac{I_{с.з} \cdot k_{сх}}{k_I} = \frac{k_{отс} \cdot k_{сх}}{k_B} \cdot \frac{I_{р.норм} (I_{ном})}{k_I} \quad (2)$$

Существует два способа выполнения пуска по напряжению:

- 1) пуск от трех реле минимального напряжения (рис. 1, *б* и *з*);
- 2) комбинированный пуск, использующий реле напряжения обратной последовательности и реле минимального напряжения (рис. 1, *в* и *д*).

Пусковой орган по напряжению с тремя реле минимального напряжения  $KV_{ab}$ ,  $KV_{bc}$  и  $KV_{ca}$ , включенными на междуфазные напряжения, приведен на рис. 1, *б*). Такая схема обеспечивает надежное срабатывание ИОН при любом виде междуфазных КЗ, поскольку при этом значительно снижается хотя бы одно из междуфазных напряжений. Размыкающие контакты реле минимального напряжения, соединенные между собой параллельно, действуют в цепи оперативного тока защиты (рис. 1, *з*) на обмотку промежуточного реле  $KL1$ .

В нормальном режиме работы защищаемого элемента реле минимального напряжения находятся в срабатанном состоянии и держат свои контакты в цепи реле  $KL1$  разомкнутыми. При возникновении КЗ происходит снижение напряжения и реле  $KV$  возвращаются, замыкая свои контакты в цепи обмотки промежуточного реле  $KL1$ . Последнее, сработав, замыкает свой контакт  $KL1.1$  в цепи обмотки реле времени  $KT$ . Срабатывание пусковых токовых реле  $KA$  и замыкание их контактов  $KA1$  и  $KA2$  в этом случае вызывает действие реле времени  $KT$ . Если же в результате перегрузки защищаемого элемента токовые реле  $KA$  приходят в действие, а реле минимального

напряжения не работают, то цепь реле времени  $KT$  остается разомкнутой и МТЗ не работает.

Поскольку в случае обрыва цепи напряжения одно из реле  $KV$  сработает и МТЗ может подействовать ложно, если токовые реле  $KA$  придут в действие от тока перегрузки, в схеме РЗ предусмотрена сигнализация при замыкании контактов реле  $KL1.2$ . Получив такой сигнал оперативный персонал должен немедленно принять меры к восстановлению цепи напряжения. Рассмотренная схема может также выполняться с тремя пусковыми токовыми реле.

**Расчет параметров ИОН** сводится к определению напряжения срабатывания защиты ( $U_{с.з}$ ) и напряжения срабатывания реле ( $U_{с.р}$ ), а также коэффициента чувствительности защиты по напряжению ( $k_{ч.п}$ ).

*Напряжение срабатывания защиты ( $U_{с.з}$ )* для ИОН с тремя реле минимального напряжения – это максимальное значение напряжения, при котором приходят в действие (т. е. замыкают свои контакты) реле минимального напряжения.

Напряжение срабатывания защиты  $U_{с.з}$  определяется из двух условий:

1) реле не должны действовать при минимальном значении рабочего напряжения, т. е.  $U_{с.з} < U_{р. min}$ ;

2) сработав при внешнем КЗ, реле должны надежно вернуться в исходное состояние (т. е. разомкнуть свои контакты) после его отключения. Для этого необходимо, чтобы напряжение возврата защиты  $U_{в.з} < U_{р. min}$ .

Напряжение возврата защиты ( $U_{в.з}$ ) – это минимальное значение напряжения при котором реле минимального напряжения, сработавшие при внешнем КЗ, возвращаются в исходное состояние (т. е. размыкают контакты).

Отношение  $U_{в.з} / U_{с.з} = k_B$  – это коэффициент возврата, причем для реле минимального напряжения МТЗ  $k_B > 1$ . Следовательно, при выполнении условия 2 всегда выполняется условие 1, поэтому выражение для определения  $U_{с.з}$  можно получить следующим образом:

- выразим напряжение срабатывания защиты через напряжение возврата и коэффициент возврата:

$$U_{с.з} = U_{в.з} / k_B; \quad (3)$$

- из условия 2 получим напряжение возврата защиты как

$$U_{в.з} = U_{р. min} / k_{отс}, \quad (4)$$

где  $k_{отс}$  - коэффициент отстройки, учитывающий погрешность реле напряжения МТЗ.

Подставив значение  $U_{в.з}$  в выражение для  $U_{с.з}$ , получим:

$$U_{с.з} = \frac{k_{отс} \cdot U_{р. min}}{k_{отс} \cdot k_B}. \quad (5)$$

Коэффициент отстройки  $k_{отс}$  для реле типов РН-54 и статических реле серии РСН принимается равным 1,1-1,2, коэффициент возврата  $k_B$  определяется по техническим данным реле.

*Напряжение срабатывания реле ( $U_{с.р}$ )* – это наибольшее вторичное напряжение, необходимое для срабатывания реле минимального напряжения. Напряжение срабатывания реле находится с учетом коэффициента трансформации по следующему выражению:

$$U_{c.p.} = \frac{k_{отс} \cdot U_{p.min}}{k_{отс} \cdot k_B \cdot k_U}, \quad (6)$$

где  $U_{p.min}$  – минимальное рабочее напряжение, которое принимается равным  $(0,9 - 0,95)U_{p.норм}$  или остаточному напряжению (примерно  $0,6U_{p.норм.}$ ) при самозапуске электродвигателей.

По напряжению срабатывания реле определяется напряжение уставки ( $U_{уст}$ ), т.е. напряжение, которое выставляется на реле минимального напряжения защиты. Если в качестве пусковых реле используются реле напряжения серии РН-54, имеющие плавную регулировку напряжения срабатывания, то  $U_{уст} = U_{c.p.}$ . Если в качестве реле минимального напряжения используются статические реле типа РСН 16(17), имеющие ступенчатую регулировку тока срабатывания, то  $U_{уст} \leq U_{c.p.}$

Чувствительность ИОН при КЗ определяется коэффициентом чувствительности, который определяется по следующему выражению:

$$k_{ч.н} = U_{c.з} / U_{к.мах}, \quad (7)$$

где  $U_{к.мах}$  – максимальное значение остаточного напряжения в месте установки защиты при КЗ в конце защищаемого или резервируемого участка схемы сети. Коэффициент чувствительности считается допустимым, если величина его оказывается не менее 1,5 при КЗ в конце защищаемого элемента и не менее 1,2 при КЗ в конце зоны резервирования.

Во втором варианте (рис. 1, в и д) ИОН выполняется в виде комбинированного устройства из двух реле напряжения  $KV1$  и  $KV2$ . Реле максимального напряжения  $KV2$ , включенное через фильтр напряжения обратной последовательности  $ZV2$ , реагирует на появление составляющей напряжения  $U_2$  и служит для пуска МТЗ при несимметричных КЗ. Реле минимального напряжения  $KV1$ , включенное через размыкающий контакт  $KV2$ , предназначено для действия ИОН при трехфазных КЗ. Такая схема ИОН по сравнению с первым вариантом (рис. 1, б и з) обеспечивает более высокую чувствительность как при несимметричных, так и при симметричных КЗ. При несимметричных КЗ появляется напряжение обратной последовательности, реле  $KV2$  срабатывает, приводя в действие  $KV1$ , последнее замыкает контакт  $KV1$ , разрешая действовать МТЗ.

Так как в нормальном режиме работы защищаемого элемента напряжение обратной последовательности отсутствует, напряжение срабатывания реле  $KV2$  отстраивается только от напряжения небаланса  $U_{нб}$  на выходе фильтра  $ZV2$ , которое имеет небольшую величину. При этом оно принимается равным

$$U_{c.p.(2)} = k_{отс} \cdot U_{нб max} = 0,06U_{p.норм} / k_U. \quad (8)$$

При трехфазном КЗ в первый момент его возникновения (в течение 0,02-0,05 с) кратковременно появляется несимметрия напряжений, сопровождающаяся появлением  $U_2$ . В результате этого в первый момент КЗ срабатывает реле  $KV2$  и затем после размыкания контакта  $KV2.1$  реле  $KV1$ . После исчезновения несимметрии контакт  $KV2$  снова замыкается и на реле  $KV1$  подается напряжение  $U_K$ , равное остаточному напряжению в месте установки МТЗ. Реле  $KV1$  останется в сработавшем состоянии, если  $U_B < U_K$ . Таким образом, действие реле  $KV1$  при трехфазном КЗ определяется не  $U_{c.p.}$ , а  $U_{в.р.}$ , которое на 10-15% больше напряжения срабатывания. Это и обеспечивает большую чувствительность ИОН данного типа при трехфазных КЗ.

Напряжение срабатывания реле минимального напряжения  $KV$  определяется так же, как у аналогичных реле в первом способе выполнения пуска по напряжению. В качестве реле напряжения обратной последовательности используется электромеханическое реле типа РНФ-1м или статическое реле типа РСН13. Определение



времени срабатывания МТЗ с пуском по напряжению и согласование по времени защит различных элементов схемы сети производится так же, как и МТЗ без пуска по напряжению.

«Общие технические требования к микропроцессорным устройствам защиты и автоматики энергосистем» РД 34.35.310-01 в микропроцессорных реле предусматривают три ступени МТЗ:

- 1 ступень – МТЗ без выдержки времени (токовая отсечка);
- 2 ступень – МТЗ с независимой от тока выдержкой времени;
- 3 ступень – МТЗ с независимой или интегрально-зависимой от тока

выдержками времени.

Используя функцию блокировки по дискретному программируемому входу («ВМ-блокировка» либо «Блокировка защит») можно реализовать МТЗ с пуском по напряжению, либо пуск минимального напряжения (вольтметровую блокировку) путем подачи разрешающего работу МТЗ сигнала. Обычно используется комбинированный пуск, использующий реле напряжения обратной последовательности и реле минимального напряжения (рис. 1, в). Токовая уставка МТЗ такой защиты выбирается исходя из схемы и условия отстройки от максимального тока нормального режима без учёта перегрузки и самозапуска двигателей (обычно вводится в относительных единицах):

$$I_{уст} = \frac{k_{над} \cdot k_{СХ} \cdot I_{р.макс}}{k_{В} \cdot k_{ТТ} \cdot I_{р.ном}} \quad (9)$$

На дискретный вход подаётся сигнал пуска от внутреннего или внешнего реле минимального напряжения. Защита не должна действовать при минимальном уровне рабочего напряжения, определенному по (6) и, подействовав при внешнем КЗ, реле должно разомкнуть свои контакты после отключения повреждённого участка:

$$U_{уст} = \frac{U_{р.мин}}{k_{над} \cdot k_{В} \cdot k_{Н}}, \quad (10)$$

где  $U_{р.мин}$  – минимальное рабочее напряжение;

$k_{над}$  - коэффициент надежности ( $k_{Н}$  принимается равным 1,1-1,2);

$k_{В}$  - коэффициент возврата реле (для микропроцессорных реле  $k_{В}=0,9-1,02$ );

$k_{Н}$  и  $k_{ТТ}$  – коэффициенты трансформации напряжения и тока, соответственно.

## Описание лабораторной установки

Лабораторная работа выполняется на учебном лабораторном стенде № 3. Подача напряжения на стенд производится кнопкой **SB1** «ПУСК» (зеленой), снятие напряжения - кнопкой **SB2** «СТОП» (красной), размещенных на блоке УЗО (рис. 2).

**Объектом исследования** является релейная микропроцессорная защита системы сборных шин двухтрансформаторной подстанции.

В лабораторной работе используется следующее оборудование:

**Двухтрансформаторная подстанция (ТП).** Управление режимом работы двухтрансформаторной подстанции осуществляется с помощью 6 контакторов, имитирующих работу выключателей, которые в свою очередь могут управляться либо вручную с помощью ключей **Q1 - Q6** либо дистанционно. В режиме дистанционного управления все ключи **Q1 - Q6** должны находиться в положении «Откл.» (рис. 3). Оборудована реле напряжения, установленными на выводах вторичных обмоток трансформаторов для контроля. Сигналы от реле напряжения поступают через блок сбора данных в компьютер для последующей обработки.

В один из трансформаторов включена цепь, имитирующая витковое замыкание в обмотке. Величина сопротивления, подключаемого к выводам одной из обмоток, может регулироваться в диапазоне от 10 Ом до 110 Ом. Замыкание аварийной цепи производится с помощью кнопки **SB1**.

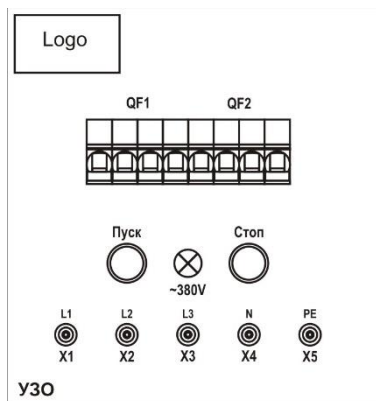


Рис. 2. Блок УЗО

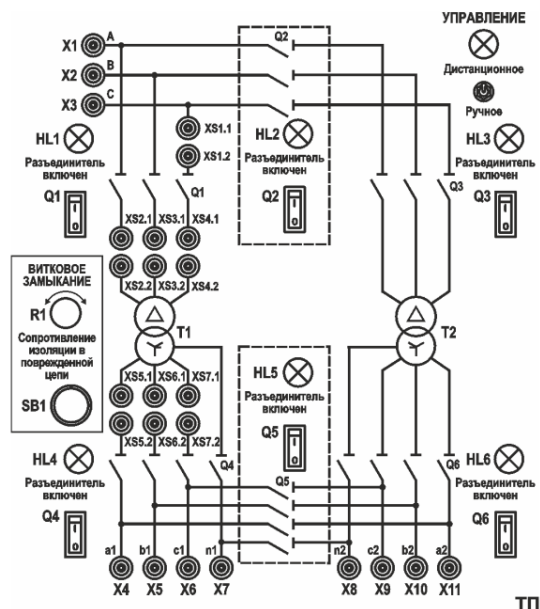


Рис. 3. Блок ТП

Таблица 1  
**Технические данные трехфазного универсального лабораторного трансформатора**

| Величина                         |            | Значение             |
|----------------------------------|------------|----------------------|
| Число фаз                        |            | 3                    |
| Номинальная мощность             | $S_{НОМ}$  | 380 ВА               |
| Типовая мощность                 | $S_{ТИП}$  | 840 ВА               |
| Номинальное первичное напряжение | $U_{1НОМ}$ | 380 В                |
| Номинальное вторичное напряжение | $U_{2НОМ}$ | 220 В                |
| Номинальный первичный ток        | $I_{1НОМ}$ | 0.58 А               |
| Номинальный вторичный ток        | $I_{2НОМ}$ | 1.00 А               |
| Напряжение короткого замыкания   | $U_{К\%}$  | 3,6 %                |
| Ток холостого хода               | $I_{0\%}$  | 12,00%               |
| Потери короткого замыкания       | $P_{К}$    | 13 Вт                |
| Схемы соединения обмоток ВН      |            | <b>Y</b>             |
| Схемы соединения обмоток НН      |            | <b>Y<sub>0</sub></b> |
| Способ охлаждения                |            | <b>C</b>             |

**Сборная система шин (ШС2).** Сборная система шин предназначена для присоединения нагрузок к источникам электрической энергии. Присоединение нагрузки осуществляется с помощью автоматического выключателя, который в свою очередь может подключаться к секции шин и нагрузке с помощью управляемых разъединителей. Управление разъединителями может быть как ручным так и дистанционным. Каждый выключатель оборудован независимым расцепителем, подключенным к источнику питания. Клеммы расцепителя выведены на лицевую панель. Также на лицевую панель выведены клеммы дистанционно управляемого контакта, и контакты сигнализации состояния выключателей. Вид мнемосхемы приведен на рис. 4.

