



ЧАСТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

**ИНСТИТУТ ПОВЫШЕНИЯ КВАЛИФИКАЦИИ СПЕЦИАЛИСТОВ  
РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И АВТОМАТИКИ**

А.В. Булычев

**Токовые защиты  
от междофазных коротких замыканий**

Чебоксары 2020

УДК 621.316.925

ББК 31.27-05

Б-90

**Булычев А.В.**

**Б90** Токовые защиты от междуфазных коротких замыканий. – Чебоксары: ИПК РЗА, 2020. – 36 с.

Рассмотрены основы теории и расчета токовых защит от междуфазных коротких замыканий применительно к сетям класса 6-35 кВ. Приведено описание лабораторного стенда для изучения токовых защит, построенных на базе терминалов релейной защиты типа «Бреслер-0107.200». Показана методика и программа лабораторной работы по изучению практических аспектов этих защит.

Материал предназначен для специалистов в области электроэнергетики, обучающихся на курсах повышения квалификации, а также, для студентов и магистрантов электроэнергетических специальностей вузов.

УДК 621.316.925

ББК 31.27-05

ISBN 978-5-6042431-2-1

© ИПК РЗА, 2020

© А.В. Булычев, 2020

|                                                                                                |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Оглавление                                                                                     |    |
| ВВЕДЕНИЕ .....                                                                                 | 4  |
| 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ТОКОВЫХ ЗАЩИТАХ ЛИНИЙ<br>ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ .....                             | 5  |
| 1.1. Токковые отсечки .....                                                                    | 6  |
| 1.2. Максимальные токовые защиты .....                                                         | 12 |
| <b>1.3. Трехступенчатые токовые защиты</b> .....                                               | 14 |
| 2. УСТРОЙСТВО СТЕНДА И ИНСТРУКЦИИ ПО РАБОТЕ .....                                              | 18 |
| <b>2.1. Лабораторный стенд</b> .....                                                           | 18 |
| <b>2.1.1. Устройство стенда</b> .....                                                          | 18 |
| <b>2.1.2. Устройство терминала защиты</b> .....                                                | 20 |
| 2.1.3. Внешние элементы терминала .....                                                        | 25 |
| <b>2.2. Инструкции по работе</b> .....                                                         | 30 |
| 2.2.1. Внешний осмотр и изучение стенда .....                                                  | 30 |
| <b>2.2.3. Измерение тока по осциллограммам</b> .....                                           | 33 |
| 2.2.4. Ввод параметров срабатывания .....                                                      | 38 |
| 2.2.5. Выбор зависимой время-токовой характеристики<br>срабатывания МТЗ-3 .....                | 42 |
| 3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ .....                                                             | 47 |
| 3.1. Подготовка к работе .....                                                                 | 47 |
| 3.2. Определение (измерение) исходных данных для выбора<br>параметров срабатывания защит ..... | 47 |
| 3.3. Определение параметров срабатывания защит .....                                           | 48 |
| 3.4. Ввод параметров срабатывания защит в терминалы защиты .....                               | 49 |
| 3.5. Проверка срабатывания защит .....                                                         | 49 |
| 3.6. Построение диаграммы работы защит «время срабатывания –<br>удаленность КЗ» .....          | 49 |
| 3.7. Построение карты селективности .....                                                      | 50 |
| Список литературы .....                                                                        | 51 |

## ВВЕДЕНИЕ

Электрические системы, в соответствии с их назначением, большую часть времени обеспечивают потребителей качественной электрической энергией. Но какими бы надежными не были эти системы, в них неизбежно возникают повреждения и ненормальные режимы, которые, в свою очередь, могут приводить к возникновению аварий [1].

При возникновении повреждения или нежелательного режима управление электрическими системами должно осуществляться по особым алгоритмам. Это необходимо, чтобы и в экстремальных условиях все же обеспечить нормальное электроснабжение хотя бы части потребителей, предотвратить развитие аварии и снизить возможные объемы разрушения поврежденного электрооборудования. Для реализации этих особых алгоритмов управления используются средства релейной защиты [1 - 3].

Релейная защита – это огромная управляющая система, представляющая собой совокупность согласованно и целенаправленно действующих взаимосвязанных локальных автоматических устройств. Она охватывает, практически, все основные элементы электроэнергетической системы (крупные и мелкие) от генераторов, вырабатывающих электрическую энергию, до приемников электрической энергии, преобразующих ее в другие виды энергии.

Независимо от того, какие принципы положены в основу отдельных устройств релейной защиты для выявления повреждений, система в целом должна безошибочно находить именно поврежденные элементы и отделять их от исправной части электроэнергетической системы.

Расчеты, выполняемые с целью определения конкретных значений параметров срабатывания устройств релейной защиты, имеют в связи с этим высочайшую практическую значимость и создают методическую базу согласования устройств релейной защиты в единой системе.

Рассмотренные примеры построения системы релейной защиты электрической сети 10 – 35 кВ, реализованные в лабораторном стенде, надеемся, позволят получить ясное и целостное представление о работе токовых защит.

## 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ТОКОВЫХ ЗАЩИТАХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

Подавляющее большинство повреждений в электрических системах сопровождаются повышением тока, поэтому именно ток целесообразно использовать в качестве входного сигнала для средств релейной защиты.

Защиты, которые оценивают состояние защищаемого объекта по току, называют токовыми. Токовые защиты начинают действовать при выходе значения контролируемого тока за установленные границы.

Действующее значение тока в месте установки защиты, при котором защита начинает действовать, называют током срабатывания защиты. Действующее значение тока в месте установки защиты, при котором защита возвращается в исходное состояние, называют током возврата защиты. Отношение тока возврата защиты к току её срабатывания – есть коэффициент возврата:

$$k_B = I_{B3}/I_{C3}.$$

Здесь  $I_{B3}$  и  $I_{C3}$  – ток возврата и ток срабатывания защиты, соответственно.

Измерительные элементы защиты – токовые реле, или терминалы токовых защит включают в защищаемую сеть за трансформаторами тока (ТТ), т.е. во вторичные цепи ТТ. В этом случае ток срабатывания реле или чувствительного элемента терминала защиты  $I_{CP}$  и первичный ток срабатывания защиты  $I_{C3}$  связаны следующим соотношением:

$$I_{CP} = \frac{k_{CX}}{k_{TT}} \cdot I_{C3},$$

где  $k_{TT}$  – коэффициент трансформации трансформатора тока;  $k_{CX}$  – коэффициент схемы, показывающий во сколько раз ток в обмотке реле больше, чем ток во вторичной обмотке ТТ.

Значение коэффициента схемы определяется схемой соединения вторичных обмоток ТТ и катушек реле. В современных системах релейной защиты с цифровыми терминалами защиты, как правило, вторичные цепи собирают по схеме «звезда с нулевым выводом»/»звезда». При этом фазный вторичный ток ТТ и входной ток терминала защиты равны между собой. Поэтому  $k_{CX} = 1$ .

Токовые защиты должны устанавливаться на защищаемом участке электрической сети со стороны источника питания. Если

электрическая сеть включает в себя несколько источников, то защиты на контролируемом объекте следует устанавливать со стороны каждого источника питания, а сами защиты в этом случае должны обладать направленностью действия.

Наиболее распространены защиты, которые реагируют на повышение тока. Поэтому они являются защитами максимального типа.

Существует два вида токовых защит максимального типа, различающиеся способами обеспечения селективной работы: токовые отсечки и максимальные токовые защиты с выдержкой времени срабатывания.

### 1.1. Токовые отсечки

Токовые отсечки – это быстродействующие токовые защиты максимального типа, селективность действия которых обеспечивается за счёт ограничения (отсекания) зоны действия (за счет выбора тока срабатывания).

В сетях с односторонним питанием токовые отсечки устанавливают в начале защищаемого участка со стороны источника питания.

Поскольку токи КЗ зависят от удалённости места повреждения от источника питания, то можно подобрать такое значение тока срабатывания отсечки, при котором в зону её действия будет входить только контролируемый объект. Так, ток срабатывания токовой отсечки ТО1 (рис. 2.1) должен быть больше максимально возможного тока КЗ на смежном присоединении, т.е. на линии W2. Поскольку ток КЗ при повреждении в начале линии W2 практически равен току КЗ при повреждении в конце линии W1, то для выбора тока срабатывания обычно рассчитывают ток КЗ при повреждении на шине подстанции ПС2, т.е. при КЗ в граничной между линиями расчетной точке К1.

Условие выбора тока срабатывания отсечки в этом случае может быть записано так:

$$I_{\text{СТО1}} > I_{\text{К MAX (K1)}}^{(3)},$$

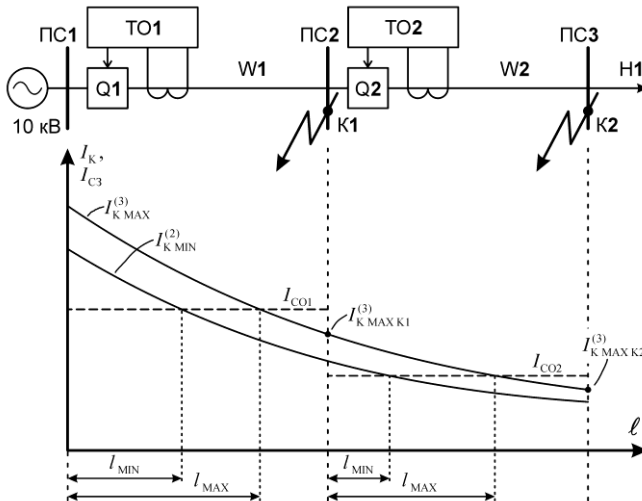
где  $I_{\text{К MAX (K1)}}^{(3)}$  – действующее значение тока КЗ в максимальном режиме работы энергосистемы при повреждении в точке К1.

При расчётах параметров срабатывания быстродействующих защит (к которым относятся и токовые отсечки) необходимо учитывать возможное влияние апериодической составляющей тока КЗ [2]. С этой целью в условие выбора включают коэффициент запаса,

значение которого зависит от типа чувствительного элемента и защищаемого объекта:

$$I_{CTOI} = k_3 \cdot I_{K \text{ MAX}}^{(3)}(K1) \cdot$$

Возможные значения коэффициента запаса приведены в табл. 1.1 [3].



**Рис. 1.1. Схема сети с токовыми отсечками и диаграмма токов КЗ**

Причем, большее значение коэффициента запаса выбирают при использовании выключателей старых типов (например, маломасляных типа ВМП-10), а меньшие значения – современных выключателей с более точными приводами (например, вакуумные и элегазовые).

Таблица 2.1

Значения коэффициента запаса  
для селективных токовых отсечек мгновенного действия

| Тип чувствительного элемента в защите | Защищаемый объект |               |
|---------------------------------------|-------------------|---------------|
|                                       | линия             | трансформатор |
| РТ-40                                 | 1,2÷1,3           | 1,3÷1,4       |
| РТ-80                                 | 1,5÷1,6           | 1,6           |
| Цифровой терминал                     | 1.1 ÷ 1,2         | 1.2 ÷ 1,3     |

Токовые отсечки без выдержки времени, установленные для защиты трансформаторов или линий, от которых далее питаются силовые трансформаторы, необходимо дополнительно отстраивать от бросков тока намагничивания, возникающих при включении (восстановлении питания) указанных трансформаторов.

Зона действия токовой отсечки линии определяется графически по точке пересечения кривой изменения тока КЗ и горизонтальной линии, соответствующей току срабатывания отсечки. В зависимости от вида КЗ и режима работы энергосистемы положение правой границы зоны действия отсечки может изменяться, а ширина зоны действия может принимать значения от  $I_{\text{MIN}}$  до  $I_{\text{MAX}}$  (см. рис. 1.1). В пределах минимальной зоны действия  $I_{\text{MIN}}$  отсечка выявляет любые короткие замыкания в любом режиме работы энергосистемы. За пределами максимальной зоны  $I_{\text{MAX}}$ , напротив, никакое КЗ отсечкой выявлено не будет. В этой связи зоной действия селективной отсечки считают минимальную зону  $I_{\text{MIN}}$ .

Эффективность отсечек оценивается по коэффициенту чувствительности или по длине зоны действия [1]:

- для отсечек, устанавливаемых на трансформаторах, чувствительность определяется по току самого «лёгкого» КЗ (с учетом режима нейтрали) в месте установки отсечки в минимальном режиме работы энергосистемы (при этом должно выполняться условие:  $k_{\text{ч}} \geq 2$ );
- при расчёте коэффициента чувствительности отсечек, устанавливаемых на блоках «линия-трансформатор», используют минимально возможный ток при КЗ в конце линии (т.е. на границе между линией и трансформатором):  $k_{\text{ч}} \geq 1,5$ ;
- токовая отсечка, устанавливаемая на линии, формально считается эффективной, если зона её действия охватывает не менее  $(15 \div 20) \%$  от общей протяжённости линии [1]; однако, в современных условиях, когда защиты реализуются в едином терминале, быстродействующие отсечки можно считать эффективными при любой положительной зоне действия, что обеспечивает быстрое отключение близких к месту установки защиты КЗ.

Селективная токовая отсечка мгновенного действия контролирует лишь часть объекта, поэтому использование ее в качестве единственной защиты на данном объекте недопустимо. В связи с этим часто возникает необходимость увеличения зоны действия (повышения чувствительности) отсечек.

В частности, к защитах головных участков, подключенным к сборным шинам электростанций, как правило, предъявляются повышенные требования по быстродействию. Это связано с

необходимостью обеспечения устойчивости параллельной работы синхронных генераторов отдельных электростанций и энергосистем в целом. Применение токовых отсечек оказывается не всегда эффективным, так как из-за увеличенных сечений проводников головных линий и небольшой протяженности этих линий токи КЗ при повреждениях в начале и в конце линии отличаются незначительно. В результате обеспечить приемлемую зону действия и селективность отсечки часто не удаётся.