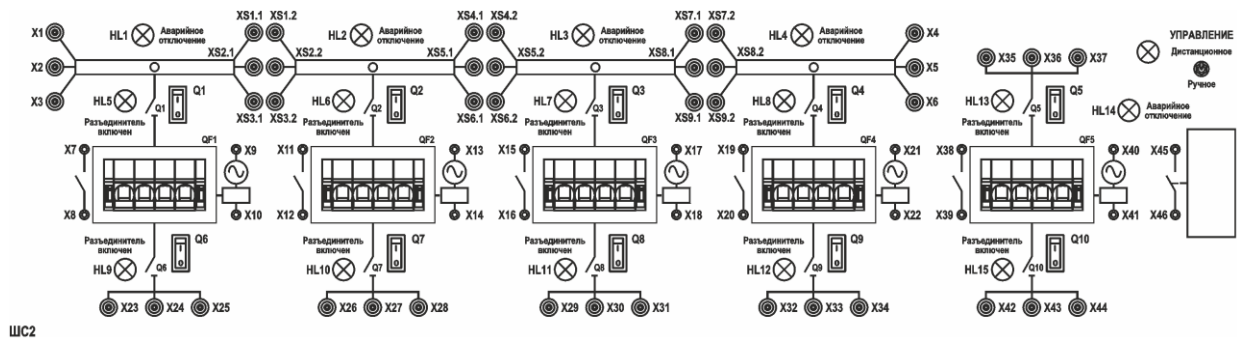


Рис. 4. Блок ШС2

**Короткозамыкатель (КЗ).** Блок предназначен для имитации аварийного режима работы системы электроснабжения. Для обеспечения безопасности при проведении экспериментов блок снабжен схемой, ограничивающей время замкнутого состояния контактов при нажатой и удерживаемой кнопке *SB*.

В блоке предусмотрено ограничение величины тока замыкания, для чего последовательно с каждым полюсом контактора включен токоограничивающий резистор сопротивлением 5,1 Ом. Вид мнемосхемы приведен на рис. 5.

**Трехфазный измерительный комплект (ИП1.2).** Для измерения электрических величин используется встроенный в стенд трехфазный измерительный прибор. Вид мнемосхемы прибора приведен на рис. 6.

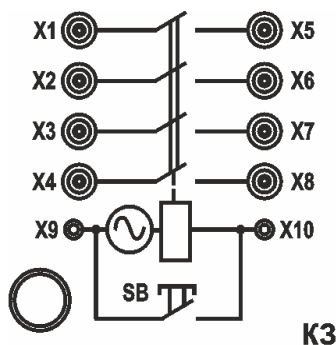


Рис. 5. Блок КЗ

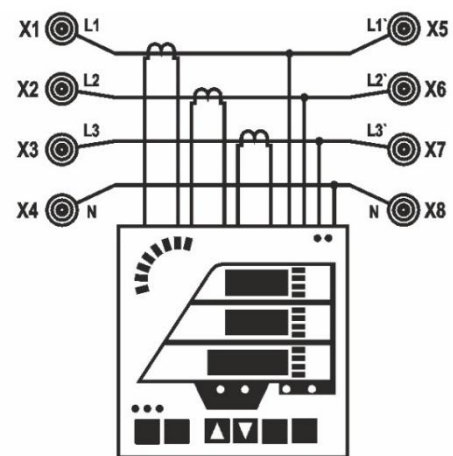


Рис. 6. Блок ИП1.2

**3-х фазная регулируемая *RL*-нагрузка (НТ2).** В качестве нагрузки трансформатора используется трехфазный нагрузочный реостат, схема которого приведена на рис. 7. Изменение сопротивления фаз осуществляется ступенчато поворотной рукояткой *R* и *L*.

**Регистрирующий амперметр (ИП 2.1).** Для измерения мгновенных значений тока, а также для подачи синхронизирующего релейного сигнала в цепи управления используется встроенный в стенд регистрирующий амперметр (рис. 8). Блок выполняет следующие функции:

- измерение мгновенных значений тока в трех независимых каналах измерения в диапазоне  $0 \pm 2$  А с регистрацией измерений в виде графиков;
- измерение мгновенных значений тока в диапазоне  $0 \pm 20$  А с регистрацией измерений в виде графиков.

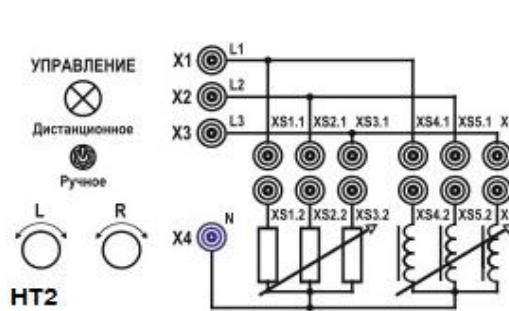


Рис. 7. Блок НТ2

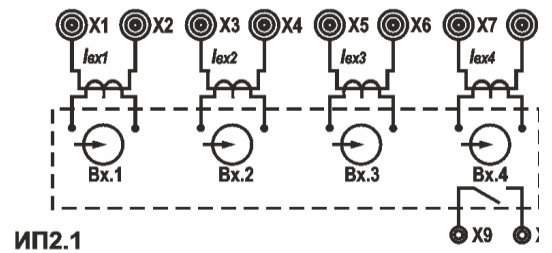


Рис. 8. Блок ИП2.1

**Блок микропроцессорной защиты БМРЗ (P32).** На коммутационную панель блока выведены клеммы для подключения проводников контролируемой сети, а также клеммы, предназначенные для подключения расцепителей выключателей и линий связи с другими модулями микропроцессорных защит. Блок оборудован трансформаторами тока с коэффициентом трансформации 5/1 А. Также блок оборудован трансформатором напряжения с коэффициентом трансформации 220/50 В. Вид мнемосхемы блока приведен на рис. 9.

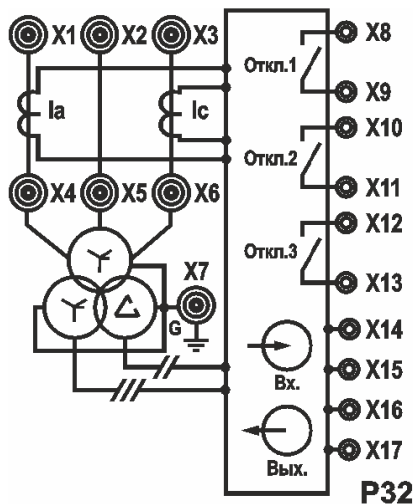
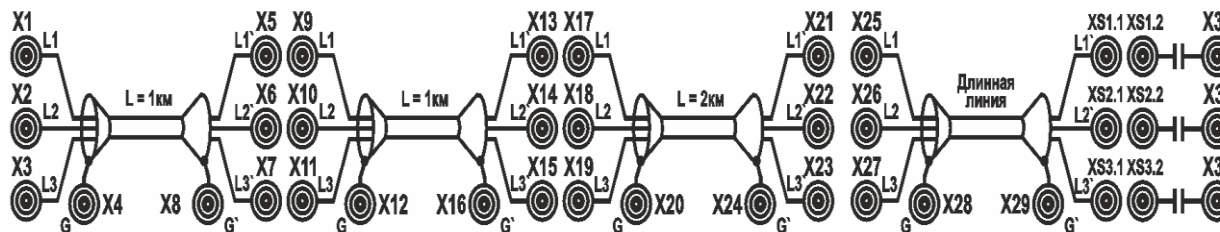


Рис. 9. Блок P32

**Кабельная линия (ЛК2).** В качестве системы передачи электроэнергии от трансформаторной подстанции используется блок кабельных линий, схема которого приведена на рис. 10. Блок предназначен для имитации кабельной линии электропередачи длиной 1 и 2 км.



ЛК2

Рис. 10. Блок ЛК2

Каждый участок линии моделируется П-образной цепью, содержащей продольные активные сопротивления и индуктивности, а также поперечно включенные емкости. Схема участка линии приведена на рис. 11.

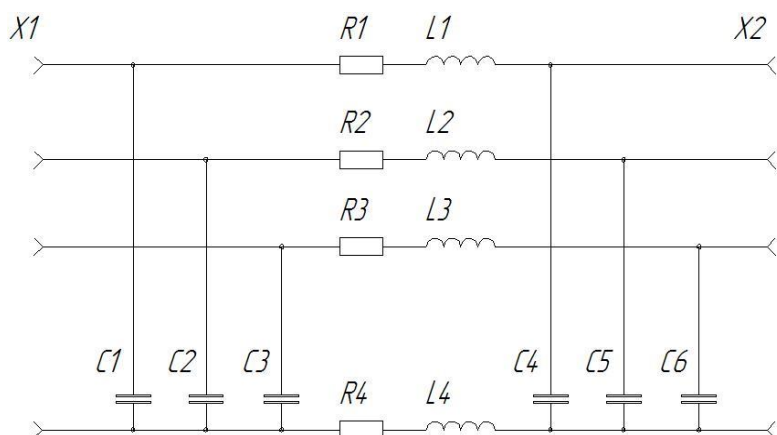


Рис. 11.

**Таблица 2**  
**Технические данные участков кабельной линии длиной 1 км**

| Величина                                                                       | Значение                 |
|--------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|
| Число фаз                                                                      | 3                        |
| Номинальное линейное напряжение                                                | $U_{НОМ}$ 220 В          |
| Продольное активное сопротивление/индуктивность фазного провода                | $R_I/L_L$ 3 Ом/4,35 мГн  |
| Продольное активное сопротивление/индуктивность нулевой жилы (оболочки) кабеля | $R_N/L_N$ 3,3 Ом/8,7 мГн |
| Суммарная емкость фазы относительно оболочки                                   | $C_L$ 0,2 мкФ            |

#### Программа работы

1. Расчет уставок МТЗ.
2. Настройка максимальной токовой защиты в блоке микропроцессорной защиты БМРЗ.
3. Настройка максимальной токовой защиты с торможением по напряжению в блоке микропроцессорной защиты БМРЗ.
4. Формулирование выводов по проделанной работе.

#### Ход работы

##### 1. Расчет уставок МТЗ

74. Работа выполняется студентами только локально в лаборатории, в ручном режиме переключатели режима управления всех используемых блоков перевести в положение «ручное», при использовании компьютера для управления переключателями – положение «дистанционное».
75. Собрать схему 1 и установить аппараты управления стенда в исходные положения.
76. Проверить состояние аппаратов защиты стенда 3 *QF1* и *QF2* на блоке *УЗО*, *QF1* на блоке *ШС2*. Указанные аппараты должны быть включены.
- 77. ПРОВЕРКА СХЕМЫ ПРЕПОДАВАТЕЛЕМ (ЛАБОРАНТОМ)**
78. Подать питание на собранную схему, нажав кнопку «Пуск» на блоке *УЗО* стенда № 3.
79. Подготовить схему к проведению экспериментов.

- Блок **ТП** – переключатели **Q1** и **Q4** перевести в положение 1; переключатели **Q2, Q3, Q5, Q6** перевести в положение 0.
- Блок **ШС2** – переключатели **Q1, Q6**, перевести в положение 1.
- Блок **НТ2** – переключатели **R** и **L** выставить в максимальное положение (15), крайнее левое на стенде.

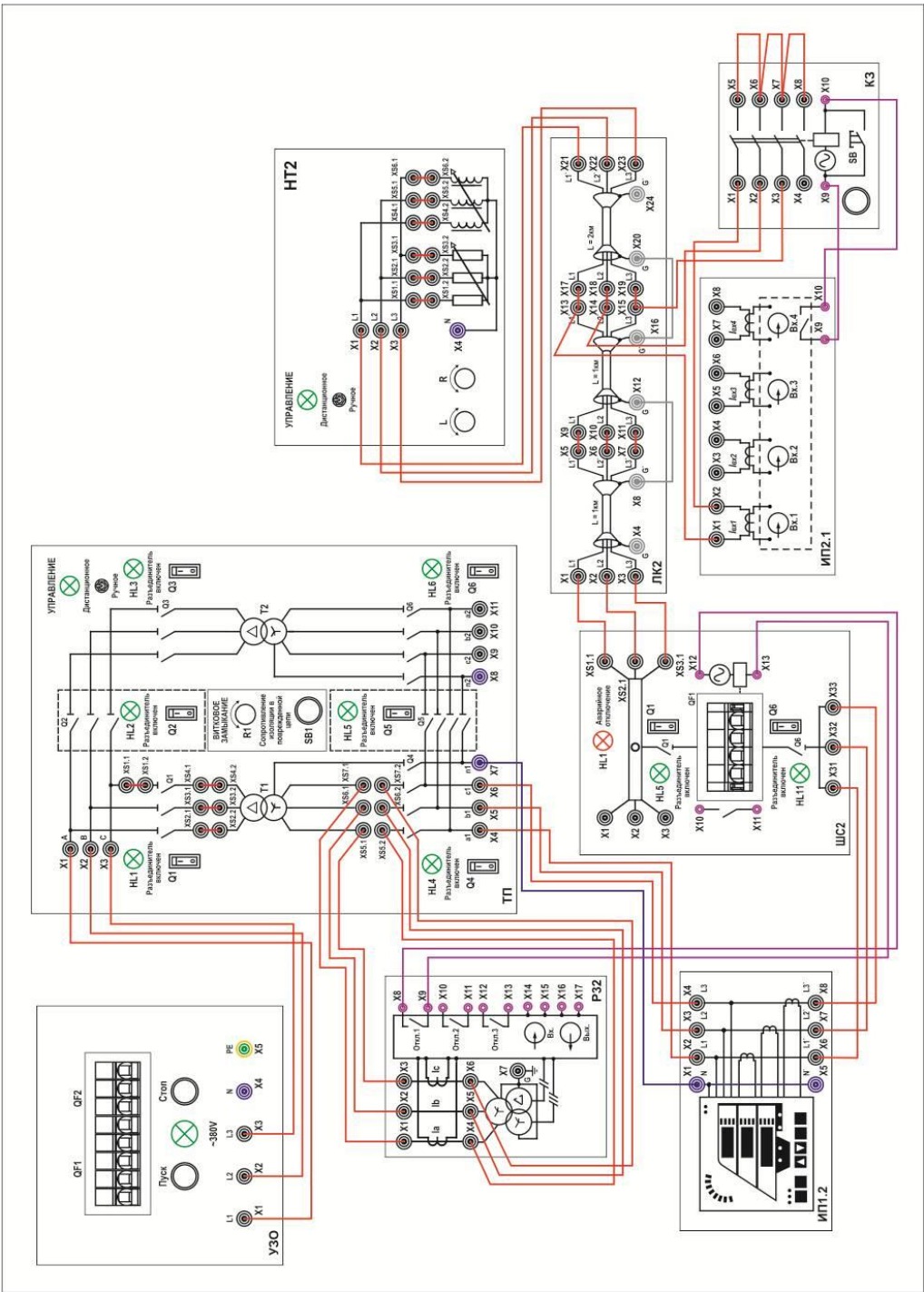


Схема 1

### Ход эксперимента:

1.1. По показаниям блока **ИП 1.2** заполнить таблицу 3 для фазы «А», нажатием левой клавишей мыши кнопки «Считать» на экране монитора.

Таблица 3

| Фаза | U <sub>л</sub> , В | U <sub>ф</sub> , В | I, А | S, ВА | P, Вт | Q, ВАр |
|------|--------------------|--------------------|------|-------|-------|--------|
| А    |                    |                    |      |       |       |        |

1.2. Определить максимальный ток нагрузки:

$$I_{\text{нагр. max}} = I_A \quad (11)$$

1.3. Произвести расчёт тока срабатывания реле  $I_{\text{с.р.}}$  по следующей формуле:

$$I_{\text{с.р.}} = \frac{k_{\text{над}}}{k_{\text{воз}}} \cdot k_{\text{с.з.}} \cdot k_{\text{с}} \cdot \frac{I_{\text{нагр. max}} \cdot k_{\text{п}}}{k_{\text{тт}}} \quad (12)$$

где:  $k_{\text{над}}$  – коэффициент надежности, рекомендован производителем 1.1;

$k_{\text{воз}}$  – коэффициент возврата, выбирается самостоятельно в диапазоне от 0.92 до 0.95;

$k_{\text{с.з.}}$  – коэффициент самозапуска, выбирается для проведения лабораторной работы равным 1.2;

$k_{\text{сх}}$  – коэффициент схемы, выбирается в зависимости от схемы соединения трансформаторов тока;

$k_{\text{п}}$  – коэффициент пуска асинхронного двигателя, в данном случае берется значение 3.5;

$k_{\text{тт}}$  – коэффициент трансформации трансформаторов тока.

1.1. Задать ток уставки  $I_{\text{уст}}$  на блоке микропроцессорной защиты БМРЗ, с условием:

$$I_{\text{уст}} > I_{\text{с.р.}} \quad (13)$$

1.2. Рассчитать коэффициент чувствительности защиты  $k_{\text{ч}}$

$$k_{\text{ч}} = \frac{0,866 \cdot \frac{E}{\sqrt{3} \cdot Z_{\text{сум}}}}{I_{\text{с.р.}}} \quad (14)$$

где:  $E$  – ЭДС источника;

$Z_{\text{сум}}$  – полное сопротивление системы трансформатор – линия (25,5 Ом).

1.3. Сделать проверку коэффициента чувствительности по ПУЭ, условие правильности расчёта:

$$k_{\text{ч}} \geq 1.5. \quad (15)$$

Если это условие не выполняется, необходимо провести расчет заново, с подбором других коэффициентов.




1.4. Произвести выбор времени срабатывания микропроцессорной защиты, и программирование на блоке микропроцессорной защиты **БМРЗ**.

## 2. Настройка максимальной токовой защиты в блоке микропроцессорной защиты БМРЗ.

2.1. Запрограммировать блок **БМРЗ**. Активировать функцию **МТЗ**.



2.2. Изменить уставки МТЗ. При изменении уставок потребуется вводить пароль –

232. С помощью кнопок на лицевой панели блока: ←, ↑, ↓, →,  (ввод),  (сброс), **F** осуществляется перемещение по меню и изменение уставок. Зайти в главное меню, БМРЗ-101 – выбрать меню «уставки, конфигурация» – «МТЗ» – активировать 1 ступень МТЗ, ключ **S103** перевести в положение 1, выставить ток уставки «МТЗ РТ1» равный 1 А. Время срабатывания «МТЗ Т1-1» уточнить у лаборанта и ввести в блок. Выйти в главное меню, одновременно нажав комбинацию кнопок **F**, , чтобы сохранить изменения в памяти блока.

2.3. Имитировать пуск мощного асинхронного двигателя, нажатием левой клавишей мыши кнопки «Пуск АД с измерением» на экране монитора, подать сигнал на короткозамыкатель.

2.4. Микропроцессорная защита **БМРЗ** должна сработать и подать своим релейным контактом сигнал на независимый расцепитель и отключить питание в линии ЛК2 автоматом **QF1** блока **ШС2**. Сигнализация **HL5** блока **ШС2** информирует о срабатывании защиты.

2.5. Измерить ток, протекающий при пуске двигателя, повторно нажав кнопку "Пуск АД с измерением". С помощью прибора **ИП2.1** по диаграмме мгновенных значений тока определить максимальное значение тока, записать показание в таблицу 4, нажатием левой клавишей мыши кнопки «Записать» на экране монитора.


Таблица 4

| Функция защиты             | $I_p$ , А | Защита сработала |
|----------------------------|-----------|------------------|
| МТЗ                        |           |                  |
| МТЗ с пуском по напряжению |           |                  |

2.6. Произвести квитирование блока **БМРЗ**, нажав на лицевой панели кнопку «КВИТ». Установить перемычку на блоке **P32** между клеммами **X14-X15**. Данная перемычка снимает блокировку блока **БМРЗ** на включение. Выставить автомат **QF1** блока **ШС2** после срабатывания в исходное положение.

### 3. Настройка максимальной токовой защиты с торможением по напряжению в блоке микропроцессорной защиты БМРЗ.

3.1. Установить функцию **МТЗ с пуском по напряжению**, в подменю «МТЗ» активировать программный ключ **S122**, переключив его на «1» и включив тем самым контроль линейных напряжений. Условием пуска первой ступени **МТЗ** является снижение любого линейного напряжения ниже уставки «МТЗ РН Ул», а, так как имитируется пуск двигателя, то установить значение уставки напряжения с учетом коэффициента самозапуска двигателя примерно равным 0.67 от номинального напряжения сети. Сохранить изменения в блоке **БМРЗ**

одновременно нажав комбинацию кнопок **F**, .

3.2. Имитировать пуск асинхронного двигателя, нажатием левой клавишей мыши кнопки «Пуск АД с измерением» на экране монитора, подать сигнал на короткозамыкатель. При этом микропроцессорная защита **БМРЗ** не должна сработать. Сигнализация **HL5** блока **ШС2** информирует о срабатывании защиты.

- 3.3. Измерить ток протекающий при пуске двигателя, повторно нажав кнопку "Пуск АД с измерением". С помощью прибора **ИП2.1** по диаграмме тока определить максимальное значение тока, записать показание в таблицу 4, нажатием левой клавишей мыши кнопки «Записать» на экране монитора.
- 3.4. При срабатывании защиты с пуском по напряжению, методом подбора определить уровень напряжения, при котором защита еще не срабатывает, и определить коэффициент самозапуска двигателя.
- 3.5. Произвести квитирование блока **БМРЗ**, автомат **QF1** блока **ШС2** при его срабатывании вернуть в исходное положение.
- 3.6. Вернуть все задействованные переключатели в исходное положение.
- 3.7. Снять питание со стенда кнопкой «Стоп» на блоке **УЗО**

#### **4. Сделать выводы по проделанной работе.**

## Лабораторная работа №5

Тема: Исследование влияния схем соединения трансформаторов тока на чувствительность токовых защит.

**Цель работы:** экспериментальное определение токов на вторичной стороне трансформаторов тока при различных схемах соединения трансформаторов тока.

### Теоретические пояснения к лабораторной работе:

В устройствах релейной защиты обмотки трансформаторов тока и реле защиты соединяются по определенным схемам, приведенным на рис. 1.

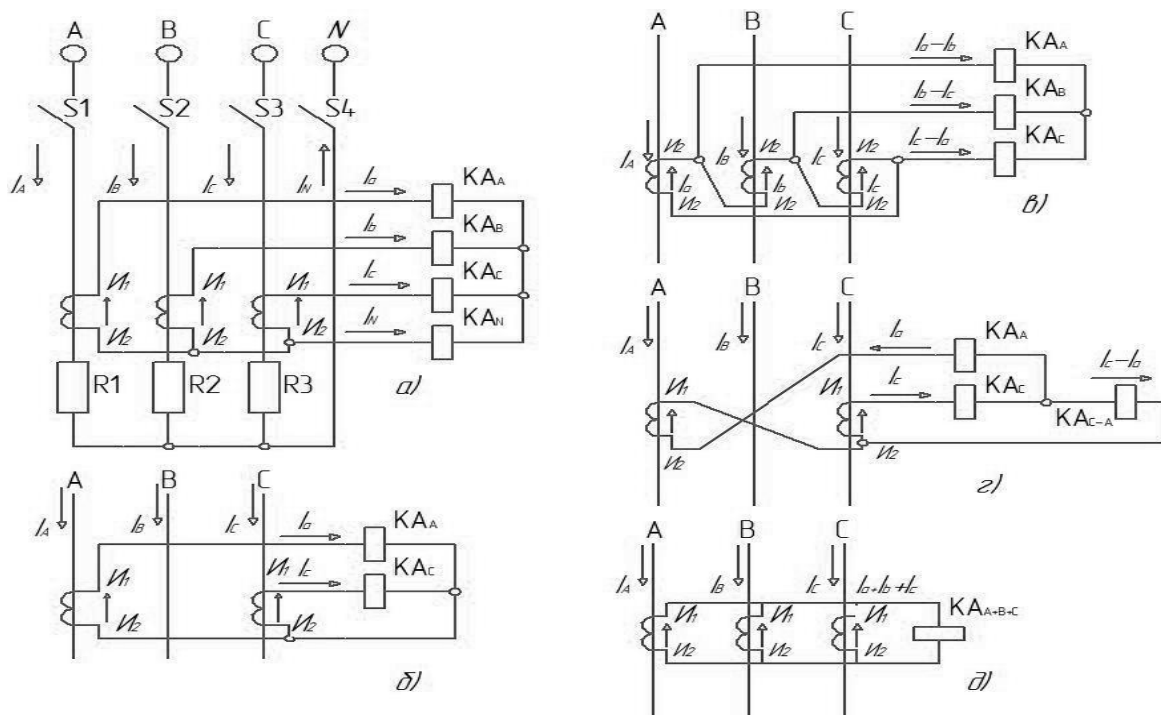


Рис. 1. Схемы испытания для проверки чувствительности защиты:

а) полная звезда; б) неполная звезда; в) треугольник; г) включение реле на разность токов двух фаз; д) включение реле на сумму токов трех фаз.

Поведение реле зависит от характера распределения тока по обмоткам реле в нормальных и аварийных режимах.

Все схемы соединения, принято характеризовать коэффициентом схемы  $k_{сх}$ , который определяется как отношение тока, протекающего по реле, к вторичному фазному току трансформатора тока:

$$k_{сх} = I_p / I_{2ТТ} \quad (1)$$

Данный коэффициент равен либо 1, либо  $\sqrt{3}$ .

**Схема соединения ТТ и обмоток реле в полную звезду (рис. 1, а).**

Трансформаторы тока устанавливаются во всех фазах. Вторичные обмотки ТТ и обмотки реле соединяются в звезду, и их нулевые точки связываются одним проводом, называемым *нулевым*. В нулевую точку объединяются одноименные зажимы обмоток ТТ. Стрелками показаны условные положительные направления первичных и вторичных токов с учетом полярности обмоток ТТ, начала и концы которых обозначены соответствующими буквами и цифрами.

При нормальном режиме и трехфазном КЗ, в реле  $KA_A$ ,  $KA_B$ ,  $KA_C$  проходят токи фаз  $I_{\phi} = I_a / K_I = I_B / K_I = I_c / K_I$ , а в нулевом проводе - их геометрическая сумма:

$$I_{Н.П} = I_N = (\underline{I}_a + \underline{I}_b + \underline{I}_c) = 3I_0, \quad (2)$$

которая при симметричных режимах равна нулю.

При *двухфазных КЗ* ток проходит только в двух поврежденных фазах и соответственно в реле, подключенных к ТТ поврежденных фаз, ток в неповрежденной фазе отсутствует.

Ток в нулевом проводе отсутствует как в нагрузочном (симметричном) режиме, так и при трех- и двухфазных КЗ (т.к.  $I_b = -I_c$ ). Однако в результате неидентичности характеристик и погрешностей ТТ в нулевом проводе протекает ток небаланса  $I_{Н.П} = I_{НБ}$ . В нормальном режиме он имеет значение 0,01 - 0,2 А, а при КЗ возрастает.

При *однофазных КЗ* первичный ток протекает только по одной поврежденной фазе. Соответствующий ему вторичный ток протекает также только через одно реле и замыкается по нулевому проводу.

При *двухфазных КЗ на землю* ток проходит в двух реле, включенных на поврежденные фазы (например, *B* и *C*). В нулевом проводе протекает геометрическая сумма этих токов, отличная от нуля.

Нулевой провод схемы соединения в звезду является *фильтром токов нулевой последовательности* (НП). Ток  $I_0$  определяется из (2).

При нарушении (обрыве) вторичной цепи одного из ТТ в нулевом проводе возникает ток, равный току фазы, что может привести к непредусмотренному действию реле, установленному в нулевом проводе. В рассмотренной схеме реле, установленные в фазах, реагируют на все виды КЗ, а реле в нулевом проводе - только на КЗ на землю.

Схема соединения ТТ и обмоток реле в звезду применяется в защит, действующих при всех видах КЗ. По числу ТТ и реле эту схему называют трехфазной трех- или четырехрелейной. Коэффициент схемы  $k_{сх} = 1$ .

**Схема соединения ТТ и обмоток реле в неполную звезду (рис. 1, б).**

Трансформаторы тока устанавливаются в двух фазах и соединяются так же, как и в схеме соединения в полную звезду. В реле  $КА_A$  и  $КА_C$  проходят токи соответствующих фаз  $I_a = I_A / K_I$  и  $I_c = I_C / K_I$ , а в *обратном* (общем) проводе (реле  $КА_N$ ) ток равен их геометрической сумме:

$$I_{0.П} = -(\underline{I}_a + \underline{I}_c). \quad (3)$$

С учетом того, что  $\underline{I}_a + \underline{I}_c = -\underline{I}_b$ , ток в обратном проводе равен току фазы, у которой отсутствует ТТ.

При *трехфазном КЗ* и в *нормальном режиме* токи проходят по обоим реле  $КА_A$  и  $КА_C$  и в обратном проводе.

В *случае двухфазного КЗ* токи появляются в одном или двух реле ( $КА_A$  и  $КА_C$ ) в зависимости от того, какие фазы повреждены. Ток в обратном проводе при двухфазных КЗ между фазами А и С, в которых установлены ТТ с учетом того, что  $I_c = -I_a$ , равен нулю, а при замыканиях между фазами АВ и ВС он соответственно равен:  $I_{0.П} = I_a$  и  $I_{0.П} = -I_c$ .

В *случае однофазного КЗ* фаз (А или С), в которых установлены ТТ, во вторичной обмотке ТТ и обратном проводе проходит ток КЗ. При замыкании на землю фазы В, в которой ТТ не установлен, токи в РЗ не появляются. Поэтому схему неполной звезды нельзя использовать для выполнения защиты от однофазных замыканий.

По числу ТТ и реле эту схему называют двухфазной двух- или трехрелейной. Коэффициент схемы  $k_{сх} = 1$ .

**Схема соединения ТТ в треугольник, а обмоток реле в звезду (рис. 1, в).**

Вторичные обмотки ТТ, соединенные последовательно разноименными выводами (рис. 1, в), образуют треугольник. Реле, соединенные в звезду, подключаются к вершинам треугольника. Из токораспределения видно, что в каждом реле протекает ток, равный геометрической разности токов двух фаз:

$$I_{KA1} = \underline{I}_a - \underline{I}_b, I_{KA2} = \underline{I}_b - \underline{I}_c, I_{KA3} = \underline{I}_c - \underline{I}_a, \quad (4)$$

где  $I_a = I_A / K_I$ ,  $I_b = I_B / K_I$ ,  $I_c = I_C / K_I$ .