В таких ситуациях могут быть использованы неселективные токовые отсечки.

**Неселективные отсечки** – это токовые защиты максимального типа, которые могут действовать при повреждениях не только в пределах контролируемого объекта, на котором они установлены, но и за его пределами. Селективность действия неселективных отсечек обеспечивается за счёт введения выдержки времени или применения дополнительных технических средств.

С целью расширения зоны, контролируемой токовой отсечкой, можно допустить возможность её действия при коротких замыканиях на смежной следующей линии (рис. 1.2). Селективное действие неселективной отсечки в этом случае можно обеспечить за счёт ограничения зоны её действия пределами зоны действия быстродействующей отсечки (ТО2), установленной на следующей линии и небольшой выдержкой времени срабатывания.

Так, установка токовой отсечки мгновенного действия ТО1 на линию W1, очевидно, неэффективна ввиду очень ограниченной зоны действия ( $I_{(ТО1)}$ ). Для защиты линии W1 в этом случае целесообразно использовать неселективную отсечку НО1, которую и по току, и по времени следует отстроить от токовой отсечки ТО2 линии W2:

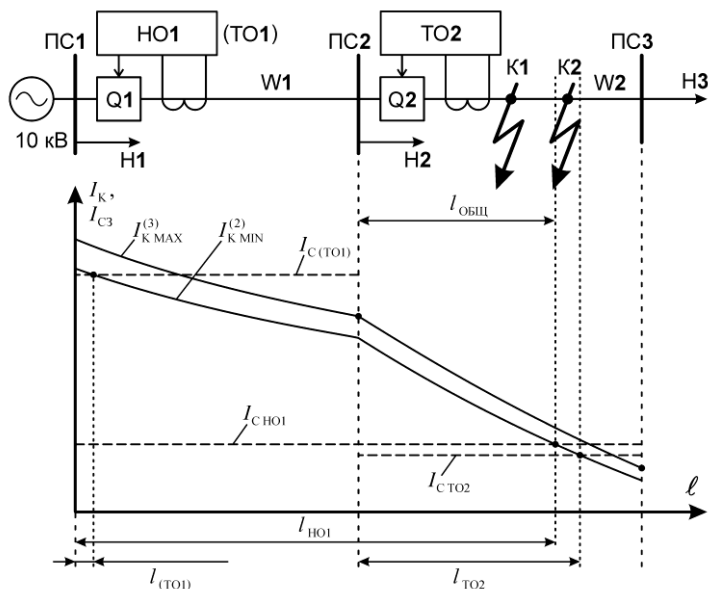
$$I_{C\text{ НО1}} > I_{C\text{ ТО2}} \text{ или } I_{C\text{ НО1}} = k_3 \cdot I_{C\text{ ТО2}};$$

$$t_{C\text{ НО1}} = t_{C\text{ ТО2}} + \Delta t;$$

где  $I_{C\text{ ТО2}}$  – ток срабатывания токовой отсечки ТО2 линии W2;  $k_3$  – коэффициент запаса неселективной отсечки;  $t_{C\text{ НО1}}$  – время срабатывания токовой отсечки ТО2 (в расчетах можно принимать  $t_{C\text{ НО1}} = 0,1 \text{ с.}$ );  $\Delta t$  – ступень селективности,  $\Delta t = 0,2 \div 0,5 \text{ с.}$

Выдержка времени неселективной отсечки обычно составляет  $0,3 \div 0,8 \text{ с}$  [3]. За это время апериодическая составляющая тока КЗ практически полностью затухает, поэтому значения коэффициента запаса принимают в пределах  $1,1 \div 1,2$  независимо от типа чувствительного элемента [3]. Кроме того, по этой же причине (наличие выдержки времени) нет необходимости в дополнительной отстройке от бросков тока намагничивания силовых трансформаторов.

Возможно выполнение неселективной отсечки другого вида с сохранением высокого быстродействия. Когда по условиям обеспечения устойчивой работы энергосистемы, или обеспечения термической устойчивости защищаемого оборудования требуется мгновенное отключение всех, или части поврежденных элементов применяется неселективная токовая отсечка без выдержки времени [3].



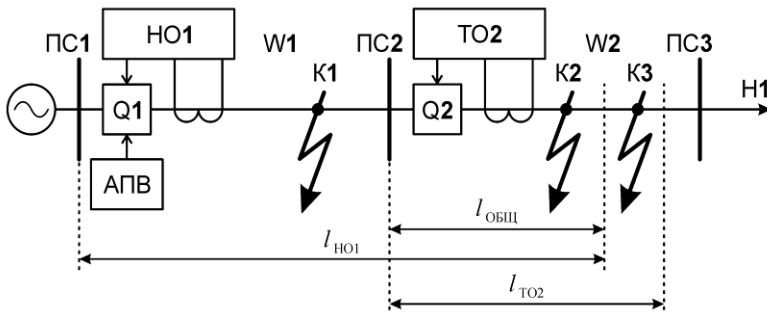
**Рис. 1.2. Схема сети с неселективной токовой отсечкой и диаграмма токов КЗ**

Исправить неселективное действие токовой отсечки при КЗ на смежных присоединениях можно с помощью устройств автоматического повторного включения (АПВ).

Устройство АПВ (рис. 2.6) устанавливают на линии W1, и оно действует на выключатель Q1.

Если короткое замыкание произошло на линии W2 в общей зоне  $l_{\text{ОБЩ}}$  действия селективной отсечки ТО2 и неселективной отсечки НО1 (точка K2), обе отсечки сработают одновременно. В результате обе линии W1 и W2 оказываются отключенными своими выключателями. После отключения линии W1 устройство АПВ, обеспечив определённую выдержку времени, подает сигнал на повторное включение выключателя Q1. Линия W1 вновь включается и питание

подстанции ПС2 восстанавливается. Повреждённая линия W2 остаётся в отключенном состоянии.



**Рис. 1.3. Схема сети с неселективной токовой отсечкой и АПВ**

Если в исходном состоянии электрической сети короткое замыкание произошло вне общей зоны действия защит  $l_{\text{ОБЩ}}$ , но в зоне действия  $l_{\text{ТО2}}$  токовой отсечки ТО2 (точка K3), то под действием этой защиты будет быстро отключена только линия W2. Неселективная отсечка НО1 действовать не должна, и линия W1 остаётся во включенном состоянии.

При коротком замыкании на линии W1 (точка K1) под действием неселективной отсечки НО1 будет отключена линия W1. Устройство АПВ повторно включит линию и, если короткое замыкание оказалось устойчивым (не ликвидировалось за время действия АПВ), то неселективная отсечка НО1 вновь отключит линию W1. Количество включений линии W1 (обычно одно) ограничивается устройством АПВ. Если короткое замыкание неустойчивое и ликвидируется за время действия АПВ, то повторное включение будет успешным и питание линии W1 будет восстановлено.

Ток срабатывания неселективной токовой отсечки выбирается по условию её надёжного срабатывания в тех зонах, где трёхфазные КЗ вызывают снижение напряжения до значений, при которых нарушается устойчивая работа энергосистемы [3]:

$$I_{\text{CHOI}} \leq \frac{U_{\text{C MIN}}}{\sqrt{3} k_3 (1 + k_0) z_{\text{C MIN}}},$$

где  $U_{\text{C MIN}}$  – междуфазное напряжение питающей энергосистемы в минимальном режиме её работы (обычно оно составляет 0,9÷0,95 номинального);  $z_{\text{C MIN}}$  – сопротивление энергосистемы в минимальном режиме работы до места установки неселективной отсечки;  $k_3$  –

коэффициент запаса,  $k_3 = 1.1 \div 1.2$ ;  $k_0$  – коэффициент, учитывающий допустимое снижение напряжения при трёхфазных КЗ; в приближённых расчётах для обеспечения динамической устойчивости синхронных генераторов,  $k_0 \geq 1.5$ , синхронных электродвигателей  $k_0 \geq 1.0$ .

Кроме этого, необходимо, чтобы при коротких замыканиях в общей зоне действия отсек на линии W2 собственное время срабатывания отсечки TO2 не превышало время срабатывания неселективной отсечки HO1.

## 1.2. Максимальные токовые защиты

**Максимальные токовые защиты (МТЗ)** – это токовые защиты максимального типа, селективность действия которых обеспечивается выбором различных выдержек времени срабатывания.

Как правило, МТЗ используются для защиты электрических сетей с односторонним питанием. Они устанавливаются в начале каждого контролируемого объекта со стороны источника питания (рис. 1.4).

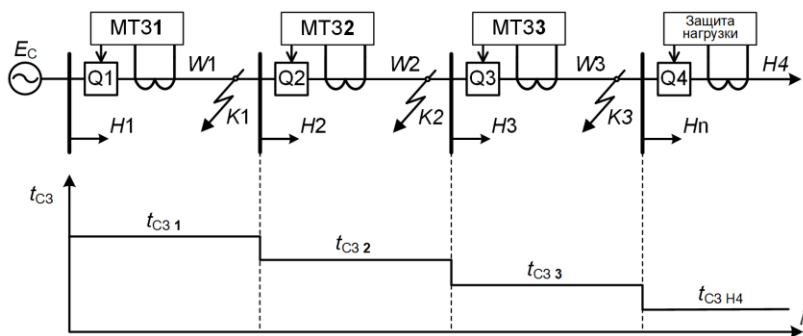


Рис. 1.4. Схема сети с МТЗ и временная диаграмма

Выдержки времени срабатывания защит должны нарастать по мере приближения к источнику питания:  $t_{сз1} > t_{сз2} > t_{сз3} > t_{сзH4}$ .

При коротком замыкании на линии W3 (например, в точке K3) токи в линиях от источника до точки K3 увеличатся и все три обтекаемые током K3 защиты МТЗ1÷МТЗ3 могут начать действовать. Среди перечисленных защит МТЗ3 имеет наименьшую выдержку времени и поэтому срабатывает первой, отключая только

повреждённую линию W3. Остальные защиты вернутся в исходное состояние, так и не успев сработать.

При коротком замыкании на линии W2 (в точке K2) токи K3 чувствуют защиты MT31 и MT32. Из них меньшую выдержку времени имеет MT32. Именно она должна сработать первой и отключить повреждённую линию W2.

При коротком замыкании на линии W1 должна сработать защита MT31.

Ток срабатывания MT3 выбирают исходя из следующих условий.

Во-первых, ток срабатывания должен быть больше максимального рабочего тока, чтобы защита не действовала при нормальной работе системы:  $I_{C3\text{ MAX}} > I_{\text{РАБ MAX}}$ .

Во-вторых, ток возврата защиты должен быть больше максимально возможного тока самозапуска в послеаварийном режиме работы системы, чтобы защита возвращалась в исходное положение после селективного отключения повреждённого оборудования другой защитой в условиях самозапуска оставшихся в работе нагрузок:

$$I_{B3} > I_{C3П}.$$

Так, при K3 в начале линии W2 (рис. 1.5) токи в местах установки защит MT31 и MT32 увеличиваются, токовые реле этих защит срабатывают и реле времени начинают отсчёт установленных на них выдержек времени. Одновременно снижается напряжение на шинах подстанции ПС2 и двигатели М, также питающиеся от шин этой подстанции, затормаживаются. Часть из них при этом отключается, другая часть в соответствии с технологическими требованиями остаётся подключенной к сети. После отключения линии W2 защитой MT32 начинается процесс самозапуска этих двигателей, при котором ток в месте установки MT31 равен току самозапуска электродвигателей. В этих условиях необходимо, чтобы MT31 всё же вернулась в исходное состояние, прервав отсчёт времени.

Учитывая, что ток срабатывания защиты и ток её возврата связаны коэффициентом возврата ( $k_B = I_{B3}/I_{C3}$ ), а также используя коэффициент запаса  $k_3$ , второе условие можно переписать в виде:

$$I_{C3} = \frac{k_3 \cdot I_{C3П}}{k_B}.$$

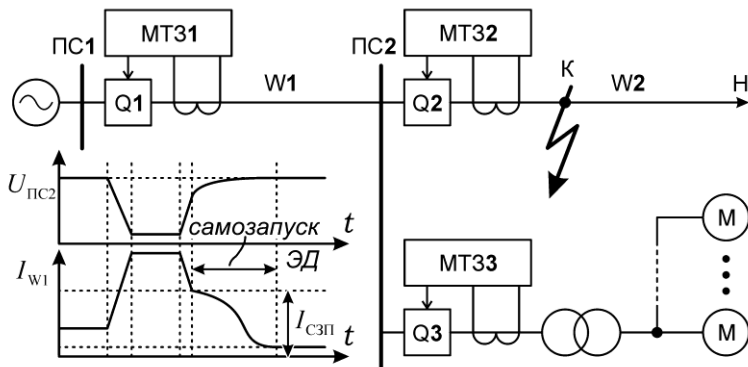
Учитывая также, что MT3 – это защита, имеющая выдержку времени срабатывания,  $k_3 = 1.1 \div 1.2$  для защит на основе цифровых терминалов;  $k_B = 0.8 \div 0.85$  [4].

Если максимальное значение тока самозапуска неизвестно, то его можно определить приближённо на основании коэффициента

самозапуска, показывающего, во сколько раз ток самозапуска больше максимального рабочего тока. Тогда:

$$I_{CЗ} = \frac{k_3 \cdot k_{CЗП}}{k_B} \cdot I_{РАБ\ MAX}$$

Здесь  $I_{CЗП}$  и  $k_{CЗП}$  - ток самозапуска электродвигателей в месте установки защиты и коэффициент самозапуска, соответственно.