При симметричной нагрузке и трехфазном КЗ в реле проходят токи в  $\sqrt{3}$  раз больше токов фаз и сдвинутые относительно них на угол  $30^\circ$ .

Схема соединений ТТ в треугольник обладает следующими особенностями:

- токи в реле протекают при всех видах КЗ;
- РЗ по такой схеме реагируют на все виды повреждений;
- отношение тока в реле к фазному току зависит от вида КЗ;
- токи НП не выходят за пределы треугольника.

Отсюда следует, что при КЗ на землю в реле попадают только прямая и обратная последовательности, т. е. только часть тока КЗ. Описанная выше схема применяется в основном для дифференциальных и дистанционных защит.

Поскольку в рассматриваемой схеме ток в реле при трехфазных симметричных режимах в  $\sqrt{3}$  раз больше тока в фазе, то коэффициент схемы равен  $k_{cx} = \sqrt{3}$ .

#### **Схема соединения с двумя ТТ и одним реле, включенным на разность токов двух фаз (рис. 1, з).**

Трансформаторы тока устанавливаются в двух фазах (обязательно А и С на всех элементах). Их вторичные обмотки соединяются разноименными зажимами, к которым подключается обмотка реле КА. Из токораспределения, для случая, когда по первичной цепи проходят токи  $I_A, I_B, I_C$ , находим, что ток в реле равен геометрической разности токов двух фаз  $I_a$  и  $I_c$ , т.е.

$$I_p = \underline{I}_a - \underline{I}_c. \quad (5)$$

При симметричной нагрузке и трехфазном КЗ разность токов  $\underline{I}_a - \underline{I}_c$  в  $\sqrt{3}$  раз больше тока в фазе, следовательно,  $I_p^{(3)} = I_\phi$ . При двухфазном КЗ фаз АС, на которых установлены ТТ,  $I_p^{(2)} = \underline{I}_a - (-\underline{I}_c) = 2I_\phi$ . При двухфазных КЗ фаз АВ или ВС в реле поступает ток только одной фазы  $I_a$  или  $I_c$  и, следовательно,  $I_p = I_\phi$ . Данная схема по сравнению со схемами полной и неполной звезды имеет худшую в  $\sqrt{3}$  раз чувствительность при КЗ между фазами А и В или В и С.

В случае двухфазного КЗ между фазами В и С за силовым трансформатором с соединением обмоток звезда - треугольник ток в реле  $I_p = \underline{I}_a - \underline{I}_c$  оказывается равным нулю, так как токи  $I_a$  и  $I_c$  равны по значению и имеют противоположное направление в обмотке реле.

Рассматриваемая схема может применяться только для защит от междуфазных КЗ в тех случаях, когда она обеспечивает необходимую чувствительность при двухфазных КЗ и когда не требуется ее действие при КЗ за трансформатором с соединением обмотки Y/Δ.

По числу ТТ и реле эту схему называют двухфазной однорелейной.

Коэффициент схемы  $k_{cx} = \sqrt{3}$ .

#### **Схема соединения ТТ на сумму токов трех фаз (рис. 1, д).**

Трансформаторы тока устанавливаются на трех фазах, одноименные зажимы из вторичных обмоток соединяются параллельно, и к ним подключается обмотка реле *КА*. Ток в реле равен геометрической сумме вторичных токов трех фаз:

$$I_p = (I_a + I_b + I_c) = 3I_0.$$

Рассматриваемая схема является фильтром токов НП. Ток в реле появляется только при одно- и двухфазных замыканиях на землю. Поэтому схема применяется для защит от замыканий на землю. По числу ТТ и реле эту схему называют трехфазной однорелейной.

### Описание лабораторной установки

Лабораторная работа выполняется на учебном лабораторном стенде № 3. Подача напряжения на стенд производится кнопкой *SB1* «ПУСК» (зеленой), снятие напряжения - кнопкой *SB2* «СТОП» (красной), размещенных на блоке УЗО (рис. 2).

**Объектом исследования** является релейная микропроцессорная защита системы сборных шин двухтрансформаторной подстанции.

В лабораторной работе используется следующее оборудование:

**Двухтрансформаторная подстанция (ТП).** Управление режимом работы двухтрансформаторной подстанции осуществляется с помощью 6 контакторов, имитирующих работу выключателей, которые в свою очередь могут управляться либо вручную с помощью ключей *Q1 - Q6* либо дистанционно. В режиме дистанционного управления все ключи *Q1 - Q6* должны находиться в положении «Откл.» (рис. 3). Оборудована реле напряжения, установленными на выводах вторичных обмоток трансформаторов для контроля. Сигналы от реле напряжения поступают через блок сбора данных в компьютер для последующей обработки.

В один из трансформаторов включена цепь, имитирующая витковое замыкание в обмотке. Величина сопротивления, подключаемого к выводам одной из обмоток, может регулироваться в диапазоне от 10 Ом до 110 Ом. Замыкание аварийной цепи производится с помощью кнопки *SB1*.

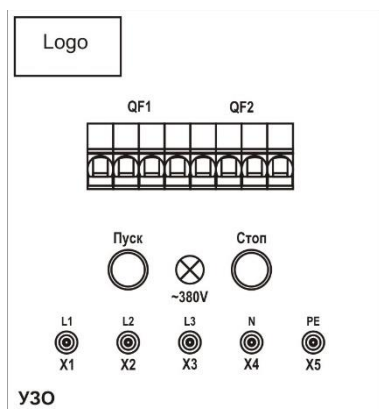


Рис. 2. Блок УЗО

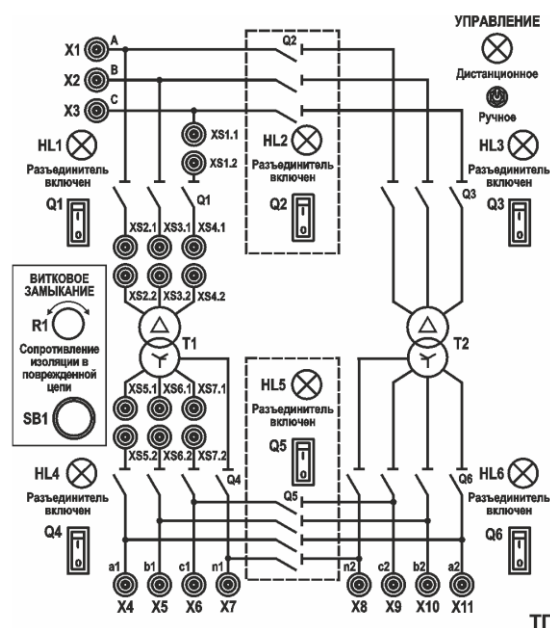
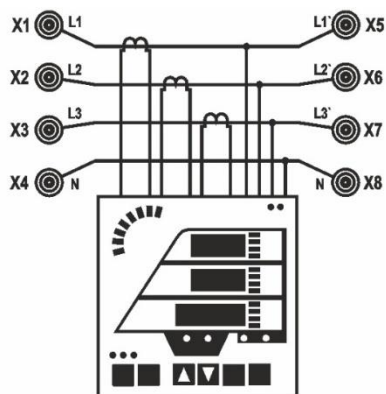


Рис. 3. Блок ТП

**Трехфазный измерительный комплект (ИП1.2).** Для измерения электрических величин используется встроенный в стенд трехфазный измерительный прибор. Вид мнемосхемы прибора приведен на рис. 4.

**Комплект трансформаторов тока (ТТ).** Три трансформатора тока с коэффициентом трансформации 1/1 А для подключения нагрузки и трехфазного амперметра (рис. 5).



ИП1.2

Рис. 4. Блок ИП1.2

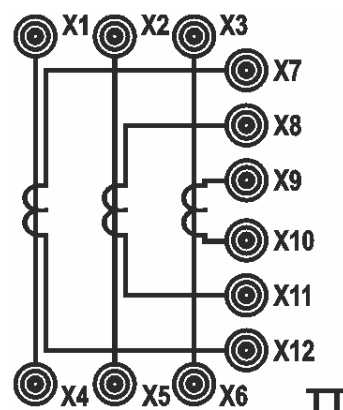


Рис. 5. Блок ТТ

**3-х фазная регулируемая RL-нагрузка (НТ2).** В качестве нагрузки трансформатора используется трехфазный нагрузочный реостат. Изменение сопротивления фаз осуществляется ступенчато поворотной рукояткой *L* и *R*. Вид мнемосхемы приведен на рис. 6.

**Регистрирующий амперметр (ИП 2.1).** Для измерения мгновенных значений тока, а также для подачи синхронизирующего релейного сигнала в цепи управления используется встроенный в стенд регистрирующий амперметр (рис. 7). Блок выполняет следующие функции:

- измерение мгновенных значений тока в трех независимых каналах измерения в диапазоне  $0 \pm 2$  А с регистрацией измерений в виде графиков;
- измерение мгновенных значений тока в диапазоне  $0 \pm 20$  А с регистрацией измерений в виде графиков.

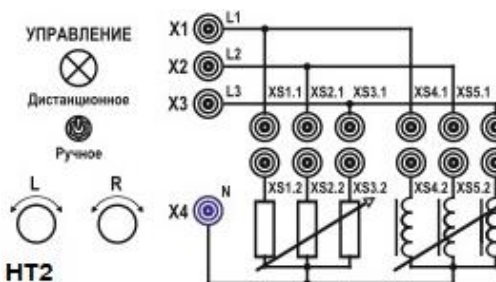
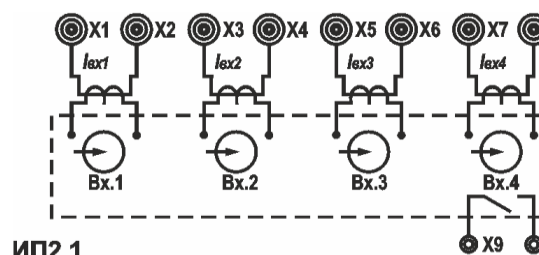


Рис. 6. Блок НТ2



ИП2.1

Рис. 7. Блок ИП2.1

## Программа работы

1. Экспериментальное определение токовых характеристик при различных типах коротких замыканий для схемы соединения обмоток «Полная звезда».
2. Экспериментальное определение токовых характеристик при различных типах коротких замыканий для схемы соединения обмоток «Неполная звезда».
3. Экспериментальное определение токовых характеристик при различных типах коротких замыканий для схемы соединения обмоток «Треугольник».







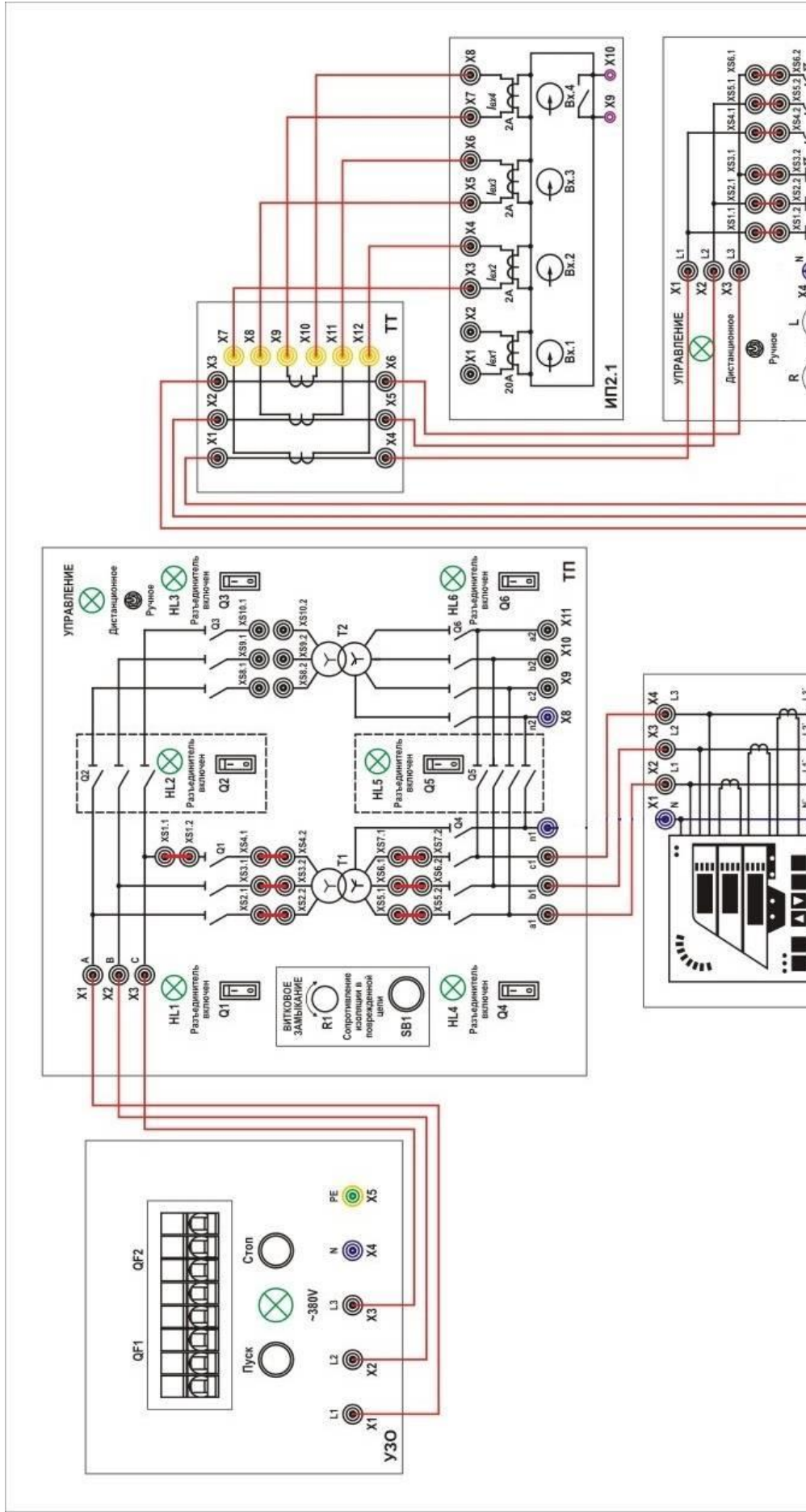


Схема 1



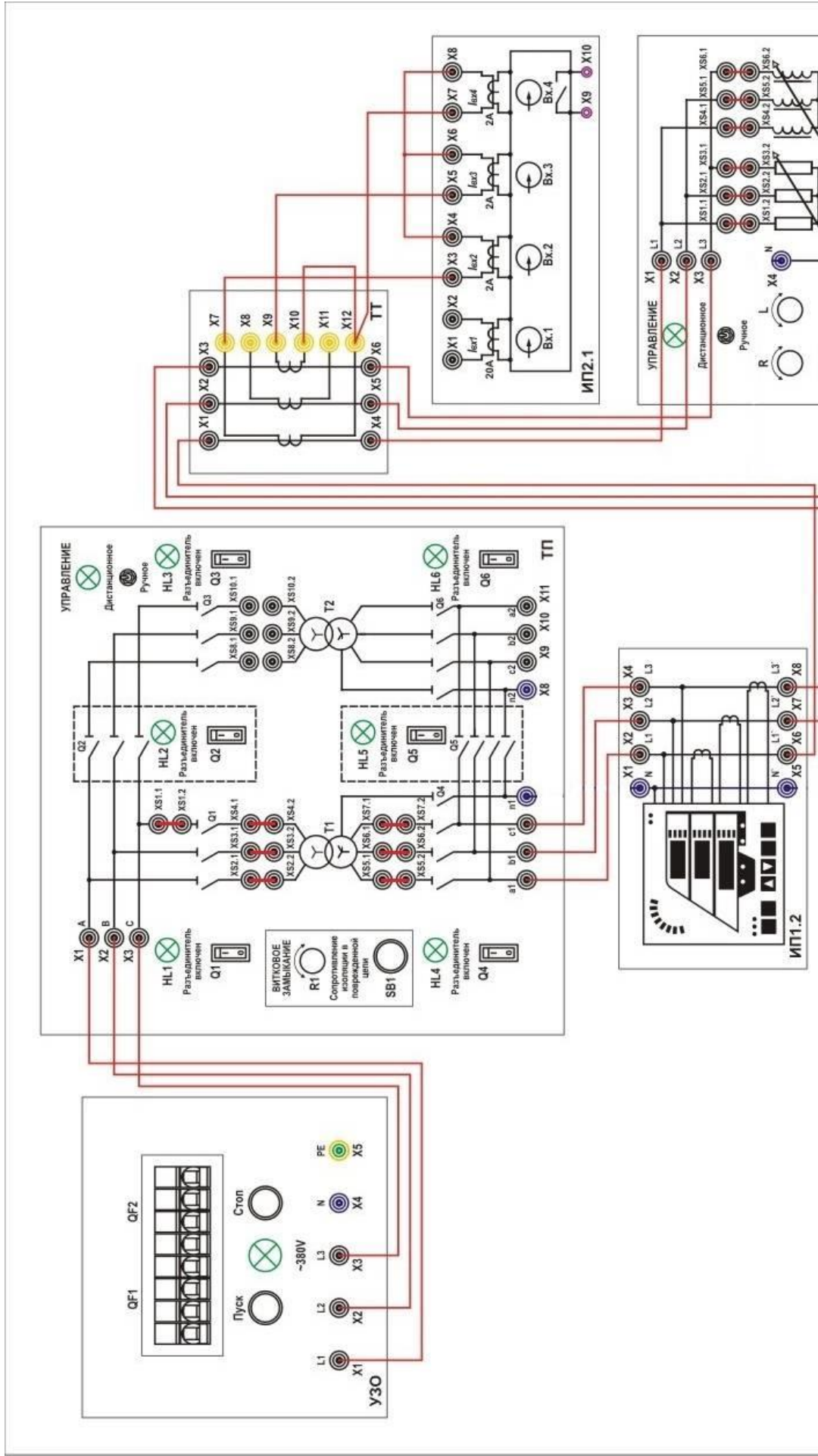


Схема 2



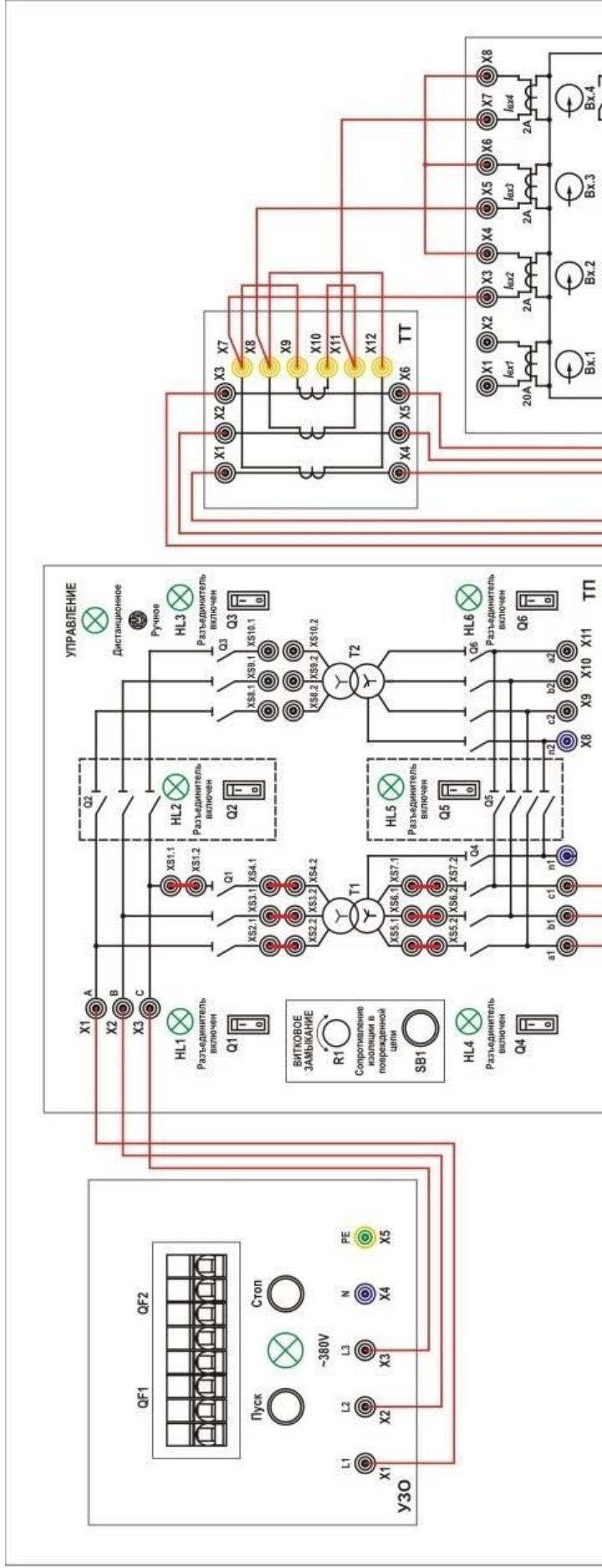


Схема 3



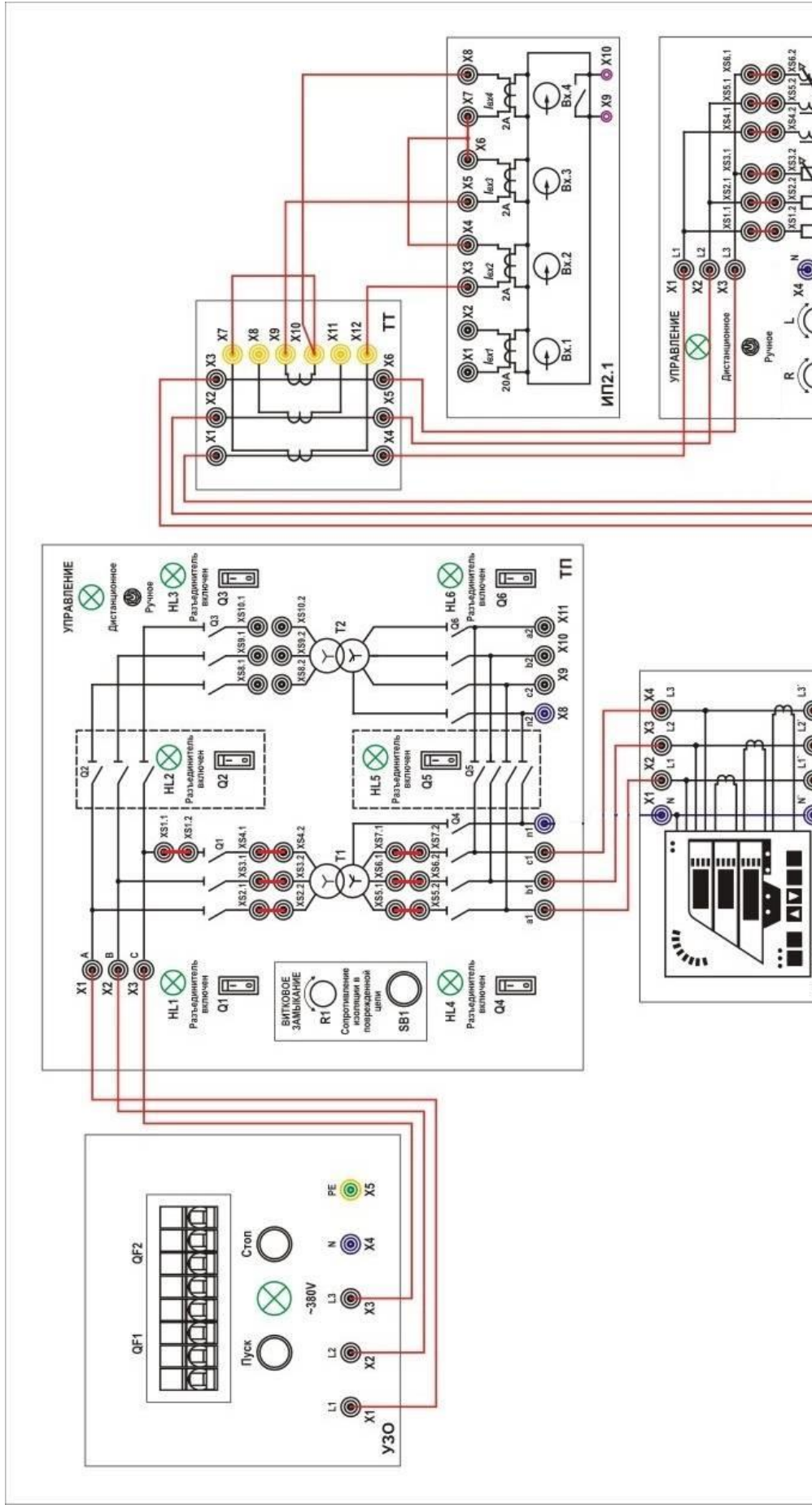


Схема 4



**5. Экспериментальное определение токовых характеристик при различных типах коротких замыканий для схемы соединения обмоток «На сумму токов трех фаз».**

5.1 Собрать схему 5.

**5.2 ПОДГОТОВЛЕННЫЙ К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ СТЕНД ДОЛЖЕН БЫТЬ ПРОВЕРЕН ПРЕПОДАВАТЕЛЕМ (ЛАБОРАНТОМ)**

5.3 Подать питание на схему с блока ТП, перевести переключатель **Q4** в положение «1».

5.4 С помощью прибора **ИП 1.2** и **ИП2.1** провести необходимые измерения для каждого режима. Измеряемые величины занести в таблицу 5, нажатием левой клавишей мыши кнопки «Считать» на экране монитора, для каждого опыта. Используя полученные данные определить коэффициент схемы и записать в таблицу 5, нажатием левой клавишей мыши кнопки «Записать» на экране монитора, для каждого опыта.

5.5 По завершении исследования каждой схемы отключать питание на вторичной стороне трансформатора блока ТП, перевести переключатель **Q4** в положение «0».

5.6 Провести опыт для режима «Трехфазное КЗ» перевести переключатель **Q4** в положение «1». Затем убрать перемычку **XS1.1-XS1.2** на нагрузочном реостате **НТ2** и провести опыт для режима «Двухфазное КЗ». Затем соединить нейтральный разъем **X4** блока **НТ2** с нейтральным разъемом **X5** блока **ИП1.2**, соединить нейтральный разъем **X1** блока **ИП1.2** с нейтральным разъемом **X7** блока **ТП** и провести опыт для режима «Двухфазное КЗ на землю». Затем убрать перемычку **XS2.1-XS2.2** на нагрузочном реостате **НТ2** и провести опыт для режима «Однофазное КЗ».

5.7 По окончанию проведения лабораторной работы вернуть в исходное положение все задействованные переключатели. Отключить питание стенда кнопкой «Стоп» блока **УЗО**.

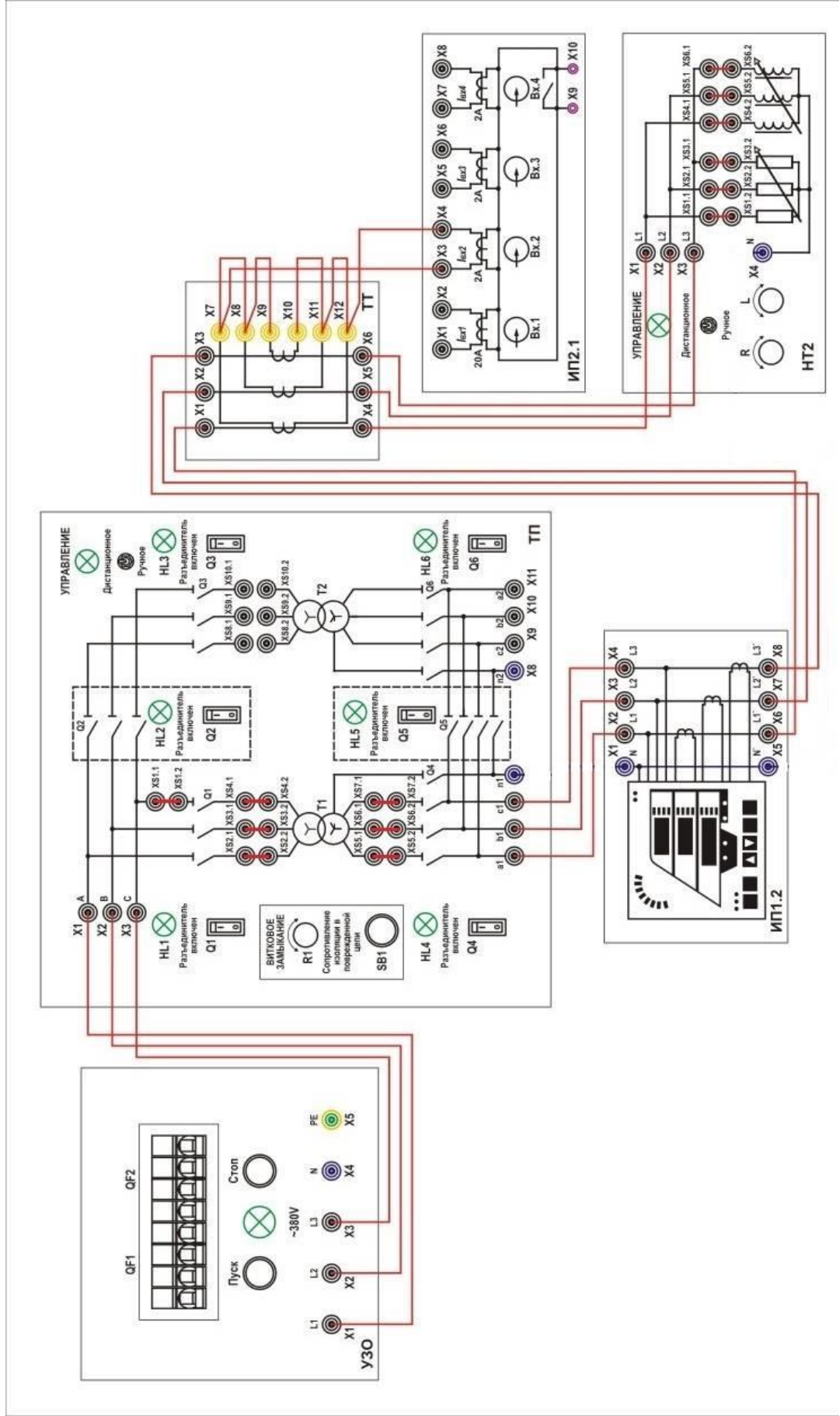


Схема 5

Таблица 5

## Опыт ТТ по схеме « На сумму токов трех фаз»

| Вид КЗ                 | Показания амперметров в цепях |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                        | К <sub>сх</sub> |
|------------------------|-------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|-----------------|
|                        | первичных                     |                       |                       |                       | вторичных             |                       |                       |                        |                 |
|                        | I <sub>A</sub> ,<br>А         | I <sub>B</sub> ,<br>А | I <sub>C</sub> ,<br>А | I <sub>N</sub> ,<br>А | I <sub>a</sub> ,<br>А | I <sub>b</sub> ,<br>А | I <sub>c</sub> ,<br>А | I <sub>N'</sub> ,<br>А |                 |
| Трёхфазное             |                               |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                        |                 |
| Двухфазное             |                               |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                        |                 |
| Двухфазное<br>на землю |                               |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                        |                 |
| Однофазное             |                               |                       |                       |                       |                       |                       |                       |                        |                 |

6. Сделать выводы по проделанной работе.