**Рис. 1.5. Схема сети с МТЗ и диаграммы напряжений и токов при КЗ на смежной линии**

Выдержки времени срабатывания МТЗ при каскадном соединении линий должны возрастать по мере приближения к источнику питания (см. рис. 1.4):

$$t_{CЗ3} = t_{CЗ4} + \Delta t; t_{CЗ2} = t_{CЗ3} + \Delta t; t_{CЗ1} = t_{CЗ2} + \Delta t,$$

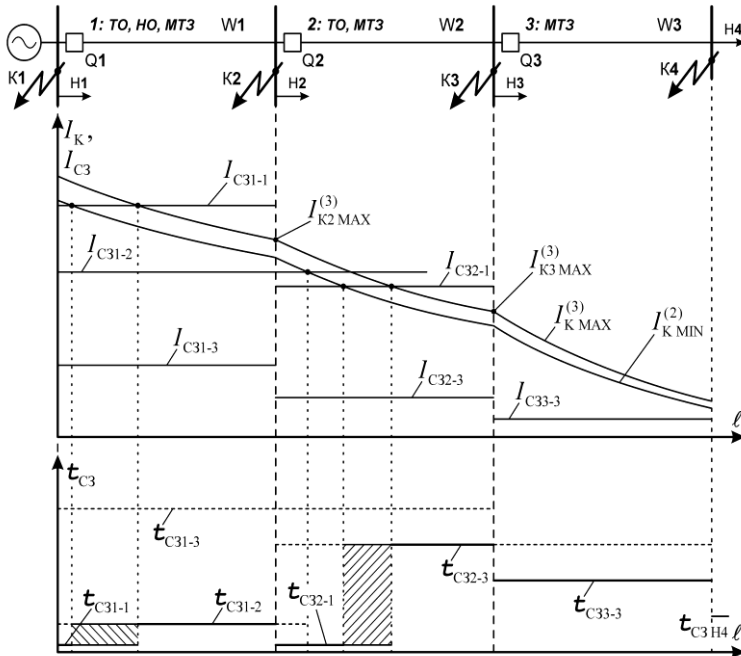
где  $t_{CЗ4}$  – время срабатывания собственной защиты нагрузки;  $\Delta t$  – ступень селективности, при использовании цифровых терминалов защиты и вакуумных выключателей в первичных сетях  $\Delta t = 0,2 \div 0,5$  с..

### 1.3. Трехступенчатые токовые защиты

Для того чтобы обеспечить защиту электрических сетей при повреждениях часто недостаточно использовать токовую защиту одного вида. Так, токовые отсечки обеспечивают быстрое выявление повреждений, но имеют значительные зоны нечувствительности в конце контролируемого объекта. Максимальные токовые защиты имеют достаточно протяженные зоны действия, но их приходится выполнять с большими выдержками времени срабатывания, особенно на головных участках сетей, т.е. там, где требуется высокое

быстродействие. Для того чтобы максимально полно использовать преимущества защит разных типов, их объединяют в один комплекс.

Наибольшее распространение получили трехступенчатые токовые защиты (рис. 1.6). В качестве первой ступени используют селективные токовые отсечки мгновенного действия. В качестве второй – используют токовые отсечки с выдержкой времени срабатывания (неселективные токовые отсечки). В качестве третьей ступени – МТЗ.



**Рис. 1.6. Схема сети с трехступенчатыми токовыми защитами и соответствующие диаграммы токов КЗ и времени срабатывания**

Трехступенчатые токовые защиты, реализованные на электрохимической элементной базе, могут быть неполными. Например, на головной линии W1 (см. рис. 1.6), как правило, устанавливаются все ступени защиты. На смежных с головным участком сети линиях (W2) чаще используют только две ступени: первую и третью. На удаленных от источника питания объектах сети (линия W3) обычно достаточно только третьей ступени защиты – МТЗ. В современных условиях трехступенчатые защиты, реализуемые

цифровыми терминалами защиты, выполняют полными на всех элементах сети.

Расчёты целесообразно вести начиная с наиболее удалённой от источника питания линии (W3). Первичный ток срабатывания третьей ступени защиты 3 определяется так:

$$I_{C33-3} = \frac{k_3}{k_B} I_{C3АП W3} = \frac{k_3 k_{C3АП W3}}{k_B} I_{РАБ MAX W3},$$

где  $I_{C3АП W3}$  и  $I_{РАБ MAX W3}$  – значение тока самозапуска в послеаварийном режиме и максимальное значение рабочего тока в линии W3 в нормальном режиме, соответственно;  $k_3$  – коэффициент запаса (для защит, имеющих выдержку времени);  $k_B$  – коэффициент возврата;  $k_{C3АП W3}$  – коэффициент самозапуска для линии W3.

Выдержка времени срабатывания третьей ступени защиты 3:

$$t_{C33-3} = t_{C3H4} + \Delta t,$$

где  $t_{C3H4}$  – максимальное время срабатывания защит нагрузок, с которыми третья ступень защиты 3 может иметь общую зону действия;  $\Delta t$  – ступень селективности.

Параметры срабатывания МТЗ второй и первой линий определяют аналогично:

$$I_{C32-3} = \frac{k_3}{k_B} I_{C3АП W2} = \frac{k_3 k_{C3АП W2}}{k_B} I_{РАБ MAX W2},$$

$$t_{C32-3} = \max(t_{C33-3}, t_{C3H3}) + \Delta t,$$

$$I_{C31-3} = \frac{k_3}{k_B} I_{C3АП W1} = \frac{k_3 k_{C3АП W1}}{k_B} I_{РАБ MAX W1},$$

$$t_{C31-3} = \max(t_{C32-3}, t_{C3H2}) + \Delta t.$$

Первичный ток срабатывания первой ступени (отсечки мгновенного действия) второй линии:

$$I_{C32-1} = k_3 \cdot I_{K3 MAX}^{(3)},$$

где  $k_3$  – коэффициент запаса (для защит мгновенного действия);  $I_{K3 MAX}^{(3)}$  – максимальное значение тока в месте установки защиты при трехфазном КЗ в конце второй линии.

Аналогично определяют ток срабатывания первой ступени защиты 1:

$$I_{C31-1} = k_3 \cdot I_{K2 MAX}^{(3)}.$$

Вторая ступень защиты 1 должна быть отстроена от тока срабатывания первой ступени защиты, установленной на следующей (второй) линии:

$$I_{C31-2} = k_{31-2} \cdot I_{C32-1} = k_{31-2} \cdot k_{32-1} \cdot I_{K3\text{ MAX}}^{(3)},$$

где  $k_{31-2}$  и  $k_{32-1}$  – коэффициенты запаса по току второй ступени защиты первой линии и первой ступени второй линии соответственно; в общем случае значения этих коэффициентов различны, так как первая ступень защиты не имеет выдержки времени, а вторая – с целью обеспечения селективности действия – имеет.

По времени вторая ступень защиты 1 также должна быть отстроена от времени действия быстродействующих защит отходящих присоединений (вторая линия), с которыми имеет общую зону действия:

$$t_{C31-2} = t_{C32-1} + \Delta t,$$

где  $t_{C32-1}$  – время срабатывания первой ступени защиты 2.

Чувствительность первых ступеней защит оценивают по величине зоны действия. Зона действия, как правило, определяется графически.

Чувствительность вторых ступеней можно оценивать по величине зоны действия или по значению коэффициента чувствительности. Если зона действия второй ступени полностью охватывает контролируемую линию и коэффициент чувствительности больше 1,25, то третья ступень защиты этой линии выполняет только резервные функции. Если же зона действия второй ступени меньше длины контролируемой линии, или коэффициент чувствительности меньше допустимого, то третья ступень защиты линии является основной.

Чувствительность третьих ступеней защит оценивают по коэффициенту чувствительности, как у отдельных МТЗ.

## 2. УСТРОЙСТВО СТЕНДА И ИНСТРУКЦИИ ПО РАБОТЕ

### 2.1. Лабораторный стенд

#### 2.1.1. Устройство стенда

Основой стенда является физическая модель электрической сети класса 6-35 кВ, содержащей источник питания и две каскадно соединенные линии электропередачи с установленными на них терминалами релейной защиты (рис. 2.1). Модель выполнена трехфазной, с соблюдением критериев подобия при номинальном напряжении модели 12 В. Масштабы токов выбраны таким образом, чтобы аналоговые сигналы модели измерялись непосредственно терминалом релейной защиты. Поэтому, первичные и вторичные сигналы, применительно к терминалу, равны, и коэффициенты трансформации ТТ и ТН принимаются равными 1. Нормальные режимы и процессы короткого замыкания моделируются на частоте 50 Гц в реальном масштабе времени.

На передней панели стенда изображена мнемосхема защищаемой сети.

Источник питания на мнемосхеме сети показан графическим изображением энергосистемы  $E_C$  и трансформатора питающей подстанции.

Каждая линия подключена к шинам своей питающей подстанции через выключатель. Вблизи изображений выключателей на панели стенда размещены светодиодные индикаторы состояния выключателя. Индикатор красного цвета – выключатель во включенном состоянии; индикатор зеленого цвета – выключатель в отключенном состоянии.

Точки, в которых производится измерение и контроль аналоговых сигналов (токов и напряжений) терминалами релейной защиты, отмечены соответствующими графическими обозначениями трансформаторов тока ТА-1, ТА-2 и напряжения TV-1 и TV-2, соответственно.

Точки КЗ показаны соответствующими графическими обозначениями и пронумерованы К1-К9. Номера точек КЗ дополнены светодиодными индикаторами, обозначающими выбранную точку КЗ. Точка К1 – на шинах питающей подстанции. Точки К2-К3 – на головной линии W1. Точка К4 – на шинах второй подстанции. Точки К5-К6 – на второй линии W2. Точка К7 – на шинах потребительской подстанции. Точки К8 и К9, соответственно, на вводах высшего и низшего напряжения потребительской трансформаторной подстанции.

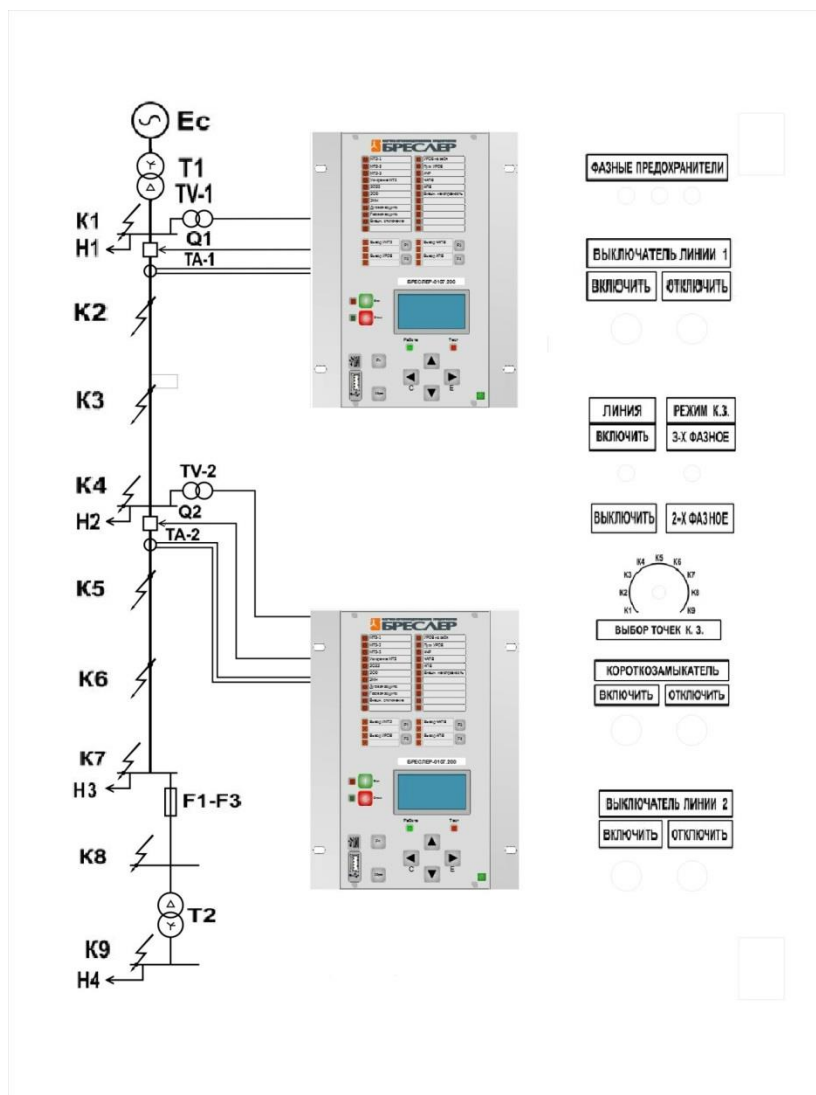


Рис. 2.1. Передняя панель стенда

Трансформатор потребительской понижающей подстанции подключен к питающей сети через предохранители F1, F2, F3. В модели применены реальные плавкие предохранители, устанавливаемые в специальной арматуре (под надписью «фазные предохранители»). Светодиодные индикаторы, размещенные вблизи предохранителей, предназначены для сигнализации о перегорании соответствующего предохранителя.

Управление выключателями линий осуществляется кнопками под соответствующими надписями «выключатель линии 1» и «выключатель линии 2», соответственно, «включить» и «отключить».

Точки КЗ выбираются с помощью переключателя «выбор точек КЗ». Индикатор на мнемосхеме указывает выбранную точку КЗ.

Тумблер «режим КЗ» предназначен для выбора вида КЗ. В выбранной переключателем «выбор точек КЗ» точке КЗ производится трехфазное или двухфазное КЗ в зависимости от положения тумблера «3-х фазное» или «2-х фазное», соответственно.

Короткие замыкания в модели сети осуществляются короткозамыкателем. Кнопки управления короткозамыкателем «включить» и «отключить» расположены под надписью «короткозамыкатель».

Тумблер «линия» предназначен для включения (положение «включить») и отключения (положение «отключить») питания модели сети в стенде.

На боковой поверхности стенда установлен выключатель общего питания стенда.

Стенд подключается к питающей сети переменного тока 220 В через шнур питания, вилку и розетку.

### ***2.1.2. Устройство терминала защиты***

Терминал релейной защиты – это цифровое устройство управления отдельным элементом электрической системы, предназначенное для быстрого выявления повреждения и отделения поврежденного элемента от исправной части электрической системы [4].

Входными сигналами терминала защиты являются токи и напряжения, измеряемые в месте подключения защиты к силовым цепям контролируемого объекта. Датчиками этих сигналов для терминала, как правило, являются трансформаторы тока и напряжения, а исполнительным элементом – выключатель, с помощью которого

контролируемый объект отключается от сети при внутреннем повреждении.

Терминал релейной защиты по внутренней структуре представляет собой цифровое измерительно-управляющее устройство. Он состоит из ряда функциональных блоков, объединенных через кросс-плату (рис. 2.2).

В типовом исполнении терминал содержит следующие блоки:

- блок процессора;
- блок входных аналоговых преобразователей;
- блок питания с выходными реле и дискретными выходами;
- комбинированный блок дискретных сигналов;
- блок входов дискретных сигналов.

Функционирование терминала происходит по программе, записанной в энергонезависимую память программ. В этой памяти также хранятся параметры срабатывания пусковых органов и конфигурация устройства.

Статическое ОЗУ предназначено для хранения данных, участвующих в алгоритме (программе) функционирования.

Часы реального времени позволяют фиксировать текущее время события. Предусмотрена возможность работы часов при отключенном питании от резервного источника питания, построенного на базе ионистора.

Порт USB типа «А» предназначен для выгрузки информации из терминала, обновления резидентного программного обеспечения и конфигурирования терминала через USB-flash накопитель.

Порт USB типа «mini-B» предназначен для подключения терминала к компьютеру с помощью программы BrsUSB для диагностики, конфигурирования и обновления резидентного программного обеспечения терминала, скачивания осциллограмм, аппаратного лога, журнала событий, а также мониторинга в реальном времени состояния входных, выходных и логических сигналов.

Последовательные каналы связи с портами RS-422/485 предназначены для связи терминала с компьютером или модемом. Скорость работы канала связи задается в диапазоне от 50 до 230400 бит/с.

Блок процессора управляет работой всех блоков терминала с помощью сигналов, передаваемых через общую шину (кросс-плату). По этой же шине передаются сигналы управления и производится питание электронной части всех блоков терминала, кроме питания обмоток реле дополнительных блоков дискретных выходов, к которым подводится внешнее питание.

В состав блока процессора входит устройство электронной памяти емкостью от 128 МБ, что позволяет хранить в нем

информацию в цифровом виде по всем осциллографируемым каналам. При отключении питания информация в электронной памяти сохраняется.

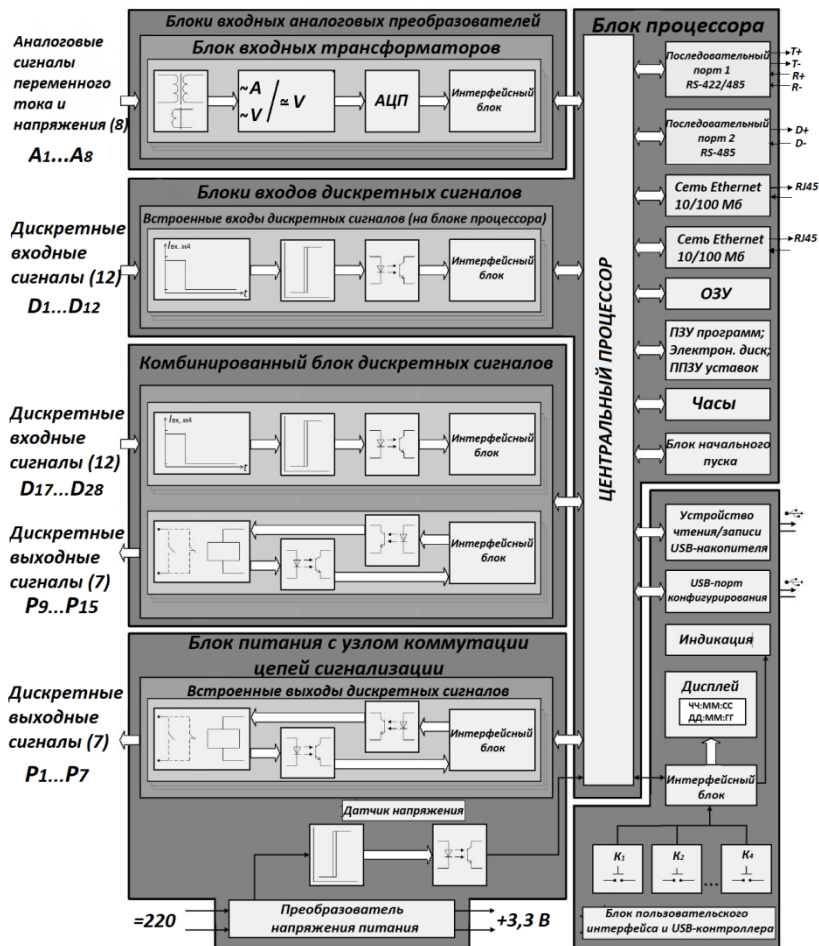


Рис. 2.2. Структурная схема терминала релейной защиты

На лицевой панели терминала размещена клавиатура управления и дисплей. Эти элементы предназначены для осуществления конфигурирования (например, изменение значений параметров

срабатывания) и просмотра состояния устройства (например, просмотр текущих значений токов и напряжений на аналоговых входах). Кроме этого, на лицевой части терминала расположены светодиодные индикаторы, с помощью которых обеспечивается отображение текущего состояния терминала (работа или неисправность), а также информации о срабатывании отдельных функций терминала.

В терминале реализуются программным путем все функции релейной защиты, предусмотренные нормативными документами применительно к линиям электропередачи с напряжением 6-35 кВ.

Базовой функцией терминала релейной защиты Бреслер-0107.200, предназначенного для установки на линиях электропередачи с напряжением 6-35 кВ, является трехступенчатая токовая защита. Первая ступень (селективная токовая отсечка) вводится в работу программной накладкой **«Работа МТЗ-1»**; вторая ступень (неселективная токовая отсечка с выдержкой времени) - программной накладкой **«Работа МТЗ-2»**; третья ступень (максимальная токовая защита) - программной накладкой **«Работа МТЗ-3»**.

Предусмотрен оперативный вывод любой из ступеней МТЗ функциональными клавишами **F1...F4** (назначение клавиш **F1...F4** определяется пользователем в программном комплексе TranSet).

Третья ступень может действовать на отключение или на сигнализацию. Ввод в действие 3 ступени МТЗ на отключение производится программной накладкой **«Откл. от МТЗ-3»**.

Первая и вторая ступени МТЗ имеют независимые выдержки времени. Третья ступень может быть выполнена с независимой или с зависимой выдержкой времени. Выбор вида характеристики осуществляется с помощью программного переключателя **«Хар-ка МТЗ-3»**.

Терминал содержит измерительные органы, контролирующие напряжение. На их основе реализуется защита минимального напряжения, пуск токовых защит по напряжению и блокировки по напряжению.

Защита минимального напряжения (ЗМН) выполнена с контролем действующего значения трех линейных напряжений. Ввод ЗМН осуществляется программной накладкой **«Работа ЗМН»**.

Предусмотрен оперативный вывод ЗМН функциональными клавишами **F1...F4** (если есть соответствующее назначение клавиш).

Пуск ЗМН осуществляется при снижении всех линейных напряжений **«U ЗМН»** и отсутствии сигнала о неисправности цепей напряжения. Работа ЗМН может быть заблокирована внешним дискретным сигналом **«Блокировка ЗМН»**.

Вместе с функциями защит в терминале реализована функция противоаварийного управления – автоматическое повторное включение (АПВ). Ввод в работу функции АПВ осуществляется программной накладкой **«Работа АПВ»**. Возможно однократное и двукратное действие АПВ. Ввод 2-го цикла АПВ осуществляется накладкой **«Работа АПВ2»**.

Предусмотрен оперативный вывод АПВ функциональными клавишами **F1...F4** (если есть соответствующее назначение клавиш).

Пуск АПВ осуществляется при отключении выключателя по сигналу релейной защиты. Параметры срабатывания **«Тср АПВ1»**, **«Тср АПВ2»** и готовности к срабатыванию **«Тготовн АПВ1»** и **«Тготовн АПВ2»** АПВ устанавливаются отдельно для каждого цикла.

Действие АПВ запрещается при появлении сигналов запрета или блокировки. Запреты вводятся соответствующими накладками. В терминале реализовано действие АПВ с контролем наличия напряжения на питающей линии секции шин (**КНН,ш**). Ввод контроля наличия напряжения при пуске АПВ производится соответствующей программной накладкой **«АПВ КНН,ш»**.

Основные параметры терминала защиты приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1.

| Наименование параметра                                                         | Значение параметра |
|--------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| Номинальный переменный ток $I_{ном}$ , А                                       | 1 или 5            |
| Номинальное фазное напряжение переменного тока $U_{ном}$ , В                   | 100/ $\sqrt{3}$    |
| Номинальное напряжение оперативного переменного/постоянного тока $U_{пит}$ , В | 110 или 220        |
| Номинальная частота, Гц                                                        | 50                 |

Оперативное питание терминала может осуществляться от сети постоянного оперативного тока или от сети переменного оперативного тока. Терминал не повреждается и не срабатывает ложно при подключении и (или) отключении источника питания. Терминал сохраняет работоспособность и заданные параметры после перерывов питания любой длительности с последующим восстановлением.

Перечень основных функций терминала релейной защиты:

1. Трехступенчатая токовая защита, которая может быть выполнена направленной и с пуском по напряжению прямой и обратной последовательности.
2. Двухступенчатая защита от однофазных замыканий на землю с функцией определения поврежденного фидера. Первая ступень этой

защиты может быть выполнена по напряжению, по току, по току и напряжению, по направлению мощности нулевой последовательности. Во второй ступени реализованы алгоритмы по току основной частоты и по току высших гармоник.

3. Защита от несимметричного режима (может быть выполнена как по току обратной последовательности, так и по коэффициенту несимметрии).

4. Защита минимального напряжения.

5. Дуговая защита (при наличии датчиков) с контролем пуска по току или напряжению.

6. Газовая защита (предусмотрены входы для сигнальной и отключающей ступеней);

7. Контроль исправности цепей напряжения;

8. Резервирование отказа выключателя (УРОВ), которое обеспечивает локальное действие «на себя» и на внешний «вышестоящий» (ближе к источнику питания) выключатель.

Перечень функций терминала в части противоаварийной автоматики:

1. Однократное или двукратное АПВ с возможностью контроля наличия напряжения на питающей секции шин.

2. Прием сигналов АЧР с возможностью внутреннего и внешнего пуска частотного АПВ (ЧАПВ).

Перечень функций терминала в части контроля и управления выключателем:

1. Местное и дистанционное управление выключателем.

2. Блокировка от многократных включений выключателя;

3. Контроль готовности привода;

4. Контроль исправности цепей управления;

5. Контроль исправности цепей включения и отключения выключателя;

6. Запрет на включение при отключении автомата ШП;

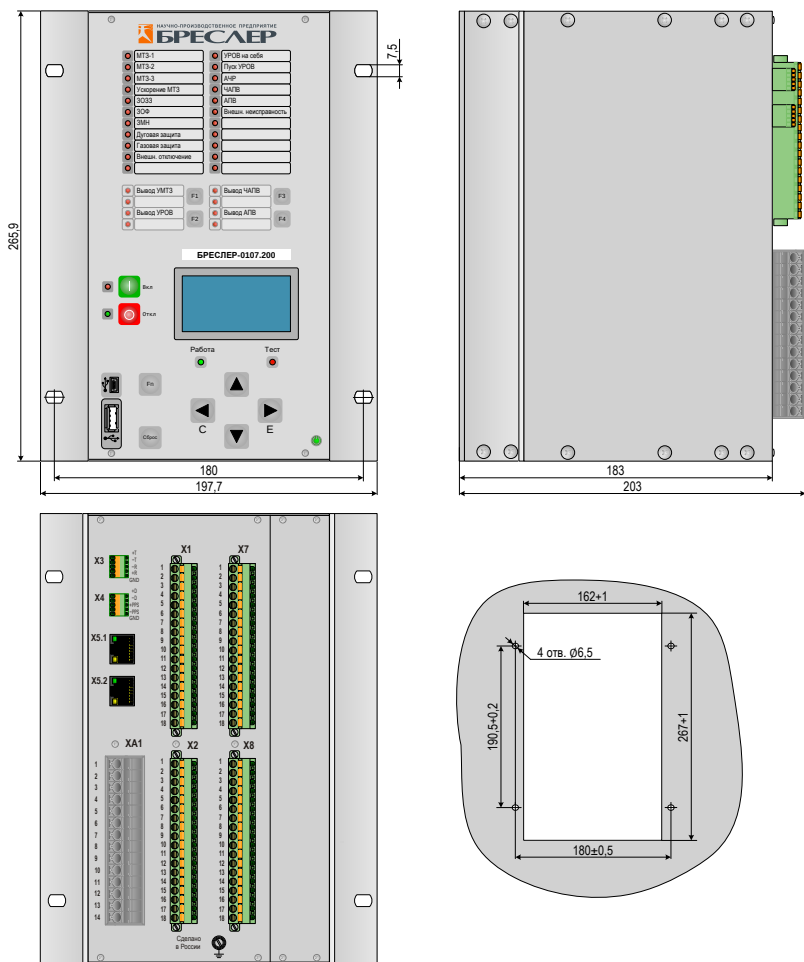
7. Защита электромагнитов включения/отключения от длительного тока.