## Лабораторная работа №6

Тема: Настройка блока микропроцессорной дифференциальной защиты трансформатора

**Цель работы:** Получение практических навыков настройки блока микропроцессорной дифференциальной защиты трансформатора.

### Теоретические пояснения к лабораторной работе

Дифференциальная защита применяется в качестве основной быстродействующей защиты трансформаторов и автотрансформаторов. Ввиду ее сравнительной сложности дифференциальная защита устанавливается в следующих случаях:

- на одиночно работающих трансформаторах (автотрансформаторах) мощностью 6300 кВА и выше;
- на параллельно работающих трансформаторах (автотрансформаторах) мощностью 4000 кВА и выше;
- на трансформаторах мощностью 1000 кВА и выше, если токовая отсечка не обеспечивает необходимой чувствительности при КЗ на выводах низшего напряжения ( $k_n < 2$ ), а максимальная токовая защита имеет выдержку времени более 1 с.

При параллельной работе трансформаторов (автотрансформаторов) дифференциальная защита обеспечивает не только быстрое, но и селективное отключение поврежденного трансформатора (автотрансформатора), что поясняется рис. 1.

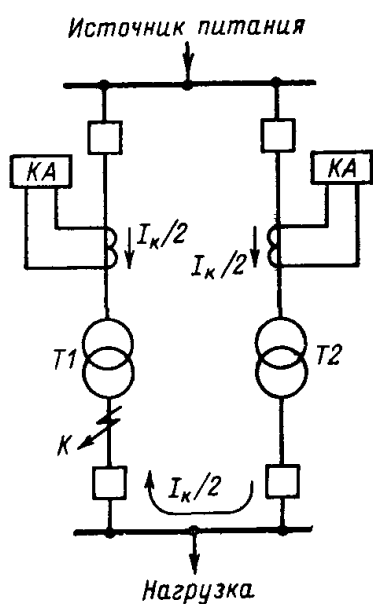


Рис. 1. Прохождение тока КЗ и действие максимальной токовой защиты при повреждении одного из параллельно работающих трансформаторов (автотрансформаторов).

Если параллельно работающие трансформаторы T1 и T2 оснащены только максимальными токовыми защитами, то при повреждении на вводах низшего напряжения трансформатора, например в точке К, подействуют максимальные токовые защиты обоих трансформаторов, а так как их выдержки времени одинаковы, отключатся оба трансформатора. Дифференциальная защита, действующая без выдержки времени, обеспечивает в рассмотренном случае отключение только поврежденного трансформатора.

Для выполнения дифференциальной защиты трансформатора (автотрансформатора) устанавливаются ТТ со стороны всех его обмоток, как показано на рис. 2 для двухобмоточного трансформатора. Вторичные обмотки ТТ соединяются в дифференциальную схему и параллельно к ним подключается токовое реле. Аналогично

выполняется дифференциальная защита автотрансформатора. При рассмотрении принципа действия дифференциальной защиты условно принимается, что защищаемый трансформатор имеет коэффициент трансформации, равный единице, одинаковое соединение обмоток и одинаковые ТТ с обеих сторон.

При прохождении через трансформатор сквозного тока нагрузки или КЗ ток в реле равен:

$$I_p = I_1 - I_2 \quad (1)$$

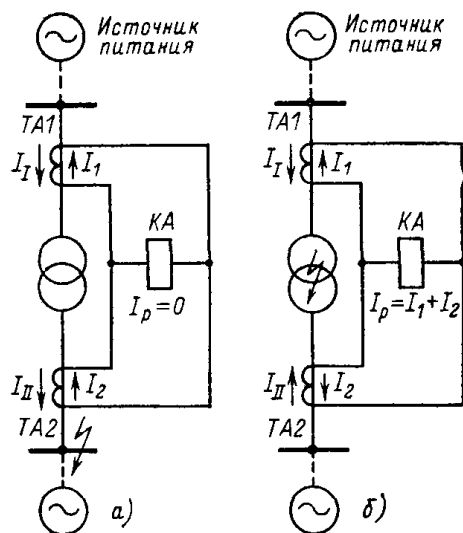


Рис. 2. Принцип действия дифференциальной защиты трансформатора (автотрансформатора): а — токораспределение при сквозном КЗ; б — то же при КЗ в трансформаторе (в зоне действия дифференциальной защиты)

При принятых выше условиях и пренебрегая током намагничивания трансформатора, который в нормальном режиме имеет малое значение, можно считать, что первичные токи  $I_I = I_{II}$  и, следовательно, равны вторичные токи  $I_1 = I_2$ . С учетом этого

$$I_p = I_1 - I_2 = 0 \quad (2)$$

Таким образом, если схема дифференциальной защиты выполнена правильно и ТТ имеют точно совпадающие характеристики, то при прохождении через трансформатор тока нагрузки или внешнего КЗ ток в реле отсутствует и дифференциальная защита на такие режимы не реагирует.

Практически, вследствие несовпадения характеристик ТТ, вторичные токи не равны друг другу и поэтому в реле проходит ток небаланса, т. е.

$$I_p = I_1 - I_2 = I_{p.нб} \quad (3)$$

Для того чтобы дифференциальная защита не подействовала от тока небаланса, ее ток срабатывания должен быть больше этого тока, т. е.

$$I_{с.з} = k_n \cdot I_{p.нб} \quad (4)$$

При КЗ в трансформаторе или любом другом месте между ТТ направление токов  $I_{II}$  и  $I_2$  изменяется на противоположное, как показано на рис. 2, б. При этом ток в реле станет равным

$$I_P = I_1 + I_2 \quad (5)$$

или:

$$I_P = \frac{I_1}{k_{т.т}} + \frac{I_2}{k_{т.т}} = \frac{I_k}{k_{т.т}} \quad (6)$$

Таким образом, при КЗ в зоне дифференциальной защиты в реле проходит полный ток КЗ, деленный на коэффициент трансформации трансформаторов тока. Под влиянием этого тока защита срабатывает и производит отключение поврежденного трансформатора.

### **Особенности микропроцессорного терминала «Сириус-Т»**

Устройство «Сириус-Т» предназначено для выполнения функций основной защиты двухобмоточного (в том числе с расщепленной обмоткой) трансформатора с высшим напряжением 35-220 кВ и является комбинированным микропроцессорным терминалом релейной защиты и автоматики. Также возможно его использование в качестве дифференциальной защиты реактора или мощного синхронного двигателя. Модульная мультипроцессорная архитектура наряду с современными технологиями поверхностного монтажа обеспечивают высокую надежность, большую вычислительную мощность и быстродействие, а также высокую точность измерения электрических величин и временных интервалов, что дает возможность снизить ступени селективности и повысить чувствительность терминала.

Реализованные в устройстве алгоритмы функций защиты и автоматики, а также схемы подключения устройства разработаны по требованиям к отечественным системам РЗА в сотрудничестве с представителями энергосистем и проектных институтов, что обеспечивает совместимость с аппаратурой, выполненной на различной элементной базе, а также облегчает внедрение новой техники проектировщикам и эксплуатационному персоналу.

Устройство производит измерение электрических параметров входных аналоговых сигналов фазных токов  $I_A$ ,  $I_B$ ,  $I_C$  сторон высшего и низшего напряжений силового трансформатора. При отсутствии измерительного трансформатора тока в фазе «В» стороны низшего напряжения силового трансформатора ток фазы «В» рассчитывается по формуле:

$$I_B = -I_A - I_C \quad (7)$$

Элементная база входных и выходных цепей обеспечивает совместимость устройства с любыми устройствами защиты и автоматики разных производителей - электромеханическими, электронными, микропроцессорными, а также сопряжение со стандартными системами телемеханики. В соответствии с требованиями руководящих указаний, ступени максимальной токовой защиты, установленной на стороне высшего напряжения силового трансформатора с односторонним питанием, должны быть присоединены к трансформаторам тока, соединенным в треугольник, в целях предотвращения неселективного действия при замыканиях на землю в сети 110-220 кВ. Электрическое соединение измерительных трансформаторов тока всегда в звезду. При необходимости, производится внутренняя цифровая сборка токовых цепей стороны ВН трансформатора в треугольник и использование полученных токов для реализации ступеней.

При измерениях осуществляется компенсация апериодической составляющей, а также фильтрация высших гармоник входных сигналов. Для сравнения с уставками

ступеней МТЗ используется только действующее значение первой гармоники входных сигналов. Для устранения существенного изменения тока в устройстве предусмотрено восстановление синусоидальной формы тока вплоть до 50 % погрешности ТТ.

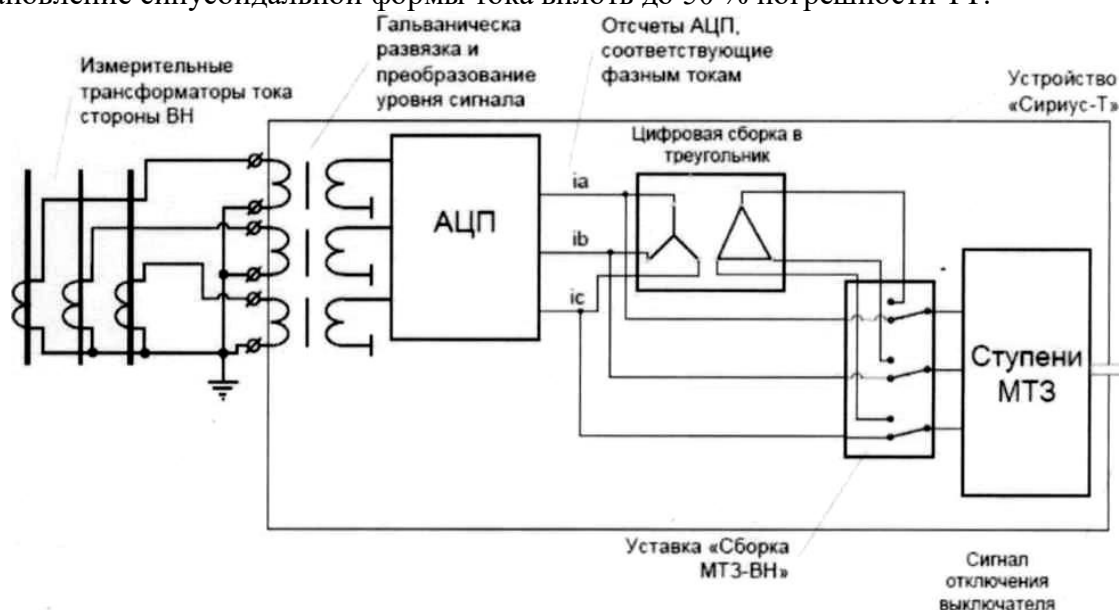


Рис. 3. Внутренняя цифровая сборка цепей ТТ в треугольник.

Токи контролируемого объекта поступают на входные измерительные трансформаторы, осуществляющие гальваническую развязку и согласование уровней сигналов. Далее они поступают на модуль микропроцессорного контроллера МК, где предварительно фильтруются, а затем оцифровываются аналого-цифровым преобразователем АЦП. Цифровой сигнальный процессор производит цифровую обработку сигналов. Полученные данные передаются главному процессору.

Модуль главного процессора. Кроме собственно 32-разрядного микропроцессора, содержит 512 кбайт ПЗУ, 512 кбайт сохраняемого ОЗУ, сторожевой таймер, часы-календарь, схему резервного питания памяти и календаря, энергонезависимую память уставок, интерфейс шины расширения. Главный процессор обслуживает два последовательных канала связи - RS232C и «токовая петля» (RS485). Там же расположен 14-разрядный АЦП с аналоговым мультиплексором и процессором цифровой обработки сигнала.

Модуль индикации и клавиатуры. Позволяет опрашивать состояние кнопок и тумблеров управления, выводить информацию на табло в буквенно-цифровом виде, а также управлять подсветкой ЖК индикатора. Режимы работы устройства задаются с клавиатуры, содержащей 4 кнопки для диалога («Выход», «<—», «—>», «Ввод») и кнопку «Сброс» для сброса цепей сигнализации и управления. Обслуживание клавиатуры и ЖК индикатора осуществляет плата управления дисплеем и клавиатурой.

Устройство обеспечивает хранение параметров, настройки и конфигурации защит и автоматики (уставок) в течении всего срока службы вне зависимости от наличия питающего напряжения. Ход часов и зафиксированные данные в памяти сохраняются при пропадании оперативного питания на время до нескольких лет. Структурная схема устройства «Сириус-Т» представлена на рис. 4.

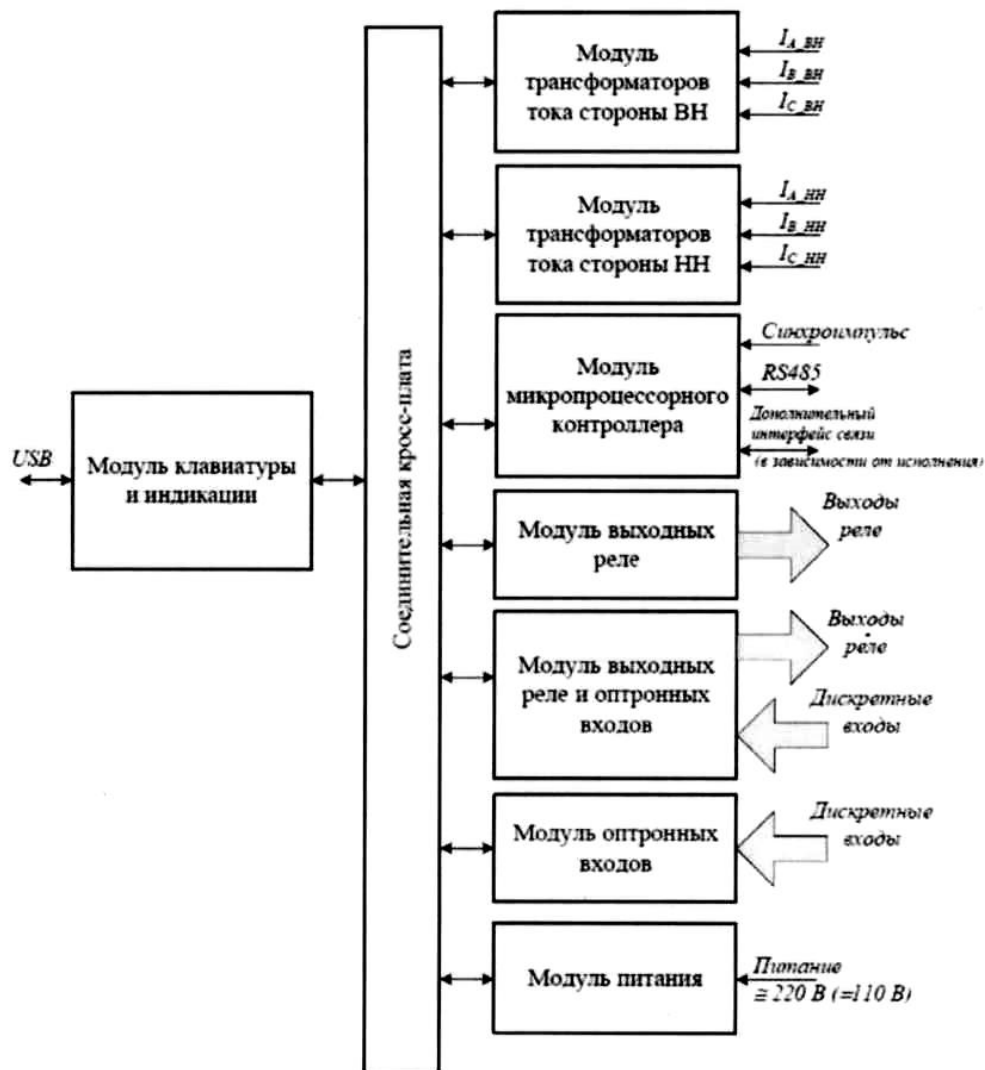


Рис. 4. Структурная схема устройства «Сириус-Т».