### ***2.1.3. Внешние элементы терминала***

Внешний вид терминала «Бреслер-0107.200» в трех проекциях с установочными размерами показан на рис. 2.3, а лицевая панель с элементами индикации и управления – на рис. 2.4.

Входные измерительные цепи гальванически отделены от электронных цепей терминала и от других его входных цепей.

Внешние токовые цепи подключают к терминалу через специальные токовые клеммы XA1, расположенные на задней панели терминала.



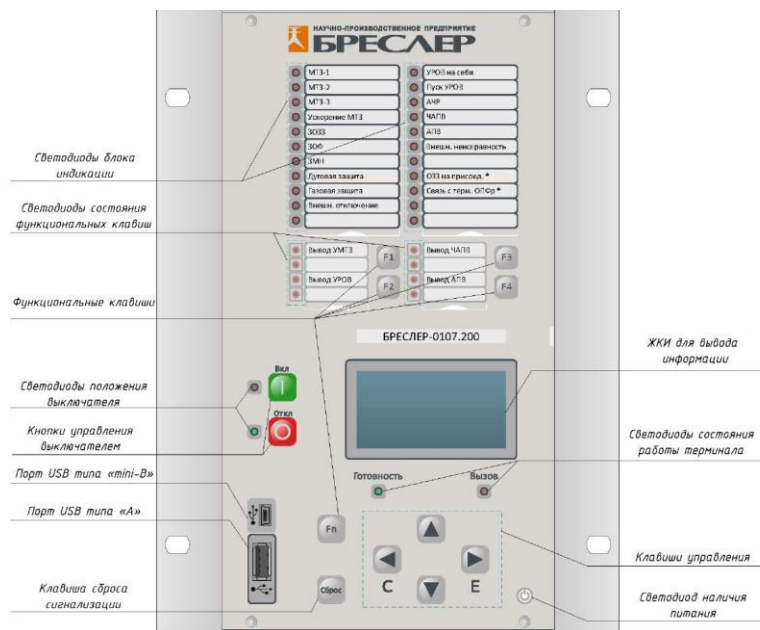
**Рис. 2.3. Внешний вид терминала с установочными размерами**

Номинальный ток токовых входов 5 А или 1 А. Терминалы, используемые в стенде, выполнены с номинальным входным током 1 А. Рабочий диапазон токов от 0,1 до 40 номинальных токов. Ток

аналоговые входы терминала без повреждений выдерживают 80-кратный номинальный ток (действующее значение) в течение 1 с.

Внешние цепи напряжения подключают к терминалу через разъем X1. Номинальное значение аналоговых входов переменного напряжения 100 В или 57,7 В. Рабочий диапазон измеряемого напряжения от 0,1 до 1,5 номинального. Входы выдерживают напряжение, превышающее номинальное, в 2,5 раза в течение 10 с.

Другие разъемы X2 – X8 предназначены для ввода в терминал дискретных сигналов.



**Рис. 2.4. Внешний вид лицевой панели терминала**

Терминал оснащен несколькими цифровыми портами связи RS-422 и RS-485 (разъемы X3-X4), двумя портами Ethernet (X5.1 и X5.2), размещенными на задней панели, двумя портами USB (на передней панели). Вместо последовательных портов связи RS-422 и RS-485 могут быть установлены многофункциональные порты типа Ethernet RJ45 с возможностью трансформации в оптические порты SC. Эти порты предназначены для связи с верхним уровнем АСУ ТП.

На лицевой панели терминала размещены (см. рис. 2.4):

- светодиодный индикатор наличия питания;
- клавиши управления «◀», «▶», «▲», «▼»;
- светодиоды блока индикации;
- жидкокристаллический индикатор (ЖКИ);
- кнопки управления выключателем и светодиодные индикаторы для отображения положения выключателя;
- порты USB типа «А» и типа «mini-B»;
- функциональные клавиши F1-F4, F<sub>N</sub> и светодиодные индикаторы состояния функциональных клавиш;
- светодиоды состояния терминала;
- клавиша сброса сигнализации.

Назначение индикаторов (светодиодов) блока индикации показано в таблице 2.2.

Таблица 2.2.

| Обозначение       | Номер светодиода | Расшифровка                                                    | Режим работы светодиода |
|-------------------|------------------|----------------------------------------------------------------|-------------------------|
| МТЗ-1             | 1                | Срабатывание первой ступени защиты                             | С фиксацией             |
| МТЗ-2             | 2                | Срабатывание второй ступени защиты                             | С фиксацией             |
| МТЗ-3             | 3                | Срабатывание или сигнализация третьей ступени МТЗ              | С фиксацией             |
| Ускорение МТЗ     | 4                | Срабатывание ускорения МТЗ                                     | С фиксацией             |
| ЗОЗЗ              | 5                | Срабатывание или сигнализация защиты от ОЗЗ                    | С фиксацией             |
| ЗОФ               | 6                | Срабатывание или сигнализация защиты от обрыва фаз             | С фиксацией             |
| ЗМН               | 7                | Срабатывание или сигнализация защиты минимального напряжения   | С фиксацией             |
| Дуговая защита    | 8                | Отключение от дуговой защиты                                   | С фиксацией             |
| Газовая защита    | 9                | Срабатывание отключающей или сигнальной ступени газовой защиты | С фиксацией             |
| Внешн. отключение | 10               | Внешнее отключение                                             | С фиксацией             |
|                   | 11               | Резерв                                                         |                         |
| Вывод УМТЗ        | 13               | Вывод ускорения МТЗ                                            | Без фиксации            |

|                         |    |                                                                                    |              |
|-------------------------|----|------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
|                         | 14 | Резерв                                                                             |              |
| Вывод УРОВ              | 15 | Вывод УРОВ                                                                         | Без фиксации |
|                         | 16 | резерв                                                                             |              |
| УРОВ на себя            | 17 | пуск УРОВ «на себя»                                                                | С фиксацией  |
| Пуск УРОВ               | 18 | Пуск УРОВ на<br>вышестоящий выключатель                                            | С фиксацией  |
| АЧР                     | 19 | Отключение от автоматики<br>частотной разгрузки                                    | С фиксацией  |
| ЧАПВ                    | 20 | Включение от частотного<br>АПВ                                                     | С фиксацией  |
| АПВ                     | 21 | Включение выключателя от<br>АПВ                                                    | С фиксацией  |
| Внешн.<br>неисправность | 22 | Наличие внешней<br>неисправности                                                   | С фиксацией  |
|                         | 23 | резерв                                                                             |              |
| ОЗЗ на<br>присоед.*     | 24 | Наличие ОЗЗ на<br>присоединении                                                    | С фиксацией  |
| Связь с терм.<br>ОПФр * | 25 | Связь с центральным<br>терминалом ОПФр                                             | Без фиксации |
|                         | 26 | Резерв                                                                             |              |
|                         | 27 | Резерв                                                                             |              |
| Вывод ЧАПВ              | 29 | Вывод ЧАПВ                                                                         | Без фиксации |
|                         | 30 | Резерв                                                                             |              |
| Вывод АПВ               | 31 | Вывод АПВ                                                                          | Без фиксации |
|                         | 32 | Резерв                                                                             |              |
| Готовность              | 33 | Сигнализирует о<br>нахождении устройства в<br>рабочем режиме (питание<br>включено) | Без фиксации |
| Вызов                   | 34 | Сигнализирует о внутренних<br>и внешних неисправностях                             | Без фиксации |
| Вкл                     | 36 | Включено                                                                           | Без фиксации |
| Откл                    | 39 | Отключено                                                                          | Без фиксации |

Оперативный сброс светодиодной сигнализации с фиксацией осуществляется при помощи дискретного сигнала «Сброс», с помощью клавиши «Сброс», или по команде из АСУ ТП.

Назначение клавиш управления:

1. Клавиши «◀» (влево) и «▶» (вправо) предназначены для ввода следующих команд:

- перемещение на уровень выше или ниже относительно текущего пункта меню;
- выбор варианта параметра в режиме редактирования;
- перемещение курсора в горизонтальном направлении в режиме редактирования параметров для смены активного символа (ввод чисел).

При длительном нажатии (более 1 с) клавиши «►» происходит подтверждение выбранного действия, а клавиши «◄» - отмена выбранного действия.

При кратковременном нажатии клавиши «◄» в дежурном режиме осуществляется быстрый переход в режим просмотра аналоговых сигналов, при длительном нажатии происходит сброс сигнализации.

При кратковременном нажатии на клавишу «►» в дежурном режиме осуществляется быстрый переход в режим просмотра дискретных сигналов, при длительном нажатии - переход в главное меню.

2. Клавиши «▲» (вверх) и «▼» (вниз) имеют следующие функции:

- передвижение по пунктам текущего меню (с сохранением уровня);
- выбор вариантов подтверждения в диалоговом окне;
- циклическое изменение активного знака в окне данных в режиме редактирования.

При кратковременном нажатии клавиши «▲» в дежурном режиме осуществляется быстрый переход в режим просмотра и редактирования параметров срабатывания.

При кратковременном нажатии на клавишу «▼» осуществляется быстрый переход из дежурного режима в режим просмотра записей осциллограмм.

## **2.2. Инструкции по работе**

### **2.2.1. Внешний осмотр и изучение стенда**

Внешний осмотр производится с целью изучения устройства стенда и способов работы со стендом. Поставленная цель достигается путем выполнения следующих мероприятий:

1. Произвести внешний осмотр стенда, убедиться в отсутствии механических повреждений корпуса стенда, лицевых панелей терминалов и элементов управления стендом, в наличии функциональных надписей и позиционных обозначений.

2. Изучить устройство стенда и входящих в состав стенда терминалов. Для этого можно использовать описание в п. 2.1.1 – 2.1.3 и руководство по эксплуатации терминала защиты Бреслер-0107.200 [4].

3. Изучить назначение и правила использования внешних элементов стенда: органов управления, средств отображения информации и индикации, портов связи с внешними устройствами [4].

### **2.2.2. Измерение тока в линии с помощью терминала «Бреслер-0107.200»**

Измерение максимальных рабочих токов и токов КЗ в линиях, необходимых для расчета параметров срабатывания защит, можно производить с помощью терминалов релейной защиты, установленных в лабораторном стенде, используя их как измерительные приборы в реальном времени.

Для этого предварительно создается нормальный режим с максимальным рабочим током в линиях W1 и W2. В этом режиме предохранители понижающего трансформатора должны быть исправны и выключатели линий должны находиться во включенном состоянии.

Терминал при включенном питании, как правило, находится в режиме ожидания, и его экран погашен. Каждый раз, если в течение 120 секунд не происходило каких-либо событий (возмущающих воздействий на входы) и клавиши терминала не нажимались, то пользовательский интерфейс терминала переходит в режим ожидания (дисплей гаснет). Вывод его из режима ожидания производится нажатием любой из клавиш. При этом на экране отобразится текущее время и дата.

Команды, которые необходимо осуществить для измерения тока, показаны в таблице 2.3.

Таблица 2.3.

| Описание команды                                                                                                              | Вид экрана                                                                          |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. При погасшем дисплее нажать любую из клавиш «◀», «▶», «▲», «▼» для перехода в дежурный режим (отображение даты и времени). |  |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>2. В дежурном режиме кратковременно (менее 1 с) нажать клавишу «◀». Терминал перейдет в режим просмотра аналоговых величин.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | <div style="border: 1px solid black; padding: 10px; background-color: #f0f0f0;"> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <span>&gt;Вторичные</span> <span>&gt;</span> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <span>Первичные</span> <span>&gt;</span> </div> </div>  |
| <p>3. Кратковременным нажатием клавиши «▶» выбрать раздел «Вторичные».</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | <div style="border: 1px solid black; padding: 10px; background-color: #f0f0f0;"> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <span>&gt;Физические</span> <span>&gt;</span> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <span>Расчетные</span> <span>&gt;</span> </div> </div> |
| <p>4. Кратковременным нажатием клавиши «▶» выбрать раздел «Физические».</p> <p>Значения максимальных рабочих токов, появившиеся на экране, записать в таблицу по указанной в программе лабораторной работы форме.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | <div style="border: 1px solid black; padding: 10px; background-color: #f0f0f0;"> <div style="text-align: center;"> <p>&gt;Ia=0,12A</p> <p>Ib=0,12A</p> <p>Ic=0,12A</p> <p>3I0=0,001A</p> <p>Ua=0,001B</p> <p>Ub=0,001B</p> </div> </div>                                                                               |
| <p>5. Ток короткого замыкания измеряют так. В исходном нормальном режиме сети, выбрать на стенде точку КЗ, вид КЗ и нажать клавишу активации КЗ. На экране терминала появятся значения вторичных токов и напряжений в данном режиме КЗ. Значения этих токов, появившиеся на экране, записать в таблицу по указанной в программе лабораторной работы форме.</p> <p>При этом, если токовые защиты введены, терминал может сработать на отключение выключателя и аварийный ток пропадет.</p> <p>Чтобы исключить преждевременное отключение линии можно временно вывести защиты из работы, либо</p> | <div style="border: 1px solid black; padding: 10px; background-color: #f0f0f0;"> <div style="text-align: center;"> <p>&gt;Ia=9,999A</p> <p>Ib=9,999A</p> <p>Ic=9,999A</p> <p>3I0=0,001A</p> <p>Ua=0,001B</p> <p>Ub=0,001B</p> </div> </div>                                                                            |

|                                                                                                |  |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| увеличить выдержку времени на срабатывание на время, достаточное для записи значений токов КЗ. |  |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|--|

### 2.2.3. Измерение тока по осциллограммам

Измерение токов в линиях можно выполнить по зарегистрированным терминалами осциллограммам. Предусмотрена специальная функция, которая инициирует принудительный пуск записи осциллограммы (для начала записи необходимо кратковременное нажатие клавиши «►»). Она используется для получения осциллограмм текущего состояния контролируемого терминалом объекта. Во время записи осциллограмм на дисплее отображается отсчет времени в секундах с начала записи.