В терминале реализованы следующие функции защиты:

Дифференциальная защита трансформатора (ДЗТ). Является быстродействующей защитой абсолютной селективности и выполняет функцию основной токовой защиты трансформатора. Дифференциальная защита имеет две ступени: ДЗТ-1 – дифференциальная токовая отсечка и ДЗТ-2 – защита с торможением от сквозного тока и отстройкой от бросков тока намагничивания.

В устройстве формируются дифференциальные и тормозные токи (с учетом принятых положительных направлений токов в трансформаторе):

$$I_{\text{диф}} = |I_1 + I_2| \quad (8)$$

$$I_{\text{торм}} = 0,5 \cdot |I_1 - I_2| \quad (9)$$

Принятый способ формирования тормозного тока обеспечивает правильное функционирование защиты как при одностороннем, так и при двустороннем питании защищаемого трансформатора. В устройстве производится компенсация фазового сдвига токов в обмотках силового трансформатора с помощью внутренних цифровых ТТ 3 и 4 (рис. 3).



Дифференциальная токовая отсечка (ДЗТ-1) предназначена для быстрого отключения повреждений, сопровождающихся большим дифференциальным током. Она работает без каких-либо блокировок и не имеет торможения. Ступень срабатывает, когда действующее значение первой гармоники дифференциального тока превышает уставку « $I_{\text{ДИФ}} / I_{\text{НОМ}}$ ».

Уставка срабатывания задается как отношение дифференциального тока к номинальному вторичному току обмотки питающей стороны трансформатора. Также отключение производится, когда мгновенное значение дифференциального тока в течение 3 мсек, превышает значение « $I_{\text{ДИФ}} / I_{\text{НОМ}}$ » в 2.5 раза.

Перед выставлением уставок защит задаются следующие параметры:

- $I_{\text{НОМ}}$  — номинальный вторичный ток стороны ВН и НН трансформатора, соответствующий его номинальной мощности;
- Группа ТТ ВН и НН - группа сборки цифровых ТТ на стороне ВН и НН, подбираются с учетом группы защищаемого трансформатора и группы сборки измерительных ТТ (по таблицам, указанным в паспорте на устройство);
- Размах РПН - размах регулирования РПН.

Ток срабатывания дифференциальной отсечки выбирается по двум условиям:

1. По условию отстройки от броска тока намагничивания:

$$\frac{I_{\text{ДИФ}}}{I_{\text{НОМ}}} \geq 4. \quad (10)$$

2. По условию отстройки от максимального тока небаланса при внешнем КЗ:

$$\frac{I_{\text{ДИФ}}}{I_{\text{НОМ}}} \geq K_{\text{отс}} K_{\text{нб}} I_{\text{кзвнешних}}. \quad (11)$$

где  $K_{\text{отс}} = 1,2$  - коэффициент отстройки;

$K_{\text{нб}}$  - отношение амплитуды первой гармоники тока небаланса к приведенной амплитуде периодической составляющей тока внешнего КЗ. При использовании со всех сторон защищаемого трансформатора ТТ с вторичным номинальным током 5А следует принимать  $K_{\text{нб}} = 0,7$ . Если со стороны ВН используется ТТ с вторичным номинальным током 1А, то следует принимать  $K_{\text{нб}} = 1,0$ :

$I_{\text{кзвнешних}}$  - отношение внешнего расчетного тока КЗ к номинальному току трансформатора.

## Описание лабораторной установки

Лабораторная работа выполняется на учебном лабораторном стенде № 3. Подача напряжения на стенд производится кнопкой **SB1** «ПУСК» (зеленой), снятие напряжения - кнопкой **SB2** «СТОП» (красной), размещенных на блоке УЗО (рис. 5).

**Объектом исследования** является релейная микропроцессорная защита системы сборных шин двухтрансформаторной подстанции.

В лабораторной работе используется следующее оборудование:

**Двухтрансформаторная подстанция (ТП).** Управление режимом работы двухтрансформаторной подстанции осуществляется с помощью 6 контакторов, имитирующих работу выключателей, которые в свою очередь могут управляться либо вручную с помощью ключей **Q1 - Q6** либо дистанционно. В режиме дистанционного управления все ключи **Q1 - Q6** должны находиться в положении «Откл.» (рис. 6).

Оборудована реле напряжения, установленными на выводах вторичных обмоток трансформаторов для контроля. Сигналы от реле напряжения поступают через блок сбора данных в компьютер для последующей обработки.

В один из трансформаторов включена цепь, имитирующая витковое замыкание в обмотке. Величина сопротивления, подключаемого к выводам одной из обмоток, может регулироваться в диапазоне от 10 Ом до 110 Ом. Замыкание аварийной цепи производится с помощью кнопки **SB1**.

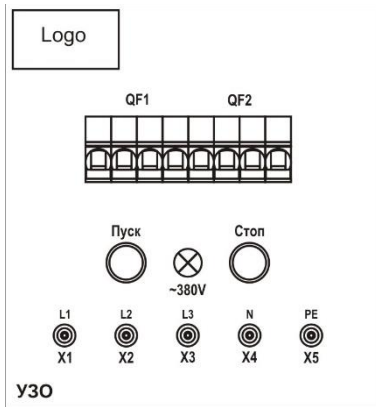


Рис. 5. Блок УЗО

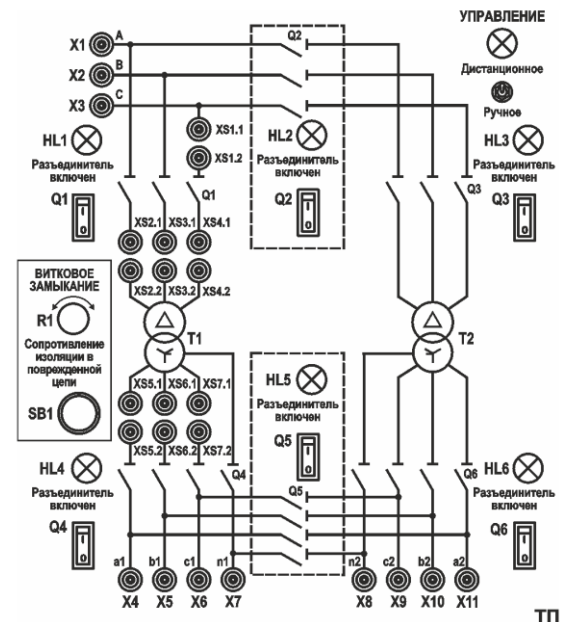


Рис. 6. Блок ТП

**Сборная система шин (ШС2).** Сборная система шин предназначена для присоединения нагрузок к источникам электрической энергии. Присоединение нагрузки осуществляется с помощью автоматического выключателя, который в свою очередь может подключаться к секции шин и нагрузке с помощью управляемых разъединителей. Управление разъединителями может быть как ручным так и дистанционным. Каждый выключатель оборудован независимым расцепителем, подключенным к источнику питания. Клеммы расцепителя выведены на лицевую панель. Также на лицевую панель выведены клеммы дистанционно управляемого контакта, и контакты сигнализации состояния выключателей. Вид мнемосхемы приведен на рис. 7.

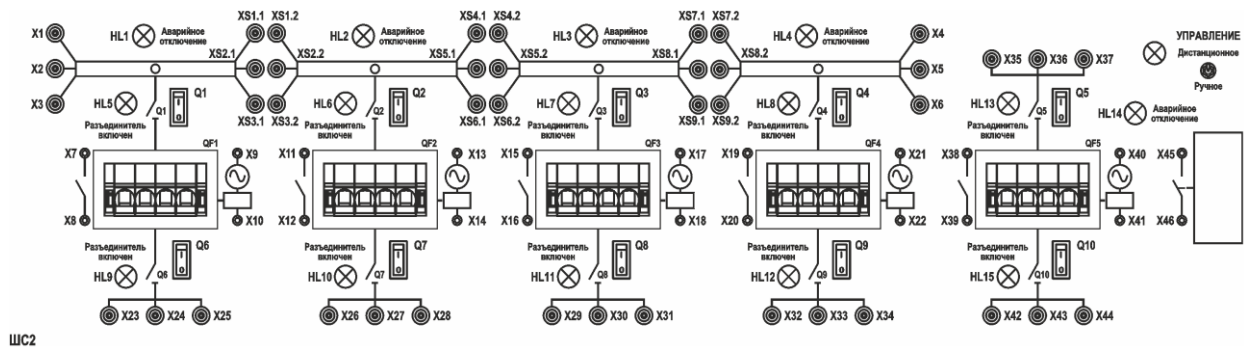
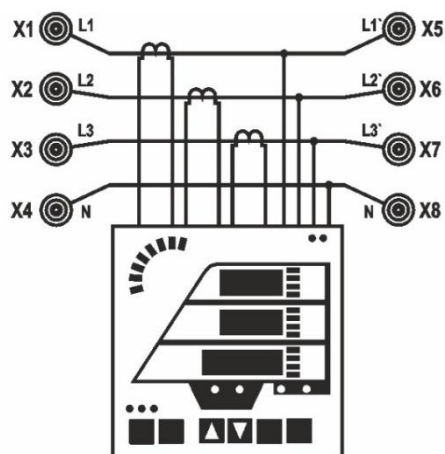


Рис. 7. Блок ШС2

**Трехфазный измерительный комплект (ИП1.2).** Для измерения электрических величин используется встроенный в стенд трехфазный измерительный прибор. Вид мнемосхемы прибора приведен на рис. 8.



ИП1.2

Рис. 8. Блок ИП1.2

**3-х фазная регулируемая RL-нагрузка (НТ2).** В качестве нагрузки трансформатора используется трехфазный нагрузочный реостат, схема которого приведена на рис. 9. Изменение сопротивления фаз осуществляется ступенчато поворотной рукояткой **L** и **R**.

**Регистрирующий амперметр (ИП 2.1).** Для измерения мгновенных значений тока, а также для подачи синхронизирующего релейного сигнала в цепи управления используется встроенный в стенд регистрирующий амперметр (рис. 10). Блок выполняет следующие функции:

- измерение мгновенных значений тока в трех независимых каналах измерения в диапазоне  $0 \pm 2$  А с регистрацией измерений в виде графиков;
- измерение мгновенных значений тока в диапазоне  $0 \pm 20$  А с регистрацией измерений в виде графиков.

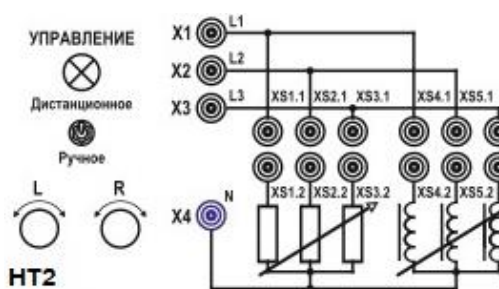
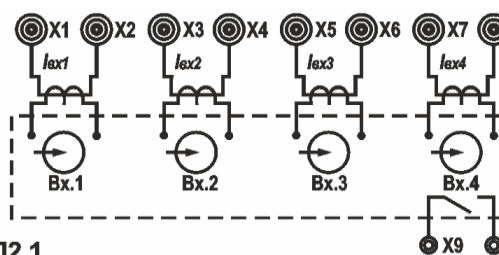


Рис. 9. Блок НТ2



ИП2.1

Рис. 10. Блок ИП2.1

**Блок микропроцессорной защиты Сириус-Т (РЗ4.1).** На коммутационную панель блока выведены клеммы для подключения проводников контролируемой сети, а также клеммы, предназначенные для подключения расцепителей выключателей и линий связи с другими модулями микропроцессорных защит на рис. 11. Блок оборудован трансформаторами тока с коэффициентом трансформации  $1/5$  А.

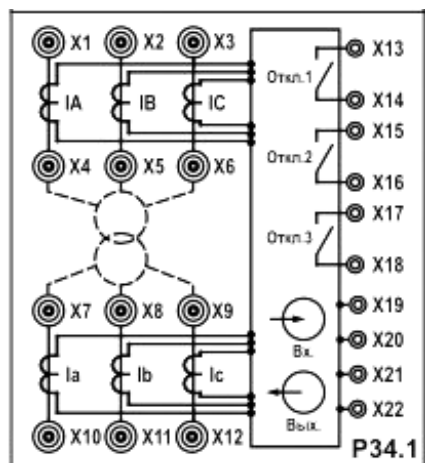
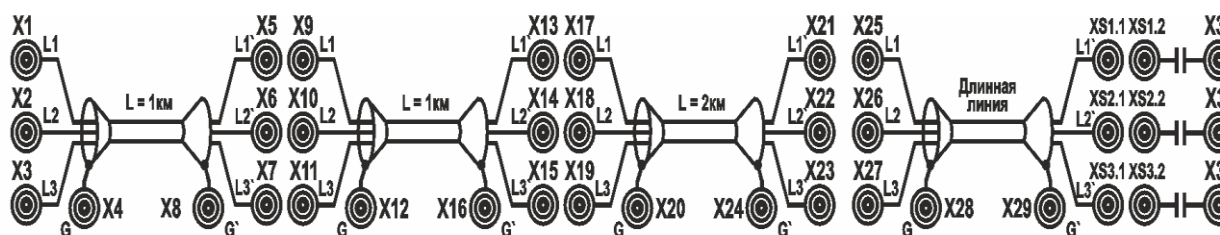


Рис. 11. Блок P34.1

**Кабельная линия (ЛК2).** В качестве системы передачи электроэнергии от трансформаторной подстанции используется блок кабельных линий, схема которого приведена на рис. 12. Блок предназначен для имитации кабельной линии электропередачи длиной 1 и 2 км.



**ЛК2**

Рис. 12. Блок ЛК2

Каждый участок линии моделируется П-образной цепью, содержащей продольные активные сопротивления и индуктивности, а также поперечно включенные емкости. Схема участка линии приведена на рис. 30.13.

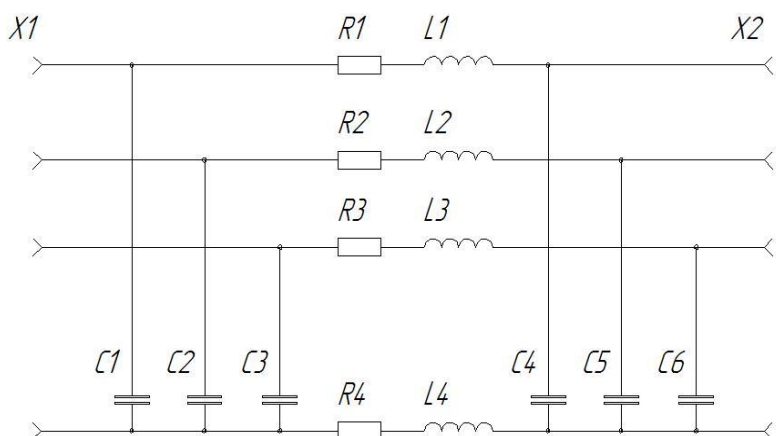


Рис. 13.