Для измерений токов этим способом в стенде предварительно подготавливают, но не активируют, режим, в котором надо измерить ток (нормальный максимальный режим или КЗ) в линиях W1 и W2. Затем, пользуясь пошаговой инструкцией (таблица 2.4), активировать режим и произвести запись осциллограммы.

Файл осциллограммы надо записать на USB-Flash накопитель.

Копирование файлов из внутренней памяти терминала на внешний USB-Flash накопитель производится через пункт меню **«Копир-е файлов»**. Если подключить к USB-порту внешний USB-Flash накопитель, то при последующем кратковременном нажатии клавиши «►» происходит копирование всех файлов, имеющихся во внутренней памяти терминала. При этом на экране отображается имя копируемого файла. Файлы, находящиеся во внутренней памяти терминала, при этом не удаляются. Копирование можно прервать длительным нажатием на клавишу «◄». После завершения копирования на дисплее появится сообщение **«Записи скопированы»**.

При подключении внешнего носителя к USB-порту терминала в любом режиме (кроме режима редактирования) на дисплее отображается запрос о копировании файлов (если была предварительно выполнена соответствующая настройка в программном комплексе TranSet или через меню «Осциллограф»).

Пункт меню **«Копир. COMTRADE»** используется для копирования осциллограмм из внутренней памяти терминала на внешний USB-flash-накопитель в международном формате COMTRADE. При подключенном к USB-порту внешнем носителе и при кратковременном нажатии клавиши «►» происходит копирование всех файлов, имеющихся во внутренней памяти

терминала. Копирование можно прервать длительным нажатием на клавишу «◀».

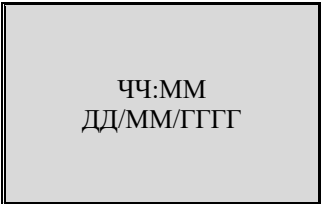
Выбор копируемых файлов можно осуществлять по нескольким признакам. Чтобы скопировать файл осциллограммы с измеряемыми токами можно использовать признак **«Ручной пуск»**.

Порядок действий при записи осциллограмм показан в таблице 2.4.

Определение значений тока по зарегистрированным осциллограммам осуществляется с помощью программного комплекса WinBres, который устанавливается и функционирует в компьютере, следующим образом:

1. Запустить файл WinBres.exe.
2. В окне программы в левом верхнем углу выбрать пункт «Открыть осциллограмму» (рис.2.5).
3. В открывшемся окне указать путь, по которому находится скачанная осциллограмма (например, на USB-Flash накопителе).
4. В графе «Тип файлов» указать «Бреслер».
5. Выбрать нужную осциллограмму и нажать «Открыть»
6. В открытой осциллограмме навести указку на участок осциллограммы, соответствующий КЗ, и записать отобразившиеся значения токов (рис.2.6).

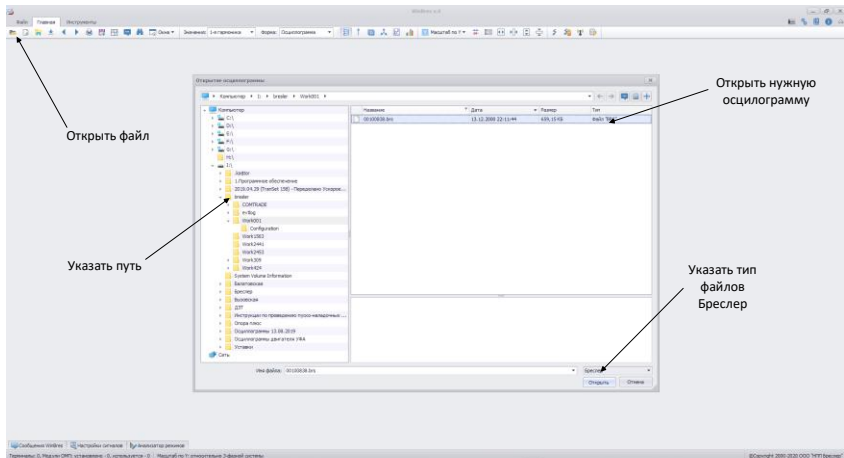
Таблица 2.4.

| Описание команды                                                                                                               | Вид экрана                                                                         |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. При погасшем дисплее нажать любую из клавиш «◀», «▶», «▲», «▼», для перехода в дежурный режим (отображение даты и времени). |  |

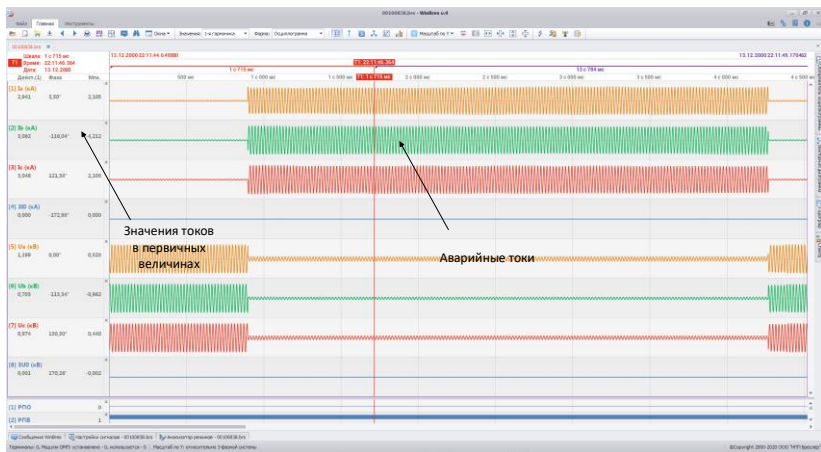
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |          |   |                   |  |                |   |                 |   |            |   |           |   |     |   |     |   |                |   |        |   |       |   |       |   |               |   |     |   |           |   |              |   |           |  |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|---|-------------------|--|----------------|---|-----------------|---|------------|---|-----------|---|-----|---|-----|---|----------------|---|--------|---|-------|---|-------|---|---------------|---|-----|---|-----------|---|--------------|---|-----------|--|
| <p>2. В дежурном режиме кратковременно (менее 1 с) нажать клавишу «▲».</p> <p>Терминал перейдет в режим изменения параметров срабатывания.</p> <p>Кратковременным нажатием клавиши «►» выбрать раздел «Уставки».</p> <p>Вывести из работы все ступени МТЗ.</p> <p>Вернуться в дежурный режим.</p> | <table border="1"> <tr> <td>&gt;Уставки</td><td>&gt;</td></tr> <tr> <td>Активная группа=1</td><td></td></tr> <tr> <td>Испытат.выход</td><td>&gt;</td></tr> </table><br><table border="1"> <tr> <td>&gt;МТЗ</td><td>&gt;</td></tr> <tr> <td>ЗОЗЗ</td><td>&gt;</td></tr> <tr> <td>ОПФр</td><td>&gt;</td></tr> <tr> <td>ЗОФ</td><td>&gt;</td></tr> <tr> <td>ЗМН</td><td>&gt;</td></tr> <tr> <td>Дуговая защита</td><td>&gt;</td></tr> </table><br><table border="1"> <tr> <td>&gt;МТЗ-1</td><td>&gt;</td></tr> <tr> <td>МТЗ-2</td><td>&gt;</td></tr> <tr> <td>МТЗ-3</td><td>&gt;</td></tr> <tr> <td>Ускорение МТЗ</td><td>&gt;</td></tr> <tr> <td>ОНМ</td><td>&gt;</td></tr> <tr> <td>Пуск по U</td><td>&gt;</td></tr> </table><br><table border="1"> <tr> <td>Работа МТЗ-1</td><td>↓</td></tr> <tr> <td>Отключено</td><td></td></tr> </table> | >Уставки | > | Активная группа=1 |  | Испытат.выход  | > | >МТЗ            | > | ЗОЗЗ       | > | ОПФр      | > | ЗОФ | > | ЗМН | > | Дуговая защита | > | >МТЗ-1 | > | МТЗ-2 | > | МТЗ-3 | > | Ускорение МТЗ | > | ОНМ | > | Пуск по U | > | Работа МТЗ-1 | ↓ | Отключено |  |
| >Уставки                                                                                                                                                                                                                                                                                          | >                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |          |   |                   |  |                |   |                 |   |            |   |           |   |     |   |     |   |                |   |        |   |       |   |       |   |               |   |     |   |           |   |              |   |           |  |
| Активная группа=1                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |          |   |                   |  |                |   |                 |   |            |   |           |   |     |   |     |   |                |   |        |   |       |   |       |   |               |   |     |   |           |   |              |   |           |  |
| Испытат.выход                                                                                                                                                                                                                                                                                     | >                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |          |   |                   |  |                |   |                 |   |            |   |           |   |     |   |     |   |                |   |        |   |       |   |       |   |               |   |     |   |           |   |              |   |           |  |
| >МТЗ                                                                                                                                                                                                                                                                                              | >                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |          |   |                   |  |                |   |                 |   |            |   |           |   |     |   |     |   |                |   |        |   |       |   |       |   |               |   |     |   |           |   |              |   |           |  |
| ЗОЗЗ                                                                                                                                                                                                                                                                                              | >                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |          |   |                   |  |                |   |                 |   |            |   |           |   |     |   |     |   |                |   |        |   |       |   |       |   |               |   |     |   |           |   |              |   |           |  |
| ОПФр                                                                                                                                                                                                                                                                                              | >                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |          |   |                   |  |                |   |                 |   |            |   |           |   |     |   |     |   |                |   |        |   |       |   |       |   |               |   |     |   |           |   |              |   |           |  |
| ЗОФ                                                                                                                                                                                                                                                                                               | >                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |          |   |                   |  |                |   |                 |   |            |   |           |   |     |   |     |   |                |   |        |   |       |   |       |   |               |   |     |   |           |   |              |   |           |  |
| ЗМН                                                                                                                                                                                                                                                                                               | >                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |          |   |                   |  |                |   |                 |   |            |   |           |   |     |   |     |   |                |   |        |   |       |   |       |   |               |   |     |   |           |   |              |   |           |  |
| Дуговая защита                                                                                                                                                                                                                                                                                    | >                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |          |   |                   |  |                |   |                 |   |            |   |           |   |     |   |     |   |                |   |        |   |       |   |       |   |               |   |     |   |           |   |              |   |           |  |
| >МТЗ-1                                                                                                                                                                                                                                                                                            | >                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |          |   |                   |  |                |   |                 |   |            |   |           |   |     |   |     |   |                |   |        |   |       |   |       |   |               |   |     |   |           |   |              |   |           |  |
| МТЗ-2                                                                                                                                                                                                                                                                                             | >                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |          |   |                   |  |                |   |                 |   |            |   |           |   |     |   |     |   |                |   |        |   |       |   |       |   |               |   |     |   |           |   |              |   |           |  |
| МТЗ-3                                                                                                                                                                                                                                                                                             | >                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |          |   |                   |  |                |   |                 |   |            |   |           |   |     |   |     |   |                |   |        |   |       |   |       |   |               |   |     |   |           |   |              |   |           |  |
| Ускорение МТЗ                                                                                                                                                                                                                                                                                     | >                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |          |   |                   |  |                |   |                 |   |            |   |           |   |     |   |     |   |                |   |        |   |       |   |       |   |               |   |     |   |           |   |              |   |           |  |
| ОНМ                                                                                                                                                                                                                                                                                               | >                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |          |   |                   |  |                |   |                 |   |            |   |           |   |     |   |     |   |                |   |        |   |       |   |       |   |               |   |     |   |           |   |              |   |           |  |
| Пуск по U                                                                                                                                                                                                                                                                                         | >                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |          |   |                   |  |                |   |                 |   |            |   |           |   |     |   |     |   |                |   |        |   |       |   |       |   |               |   |     |   |           |   |              |   |           |  |
| Работа МТЗ-1                                                                                                                                                                                                                                                                                      | ↓                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |          |   |                   |  |                |   |                 |   |            |   |           |   |     |   |     |   |                |   |        |   |       |   |       |   |               |   |     |   |           |   |              |   |           |  |
| Отключено                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |          |   |                   |  |                |   |                 |   |            |   |           |   |     |   |     |   |                |   |        |   |       |   |       |   |               |   |     |   |           |   |              |   |           |  |
| <p>3. В дежурном режиме длительно (более 1 с) нажать клавишу «►» для перехода в основное меню. Выбрать пункт «Журнал записей».</p>                                                                                                                                                                | <table border="1"> <tr> <td>Режим</td><td>&gt;</td></tr> <tr> <td>Сброс сигнализ</td><td></td></tr> <tr> <td>Журнал событий</td><td>&gt;</td></tr> <tr> <td>&gt;Журнал записей</td><td>&gt;</td></tr> <tr> <td>Дата/время</td><td>&gt;</td></tr> <tr> <td>Настройки</td><td>&gt;</td></tr> </table>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Режим    | > | Сброс сигнализ    |  | Журнал событий | > | >Журнал записей | > | Дата/время | > | Настройки | > |     |   |     |   |                |   |        |   |       |   |       |   |               |   |     |   |           |   |              |   |           |  |
| Режим                                                                                                                                                                                                                                                                                             | >                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |          |   |                   |  |                |   |                 |   |            |   |           |   |     |   |     |   |                |   |        |   |       |   |       |   |               |   |     |   |           |   |              |   |           |  |
| Сброс сигнализ                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |          |   |                   |  |                |   |                 |   |            |   |           |   |     |   |     |   |                |   |        |   |       |   |       |   |               |   |     |   |           |   |              |   |           |  |
| Журнал событий                                                                                                                                                                                                                                                                                    | >                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |          |   |                   |  |                |   |                 |   |            |   |           |   |     |   |     |   |                |   |        |   |       |   |       |   |               |   |     |   |           |   |              |   |           |  |
| >Журнал записей                                                                                                                                                                                                                                                                                   | >                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |          |   |                   |  |                |   |                 |   |            |   |           |   |     |   |     |   |                |   |        |   |       |   |       |   |               |   |     |   |           |   |              |   |           |  |
| Дата/время                                                                                                                                                                                                                                                                                        | >                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |          |   |                   |  |                |   |                 |   |            |   |           |   |     |   |     |   |                |   |        |   |       |   |       |   |               |   |     |   |           |   |              |   |           |  |
| Настройки                                                                                                                                                                                                                                                                                         | >                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |          |   |                   |  |                |   |                 |   |            |   |           |   |     |   |     |   |                |   |        |   |       |   |       |   |               |   |     |   |           |   |              |   |           |  |

|                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                      |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>4. Находясь в данном режиме, выбрать на стенде точку КЗ, вид КЗ.<br/>Нажать на терминале пункт <b>«Ручной пуск»</b> и после этого нажать клавишу активации КЗ на время, примерно, 1 с).<br/>Затем, обязательно отключить КЗ.</p> | <div data-bbox="647 220 967 427"> <p>Записи &gt;<br/>&gt;Ручной пуск<br/>Очистка Flash &gt;<br/>Копир-е файлов<br/>Копир.COMTRADE<br/>Копир. по дате &gt;</p> </div> |
| <p>5. Терминал начнет запись осциллограммы продолжительностью 5 с.</p>                                                                                                                                                              | <div data-bbox="647 507 967 715"> <p>Ручной пуск...<br/>0.9</p> </div>                                                                                               |
| <p>6. Перейти в пункт <b>«Записи»</b>. И найти по времени записанную осциллограмму с причиной пуска <b>«Ручной пуск»</b>.</p>                                                                                                       | <div data-bbox="647 738 967 970"> <p>Назв: XXXXXXXXXX.brs<br/>Вр:XX/XX/XX XX:XX:XX<br/>Причины (1)<br/>1: Ручной пуск</p> </div>                                     |
| <p>7. Вставить USB-Flash в терминал.<br/>На экране появится сообщение <b>«Копировать файлы?»</b>.<br/>Нажатием клавиши <b>«◀»</b> можно отменить действие и вернуться на экран записей.</p>                                         | <div data-bbox="647 991 967 1246"> <p>Копировать<br/>Файлы?</p> </div>                                                                                               |

|                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                       |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>8. На экране с записью нажать кратковременно (менее 1 с) клавишу «►». На экране отобразится подробная информация о данном файле.</p>                                                                                          | <div data-bbox="647 181 967 387"> <p>Создан<br/>Дата: XX/XX/XX<br/>Время: XX:XX:XX<br/>Причины:(1)<br/>Ручной пуск<br/>'С' - удалить</p> </div>                                                                       |
| <p>9. Длительно (более 1 с) нажать клавишу «►» для начала копирования только данной записи.</p>                                                                                                                                  | <div data-bbox="647 416 967 624"> <p>Подготовка...</p> </div> <div data-bbox="647 671 967 871"> <p>Копир. 1 11%<br/>XXXXXXXXXX.brs</p> </div> <div data-bbox="647 871 967 1075"> <p>Запись<br/>скопирована</p> </div> |
| <p>10. На USB-Flash накопителе осциллограмма находится по следующему пути:<br/><b>X:\bresler\WorkXXXX</b>, где XXXX - это заводской номер терминала, который можно посмотреть в основном меню терминала в пункте «Терминал».</p> | <div data-bbox="647 1114 967 1321"> <p>Загрузка = 66.60%<br/>Темпер.=26.00C<br/>&gt;N терминала=XXXX<br/>Версия ПО=3<br/>Дата ПО<br/>Ан.входы=8</p> </div>                                                            |



**Рис. 2.5. Вид меню программы WinBres**

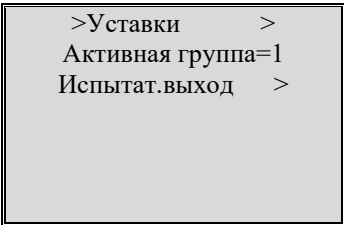
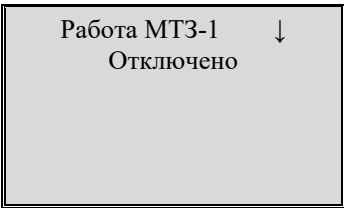


**Рис. 2.6. Вид осциллограммы на экране**

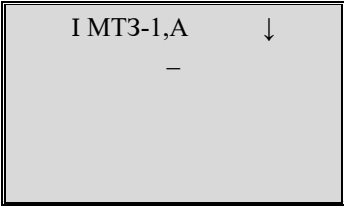
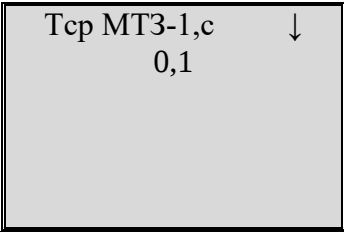
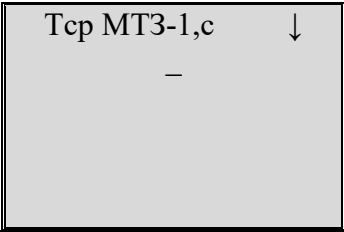
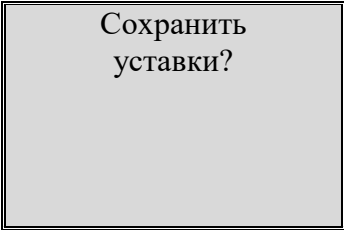
## 2.2.4. Ввод параметров срабатывания

Параметры срабатывания защит, которые определены расчетным путем в соответствии с методикой, изложенной в гл.1, вводятся в терминалы защиты с помощью клавиш управления (таблица 2.5).

Таблица 2.5.

| Описание команды                                                                                                                                                                                | Вид экрана                                                                          |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. При погасшем дисплее для перехода в дежурный режим (отображение даты и времени) нажать любую из клавиш «◀», «▶», «▲», «▼».                                                                   |    |
| 2. В дежурном режиме кратковременно (менее 1 с) нажать клавишу «▲». Терминал перейдет в режим изменения параметров срабатывания. Кратковременным нажатием клавиши «▶» выбрать раздел «Уставки». |    |
| 3. Кратковременным нажатием клавиши «▶» выбрать раздел «МТЗ».                                                                                                                                   |    |
| 4. Кратковременным нажатием клавиши «▶» выбрать ступень защиты для изменения ее параметров срабатывания. Например, МТЗ-1.                                                                       |   |
| 5. Для ввода в работу МТЗ-1 длительно (более 1 с) нажать клавишу «▶».                                                                                                                           |  |

|                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>6. Терминал запросит пароль доступа. Пароль - «76». С помощью клавиш «▲» или «▼» сначала выбрать число 7, нажать «▶», затем - 6.</p> <p>Для подтверждения введенного пароля длительно нажать клавишу «▶».</p>                               | <div data-bbox="598 169 941 376"> <p>Пароль=</p> <p>—</p> </div> <div data-bbox="598 456 941 663"> <p>Пароль=</p> <p>7_</p> </div> |
| <p>7. После этого открывается возможность изменять параметры срабатывания.</p> <p>С помощью клавиш «◀», «▶» поменять параметр «Работа МТЗ-1» на «Включено».</p> <p>Для подтверждения введенного параметра длительно нажать клавишу «▶».</p>    | <div data-bbox="598 719 941 927"> <p>Работа МТЗ-1      ↓</p> <p><u>В</u>ключено      &gt;</p> </div>                               |
| <p>8. Кратковременным нажатием клавиши «▼» выбрать пункт «I МТЗ-1,А» (параметры срабатывания МТЗ-1 во вторичных величинах).</p> <p>Для изменения тока срабатывания первой ступени защиты (МТЗ-1) длительно (более 1 с) нажать клавишу «▶».</p> | <div data-bbox="598 1015 941 1222"> <p>I МТЗ-1,А      ↓</p> <p>12,50</p> </div>                                                    |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>9. С помощью клавиш «▲» или «▼» задать рассчитанное значение. Для подтверждения длительно нажать клавишу «►».</p>                                                                                                                                                                                                                                   |   |
| <p>10. Кратковременным нажатием клавиши «▼» выбрать пункт «Тср МТЗ-1,с» (время срабатывания первой ступени защиты в секундах). Для изменения времени срабатывания первой ступени защиты длительно (более 1 с) нажать клавишу «►».</p>                                                                                                                  |   |
| <p>11. С помощью клавиш «▲» или «▼» задать необходимое значение. Для подтверждения введенного значения длительно нажать клавишу «►».</p>                                                                                                                                                                                                               |   |
| <p>12. После задания значений параметров срабатывания кратковременным многократным нажатием клавиши «◀» вернуться в дежурный режим интерфейса, т.е. до появления на экране записи «Сохранить уставки?». Длительным нажатием клавиши «►» подтвердить сохранение параметров срабатывания. Терминал перезагрузится с новыми параметрами срабатывания.</p> |  |
| <p>13. Параметры срабатывания для 2 и 3 ступеней защиты устанавливаются по аналогии.</p>                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                    |

### 2.2.5. Выбор зависимой время-токовой характеристики срабатывания МТЗ-3

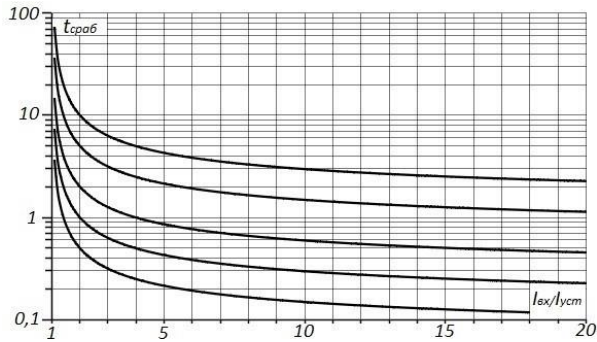
Для 3 ступени МТЗ в терминале есть возможность выбрать зависимую время-токовую характеристику срабатывания. Наименования характеристик и аппроксимирующие их функции показаны в таблице 2.6.

Таблица 2.6.

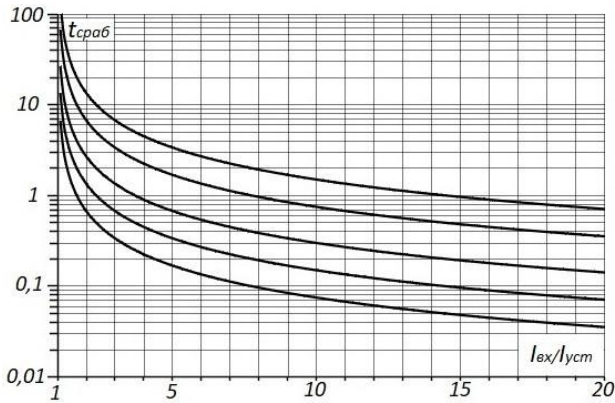
| Независимая:                                                            | Крутая (аналог реле РТВ-1):                                                | Пологая (аналог реле РТ-80):                                                          |
|-------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| $t_{ср\text{аб}} = T_{уст}$                                             | $t_{ср\text{аб}} = \frac{1}{30(I_{БХ} / I_{уст})^3} + T_{уст}$             | $t_{ср\text{аб}} = \frac{1}{20((I_{БХ} / I_{уст}) / 6)^{1,8}} + T_{уст}$              |
| Нормально инверсная (МЭК-255-4)                                         | Сильно инверсная (МЭК-255-4)                                               | Чрезвычайно инверсная (МЭК-255-4)                                                     |
| $t_{ср\text{аб}} = \frac{0,14 \times k}{(I_{БХ} / I_{уст})^{0,02} - 1}$ | $t_{ср\text{аб}} = \frac{13,5 \times k}{(I_{БХ} / I_{уст}) - 1}$           | $t_{ср\text{аб}} = \frac{80 \times k}{(I_{БХ} / I_{уст})^2 - 1}$                      |
| Длительно инверсная (МЭК-255-4)                                         | RI-типа                                                                    | RXIDG-типа                                                                            |
| $t_{ср\text{аб}} = \frac{120 \times k}{(I_{БХ} / I_{уст}) - 1}$         | $t_{ср\text{аб}} = \frac{k}{0,339 - 0,236 \times (I_{БХ} / I_{уст})^{-1}}$ | $t_{ср\text{аб}} = 5,8 - 1,35 \times \ln\left(\frac{I_{БХ}}{k \times I_{уст}}\right)$ |

В таблице использованы следующие обозначения  $t_{ср\text{аб}}$  - время срабатывания, с;  $T_{уст}$  - уставка по времени срабатывания, с;  $k$  – коэффициент базисного времени;  $I_{БХ}$  - входной ток, А;  $I_{уст}$  - ток уставки, соответствующий предельному значению тока, при котором защита с зависимой выдержкой не срабатывает, А.

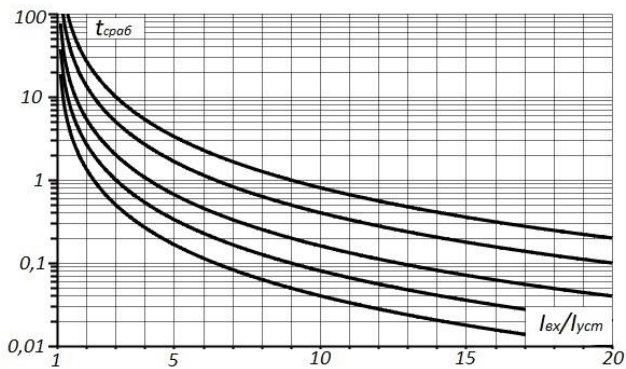
Графическое изображение основных время-токовых характеристик показано на рис.2.7 - рис.2.12.