### Программа работы

5. Расчет уставок дифференциальной защиты трансформатора.
6. Настройка дифференциальной защиты трансформатора в блоке микропроцессорной защиты **Сирус-Т**.

7. Формулирование выводов о проделанной работе.

### Ход работы

## 2. Расчет уставок дифференциальной защиты трансформатора.

86. Работа выполняется студентами только локально в лаборатории, в ручном режиме переключатели режима управления всех используемых блоков перевести в положение «ручное», при использовании компьютера для управления переключателями – положение «дистанционное».
87. Собрать схему 1.
88. Проверить состояние аппаратов защиты стенда 3 **QF1** и **QF2** на блоке **УЗО**, **QF1**, **QF2** на блоке **ШС2**. Указанные аппараты должны быть включены.
- 89. ПРОВЕРКА СХЕМЫ ПРЕПОДАВАТЕЛЕМ (ЛАБОРАНТОМ).**
90. Подать питание на собранную схему нажав кнопку «Пуск» на блоке **УЗО** стенда № 3.
91. Подготовить схему к проведению экспериментов.
  - Блок **ТП** – переключатели **Q1** и **Q4** перевести в положение 1.
  - Блок **ШС2** – переключатели **Q1**, **Q2**, **Q6**, **Q7** перевести в положение 1.
  - Блок **НТ2** – переключатели **R** и **L** выставить в положение (15).

### Ход эксперимента:

1. По показаниям блока **ИП 1.2** записать таблицу 1, нажатием левой клавишей мыши кнопки «Записать» на экране монитора. Снять показания первичных токов трансформатора. На лицевой панели блока Сириус-Т кнопками ←, ↑, ↓, →, (ввод), (выход), осуществляется перемещение и изменение уставок. Зайти в главное меню (кнопка «ввод» – «контроль») и записать с блока **Сириус-Т** показания токов трансформатора и их углов в таблицу 1. Отключить питание стенда кнопкой «СТОП» блока **УЗО**.

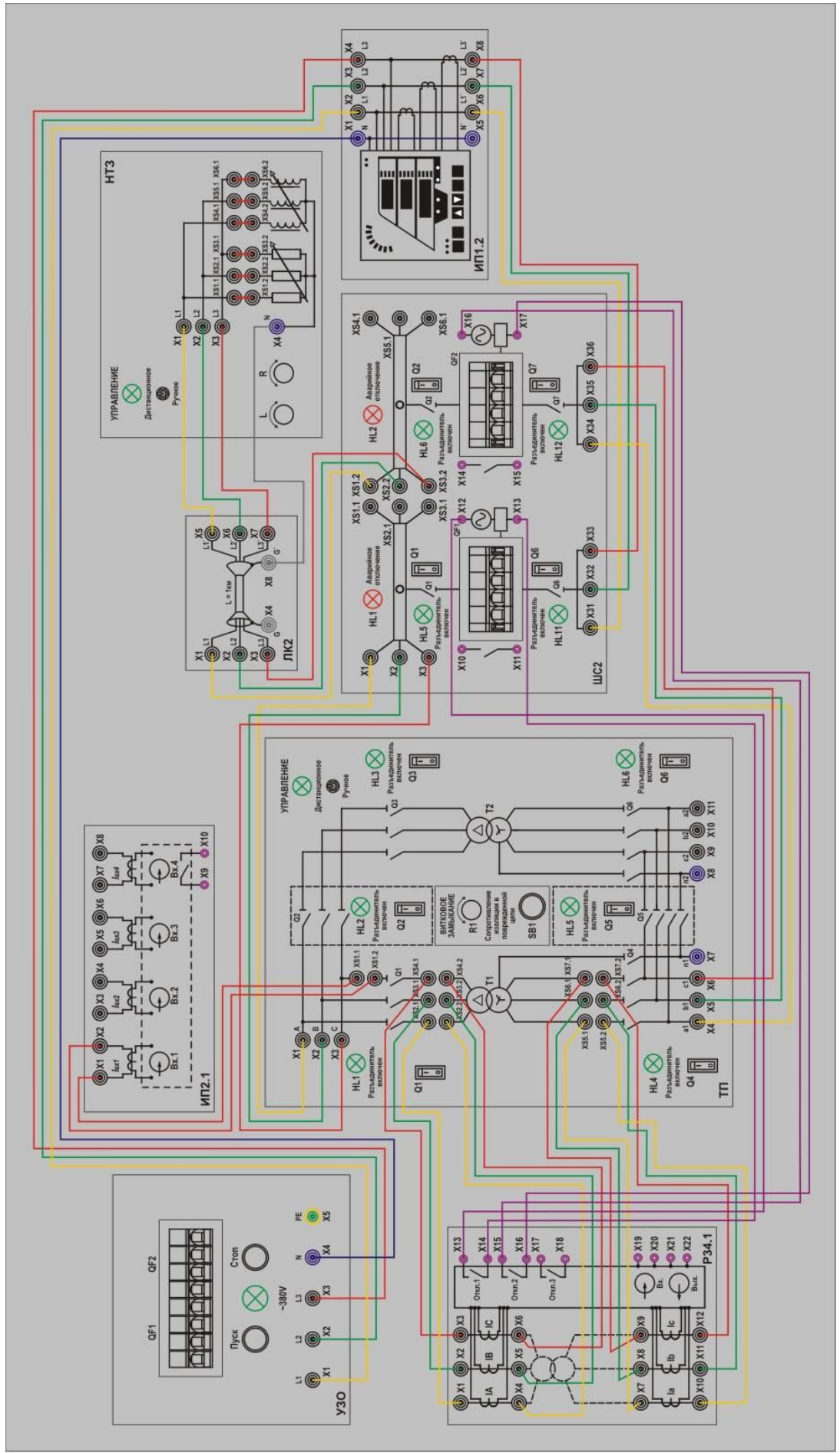


Схема 1

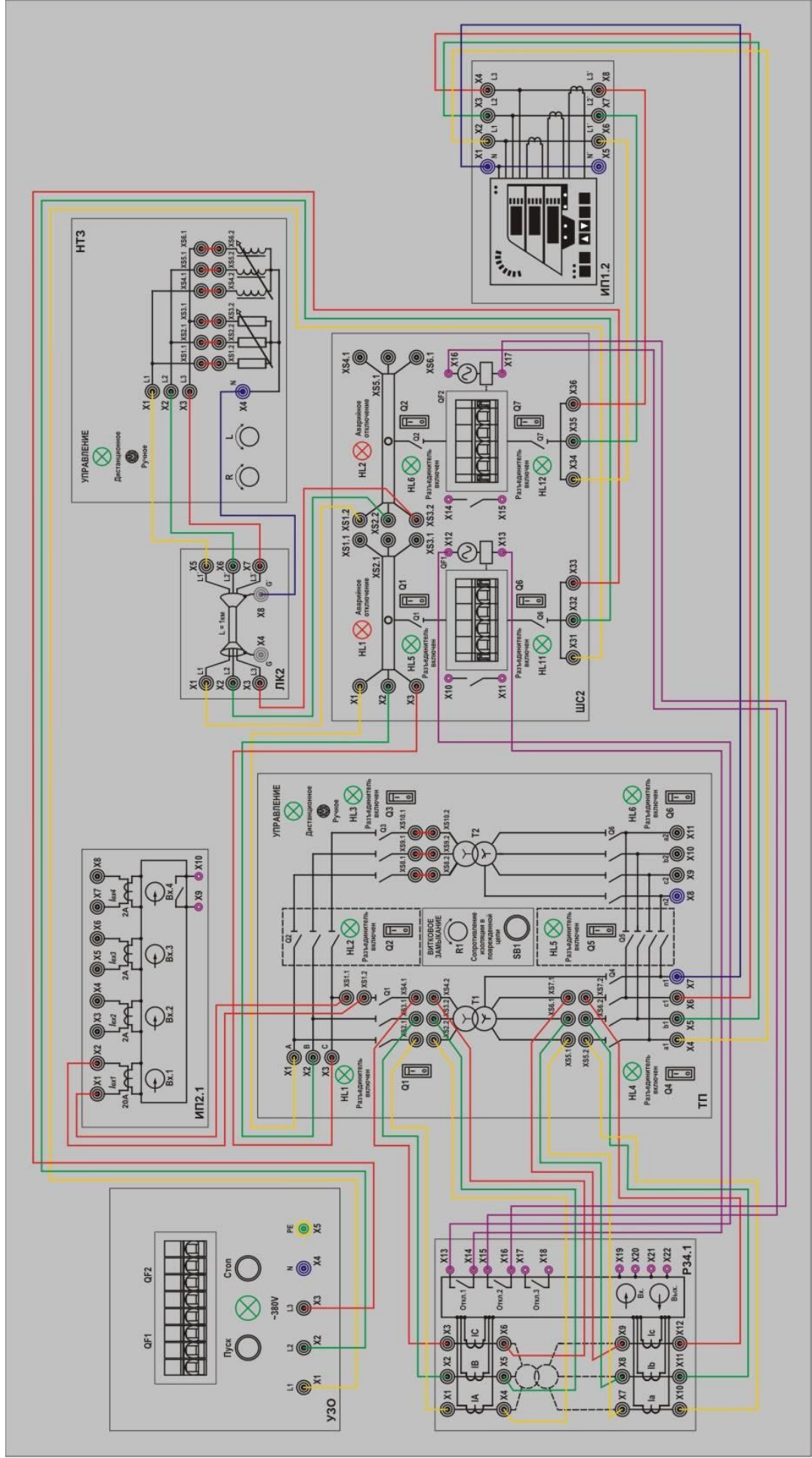


Схема 2

2. Собрать схему 2, подать питание на стенд кнопкой «Пуск» блока УЗО, повторно подготовить схему к экспериментам. Записать показания вторичных токов трансформатора с блока ИП 1.2 в таблицу 1, нажатием левой клавишей мыши кнопки «Записать» на экране монитора.
3. Ток срабатывания дифференциальной отсечки выбирается по двум условиям: По условию отстройки от броска тока намагничивания (10):

$$\frac{I_{диф}}{I_{НОМ}} \geq 4. \quad (12)$$

По условию отстройки от максимального тока небаланса при внешнем КЗ (11):

$$\frac{I_{диф}}{I_{НОМ}} \geq K_{отс} K_{нб} I_{кзвнешних} \quad (13)$$

где  $K_{отс} = 1,2$  - коэффициент отстройки;

$K_{нб}$  - отношение амплитуды первой гармоники тока небаланса к приведенной амплитуде периодической составляющей тока внешнего КЗ. При использовании со всех сторон защищаемого трансформатора ТТ с вторичным номинальным током 5А следует принимать  $K_{нб} = 0,7$ ;

$I_{кзвнешних}$  - отношение внешнего расчетного тока КЗ к номинальному току трансформатора, в предыдущих работах трехфазный ток КЗ на линии 1 км примерно составлял 4 А.

Таблица 1

| Фаза | ИП 1.2      |             | Сириус-Т    |                   |             |                   |
|------|-------------|-------------|-------------|-------------------|-------------|-------------------|
|      | $I_{ВН}, А$ | $I_{НН}, А$ | $I_{ВН}, А$ | $\varphi, ^\circ$ | $I_{НН}, А$ | $\varphi, ^\circ$ |
| А    |             |             |             |                   |             |                   |
| В    |             |             |             |                   |             |                   |
| С    |             |             |             |                   |             |                   |

## 2. Настройка дифференциальной защиты трансформатора (ДЗТ) в блоке микропроцессорной защиты Сириус-Т.

- 2.1. Запрограммировать блок Сириус-Т. Активировать функцию ДЗТ-1.
- 2.2. Для изменения параметров блока Сириус-Т необходимо ввести пароль - последние четыре цифры заводского номера. Номер можно узнать, войдя в меню «контроль» - «информация об устройстве».
- 2.3. Войти в главное меню – «ввод» – «уставки» – «набор 1» – «общие ДЗТ». Необходимо занести показания базисных токов для отстройки ДЗТ и номер схемы соединения цифровых ТТ. Базисные токи – номинальные токи трансформатора с учетом коэффициента трансформации ТТ. Группа ТТ ВН и НН - группа сборки цифровых ТТ на стороне ВН и НН, подбираются с учетом группы защищаемого трансформатора и групп измерительных ТТ по таблицам, указанным в паспорте на устройство. Группа сборки цифровых ТТ на стороне ВН – 0, стороне НН – 0.



- 2.4. Выйти в меню «набор 1» – «ДЗТ-1», активировать функцию и установить значение уставки «Идиф/Ибаз», в случае получения расчетного значения меньше возможной уставки, установить минимальное доступное значение. Время срабатывания установить – 0 сек.
- 2.5. Выйти в меню «контроль». По показаниям блока Сириус-Т записать данные в таблицу 2, нажатием левой клавишей мыши кнопки «Записать» на экране монитора, до момента возникновения межвиткового КЗ трансформатора. Выйти на панель дежурного измерения нажать кнопку «выход». На блоке ТП резистор **R1** выкрутить в крайнее правое положение, что соответствует наибольшему значению тока межвиткового замыкания. Имитировать межвитковое КЗ, нажав на блоке ТП кнопку **SB1**. Сигнализация **HL5, HL6** блока **ШС2** информирует о срабатывании защиты.
- 2.6. При верной отстройке произойдет пуск **ДЗТ-1** и отключение потребителя. На дисплее блока **Сириус-Т** появится запись о срабатывании, проанализировать полученные данные при КЗ и записать показания в таблицу 2 для каждой фазы, нажатием левой клавишей мыши кнопки «Записать» на экране монитора.
- 2.7. Произвести квитирование блока **Сириус-Т** нажав на кнопку «сброс», автомат **QF2** блока **ШС2** при срабатывании вернуть в исходное положение.
- 2.8. Переключатели **R** и **L** блока **НТ2** выставить в нулевое положение.
- 2.9. По окончании проведения лабораторной работы вернуть в исходное положение все задействованные переключатели. Отключить питание стенда кнопкой «Стоп» блока **УЗО**.

Таблица 2

| Фаза                  | Сириус-Т    |                   |             |                   |               |           |                    |
|-----------------------|-------------|-------------------|-------------|-------------------|---------------|-----------|--------------------|
|                       | $I_{вн}, А$ | $\varphi, ^\circ$ | $I_{нн}, А$ | $\varphi, ^\circ$ | $I_{ннпп}, А$ | $I_{диф}$ | $I_{диф}/ I_{баз}$ |
| До межвиткового КЗ    |             |                   |             |                   |               |           |                    |
| A                     |             |                   |             |                   |               |           |                    |
| B                     |             |                   |             |                   |               |           |                    |
| C                     |             |                   |             |                   |               |           |                    |
| После межвиткового КЗ |             |                   |             |                   |               |           |                    |
| A                     |             |                   |             |                   |               |           |                    |
| B                     |             |                   |             |                   |               |           |                    |
| C                     |             |                   |             |                   |               |           |                    |

### 3. Сделайте выводы по проделанной работе.