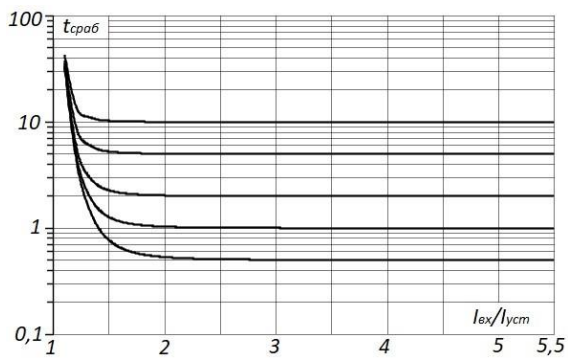
**Рис.2.7. Нормально инверсная характеристика**



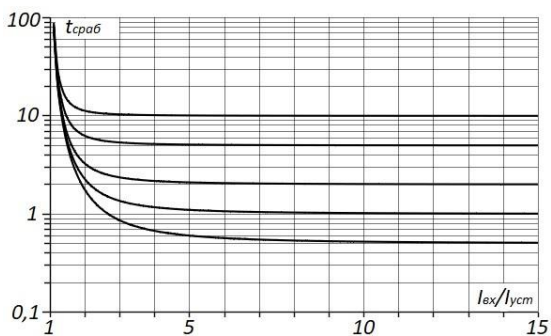
**Рис.2.8. Сильно инверсная характеристика**



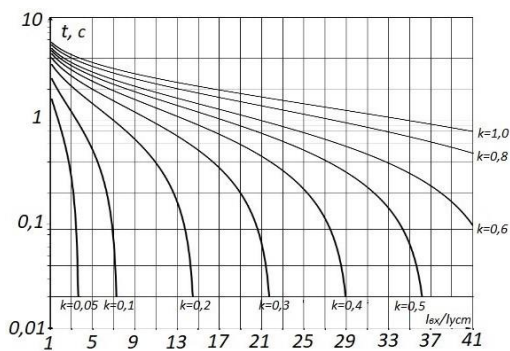
**Рис.2.9. Чрезвычайно инверсная характеристика**



**Рис.2.10 Крутая характеристика**



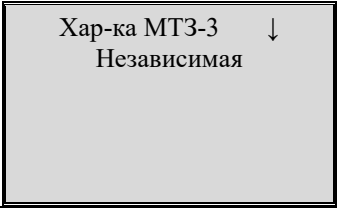
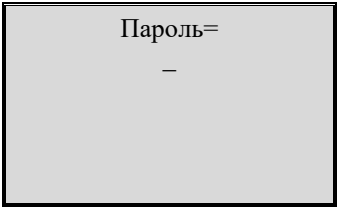
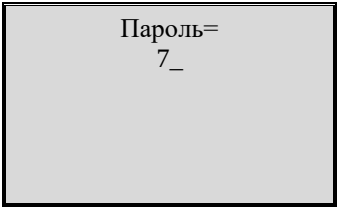
**Рис.2.11 Пологая характеристика**



**Рис.2.12 Характеристика RXIDG-типа**

Инструкция по заданию вида время-токовой характеристики срабатывания и вводу параметров характеристик показана в таблице 2.7.

Таблица 2.7.

| Описание команды                                                                                                              | Вид экрана                                                                          |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Выбор зависимых время-токовых характеристик осуществляется в пункте «МТЗ-3» меню «Уставки»                                    |    |
| Для выбора характеристики срабатывания МТЗ-3 длительно (более 1 с) нажать клавишу «▶».                                        |    |
| Терминал запросит пароль доступа. Пароль - «76». С помощью клавиш «▲» или «▼» сначала выбрать число 7, нажать «▶», затем - 6. |    |
| Для подтверждения введенного пароля длительно нажать клавишу «▶».                                                             |  |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                               |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Теперь терминал даст возможность изменять параметры срабатывания.<br/>С помощью клавиш «◀», «▶» выбрать необходимую характеристику срабатывания.<br/>Для подтверждения введенного параметра длительно нажать клавишу «▶».</p>                                                     | <div data-bbox="633 169 966 376"> Хар-ка МТЗ-3      ↓<br/> <u>Сильно-инв</u>      &gt; </div> |
| <p>Кратковременным нажатием клавиши «▼» выбрать пункт «Тср МТЗ-3,с» (для независимой, крутой или пологой характеристик).<br/>Для изменения выдержки времени МТЗ-3 длительно (более 1 с) нажать клавишу «▶».</p>                                                                      | <div data-bbox="633 418 966 625"> Тср МТЗ-3,с      ↓<br/> 0,050 </div>                        |
| <p>С помощью клавиш «▲» или «▼» задать необходимое значение.<br/><br/>Для подтверждения длительно нажать клавишу «▶».</p>                                                                                                                                                            | <div data-bbox="633 667 966 874"> Тср МТЗ-3,с      ↓<br/> — </div>                            |
| <p>Кратковременным нажатием клавиши «▼» выбрать пункт «Кврем МТЗ-3,о.е» (для нормально-инверсной, сильно-инверсной, чрезвычайно-инверсной, длительно-инверсной, RI - типа, RXIDG - типа).<br/>Для изменения коэффициента времени МТЗ-3 длительно (более 1 с) нажать клавишу «▶».</p> | <div data-bbox="633 892 966 1099"> Кврем МТЗ-3,о.е.      ↓<br/> 0,050 </div>                  |
| <p>С помощью клавиш «▲» или «▼» задать необходимое значение.<br/><br/>Для подтверждения длительно нажать клавишу «▶».</p>                                                                                                                                                            | <div data-bbox="633 1200 966 1407"> Кврем МТЗ-3,о.е.      ↓<br/> — </div>                     |

### 3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

#### 3.1. Подготовка к работе

1. Произвести внешний осмотр стенда (см. п.2.2.1).
2. Изучить стенд, схему защищаемой сети, расстановку защит в защищаемой сети (см. п.2.1.1).
3. Изучить терминалы защиты, встроенные в стенд (см. п.2.1.2 – 2.1.3).
4. Изучить инструкции по работе с терминалами, встроенными в стенд (см. п. 2.2.2 – 2.2.5).
5. Изучить методику выбора параметров срабатывания токовых защит (см. п.1.1 – 1.3).

#### 3.2. Определение (измерение) исходных данных для выбора параметров срабатывания защит

##### 1. Измерить максимальные рабочие токи в местах установки защит ( $I_{РАБМАКС}$ ).

Измерения проводить с помощью терминалов защиты при включенных выключателях линий и исправных предохранителях в цепях питания силового трансформатора. Результаты измерений занести в соответствующие ячейки таблицы (форма 1).

Форма 1

| Параметр         | Линия W1 | Линия W2 |
|------------------|----------|----------|
| $I_{РАБМАКС}, A$ |          |          |
| $k_{СЗАП}$       |          |          |

2. Выбрать конкретные значения коэффициентов самозапуска для первой (Линия W1) и второй (Линия W 2) линий из диапазона возможных значений от 1.1. до 1.3. Результаты занести в соответствующие ячейки таблицы (форма 1).

3. Измерить максимальные токи короткого замыкания при повреждениях в расчетных точках K1-K9.

Измерения проводить с помощью терминалов защиты при включенных выключателях линий в цепях короткого замыкания от источника питания до точки КЗ.

Для этого надо предварительно установить в терминале защиты токи срабатывания защит заведомо больше тока короткого замыкания (например, 50 А), или - выдержки времени срабатывания защит, достаточные для считывания показаний с индикатора терминала, например, 20 с.

Измерения проводить поочередно при КЗ в каждой расчетной точке. Результаты измерений занести в соответствующие ячейки таблицы (форма 2).

Определить расчетным путем минимальные токи КЗ при повреждениях в соответствующих расчетных точках и полученные значения занести в соответствующие ячейки формы 2.

Форма 2

| Место контроля тока КЗ                            | Номер расчетной точки | Максимальный ток КЗ, А | Минимальный ток КЗ, А |
|---------------------------------------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|
| В начале линии W1<br>(в месте установки защиты 1) |                       |                        |                       |
| В начале линии W2<br>(в месте установки защиты 2) |                       |                        |                       |

### 3.3. Определение параметров срабатывания защит

1. Определить расчетным путем токи срабатывания всех ступеней трехступенчатых защит, установленных на первой и на второй линиях W1 и W2. Результаты расчетов занести в соответствующие ячейки таблицы (форма 3).

2. Определить расчетным путем выдержки времени срабатывания всех ступеней трехступенчатых защит, установленных на первой и на второй линиях W1 и W2. Результаты расчетов занести в соответствующие ячейки таблицы (форма 3).

Форма 3

| Параметр            | Защита 1 (линия W1) |              |              | Защита 2 (линия W2) |              |              |
|---------------------|---------------------|--------------|--------------|---------------------|--------------|--------------|
|                     | 1<br>ступень        | 2<br>ступень | 3<br>ступень | 1<br>ступень        | 2<br>ступень | 3<br>ступень |
| Ток срабатывания, А |                     |              |              |                     |              |              |
| Время               |                     |              |              |                     |              |              |

|                    |  |  |  |  |  |  |
|--------------------|--|--|--|--|--|--|
| срабатывания,<br>с |  |  |  |  |  |  |
|--------------------|--|--|--|--|--|--|

### 3.4. Ввод параметров срабатывания защит в терминалы защиты

Последовательно в соответствии с инструкцией (см. п.2.2.4 и 2.2.5) ввести параметры срабатывания в терминалы из заполненной формы 3.

### 3.5. Проверка срабатывания защит

Ввести в работу сеть и терминалы защиты. Для этого при включенном питании стенда и исправных предохранителях трансформатора включить выключатели линий.

Последовательно с помощью короткозамыкателя создать короткие замыкания в каждой точке от К1 до К9. Убедиться в правильности срабатывания защит.

Скачать (скопировать) на USB-Flash накопитель осциллограммы КЗ в расчетных точках К1-К9.

Перенести файлы осциллограмм на компьютер, и с помощью программного комплекса WinBres по осциллограммам определить реальные параметры срабатывания защит при КЗ. Результаты анализа осциллограмм занести в форму 4.

Форма 4

| Параметр                     | Место повреждения (точка) |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
|------------------------------|---------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|--|
|                              | К1                        | К2 | К3 | К4 | К5 | К6 | К7 | К8 | К9 |  |
| Время срабатывания защиты    |                           |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
| Сработавшая защита (ступень) |                           |    |    |    |    |    |    |    |    |  |

### 3.6. Построение диаграммы работы защит «время срабатывания – удаленность КЗ».

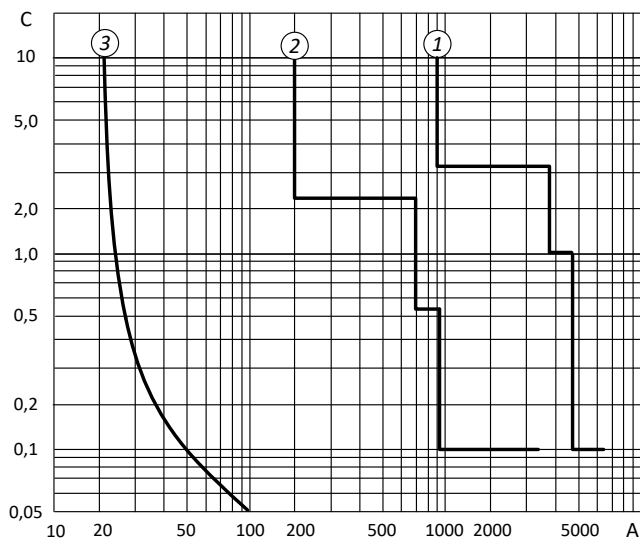
По исходным данным построить диаграмму изменения токов (максимальных и минимальных) КЗ в зависимости от места КЗ (см. рис. 1.6).

По реальным параметрам срабатывания защит построить диаграмму изменения времени срабатывания защит в зависимости от

места КЗ, совмещенную с диаграммой изменения токов КЗ (см. рис. 1.6).

### 3.7. Построение карты селективности

По реальным параметрам срабатывания защит построить карту селективности защит в графическом виде (зависимость времени срабатывания защит и предохранителей от тока КЗ). Карту селективности целесообразно строить в логарифмическом масштабе (рис. 3.1), т.к. диапазоны изменения токов КЗ и времени срабатывания велики, и в линейном масштабе невозможно получить наглядные графики.



**Рис.3.1. Пример карты селективности** (на рисунке обозначены: 1 и 2 – характеристики трехступенчатых защит первой и второй линий, соответственно; 3 - время-токовая характеристика предохранителей F1-F3)

Значения параметров срабатывания защит, полученные расчетным путем (и подтвержденные измерением) и необходимые для построения характеристик, содержатся в заполненных таблицах по форме 3 и форме 4.

### Список литературы

1. Правила устройства электроустановок / М-во энергетики РФ. – 7-е изд. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2003. – 640 с.
2. Чернобровов Н.В. Релейная защита. – М.: Энергия, 1974. – 680 с.
3. Булычев А.В., Наволочный А.А. Релейная защита в распределительных электрических сетях. – М.: ЭНАС, 2011. – 208 с.
4. Микропроцессорный терминал «Бреслер-0107.200». Защита и автоматика линии 6-35 кВ. Руководство по эксплуатации: БРСН.656122.200 РЭ. – г.Чебоксары, ООО «НПП Бреслер», 2019. – 175 с.

**Булычев Александр Витальевич**

**Токовые защиты  
от междупазных коротких замыканий**



**Редактор И.Б. Булычева  
Компьютерная верстка Е.В. Степанова**

**Подписано к печати 01.09.2020.  
Формат 60х84/16. Бумага офсетная. Печать оперативная.  
Физ. печ. л. 4.0. Тираж 100 экз. Заказ № К-158**

**Отпечатано с готового оригинал-макета  
в типографии «Новое время».  
428034, г. Чебоксары, ул. Мичмана Павлова, 50/1.  
Тел.: (8352) 323-353, 412-789. E-mail: newtime1@mail.ru**