

7 РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА И АВТОМАТИКА

7.1 Общее положение

При организации децентрализованного управления все переключения в электрической сети должны осуществляться территориально распределенными устройствами РЗА, которые должны быть выполнены на микропроцессорной элементной базе. Уставки устройств РЗА выбираются на основании расчетов с соблюдением их селективной работы со смежными элементами защит электрооборудования [10].

В качестве наиболее распространенных релейных защит распределительных сетей напряжением 6-35 кВ применяют [11]:

- максимальную токовую защиту (МТЗ);
- токовую отсечку (ТО);
- защиту от перегрузки (ЗП);
- защиту от замыканий на землю (ЗЗ);
- дуговую защиту (ДЗ);
- логическую защиту шин (ЛЗШ);
- защиты с обеспечением логической селективности.

Для выбора состава функций устройств РЗА при организации децентрализованного управления необходимо руководствоваться следующим [12]:

– для защиты участка линии электропередачи от многофазных коротких замыканий с однонаправленным потоком электрической мощности должна предусматриваться двухступенчатая токовая защита, первая ступень которой выполняется в виде токовой отсечки, а вторая – в виде МТЗ с выдержкой времени;

– для защиты участка линии электропередачи от многофазных коротких замыканий с возможным двунаправленным потоком электрической мощности, как правило, должна предусматриваться направленная четырехступенчатая токовая защита (две ступени направленной токовой отсечки и две ступени направленной МТЗ с выдержкой времени). Одна ступень МТЗ с меньшей выдержкой времени должна быть выполнена направленной (против направления мощности основного источника питания), вторая ступень с большей выдержкой

					ДП 1-43 01 03 01-22				
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					
Разраб.	Тальчук В.Л.				РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА И АВТОМАТИКА	Лит.	Лист	Листов	
Руковод.	Лычев П.В.								
Консульт.	Добродей А.О.					УО «ГГТУ им.П.О.Сухого» кафедра «Электроснабжение»			
Н. Контр.	Иванейчик А.В.								
Зав. каф.	Добродей А.О.								

времени – ненаправленной.

При отсутствии необходимости в выполнении направленных токовых отсечек и наличии в электрической сети только одной точки нормального токораздела с организованным на ней сетевым АВР рекомендуется МТЗ выполнять в виде двух ненаправленных ступеней с разными уставками по току и по времени, причем в нормальном режиме наиболее чувствительная ступень выведена из действия и вводится в работу при длительном отсутствии напряжения перед срабатыванием сетевого АВР.

Для защиты ЛЭП от ОЗЗ должна предусматриваться защита от однофазных замыканий по принципам, обеспечивающим селективное отключение или сигнализацию поврежденного участка в зависимости от типа заземления нейтрали на питающих подстанциях [10].

В соответствии с [11] к РЗА предъявляются основные требования, которым должен удовлетворять каждый комплект защиты. К ним относятся:

- 1) Селективность;
- 2) Быстродействие;
- 3) Чувствительность;
- 4) Надежность.

Селективность – это способность РЗ выявлять место повреждения и отключать его только ближайшими выключателями.

Быстродействие – это свойство РЗ отключать повреждение с минимально возможной выдержкой времени, так как быстрое отключение поврежденного оборудования или участка электрической установки предотвращает или уменьшает размеры повреждений, сохраняет нормальную работу потребителей неповрежденной части установки, предотвращает нарушение параллельной работы генераторов.

Чувствительность – это свойство защиты надежно срабатывать при КЗ в конце защищаемого участка в минимальном режиме работы системы. Защита должна обладать такой чувствительностью к тем видам повреждений и нарушений нормального режима работы, на которые она рассчитана. Чувствительность защиты должна также обеспечивать ее действие при повреждении на смежных участках.

Надежность – это свойство защиты гарантированно выполнять свои функции на протяжении всего периода эксплуатации. Защита должны правильно и безотказно действовать на отключение выключателей при всех повреждениях и нарушениях нормального режима работы и не действовать в нормальных условиях.

					ДП 1-43 01 03 01-22	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

7.2 Выбор токовой защиты отходящей линии №317

Для повышения надёжности работы распределительной сети в качестве токовой защиты отходящей линии №969 примем устройство микропроцессорной защиты и автоматики реле МР301.

Микропроцессорное реле МР301 защиты и автоматики линии предназначено для защиты:

- кабельных и воздушных линий электропередач напряжением 6-35 кВ;
- трансформаторов (например, в качестве резервной защиты силовых трансформаторов);
- объектов малой энергетики и др.

МР301 является современным цифровым устройством защиты, управления и противоаварийной автоматики, и представляет собой комбинированное многофункциональное устройство, объединяющее различные функции защиты, измерения, контроля, местного и дистанционного управления. Использование в МР301 современной аналого-цифровой и микропроцессорной элементной базы обеспечивает высокую точность измерений и постоянство характеристик, что позволяет существенно повысить чувствительность и быстродействие защит, а также уменьшить ступени селективности.

7.3 Расчёт токов короткого замыкания

Расчет токов короткого замыкания (далее токов КЗ) выполняется для определения требований к новой коммутационной аппаратуре для объектов рассматриваемой сети, проверки соответствия параметров устойчивости установленной аппаратуры к ожидаемым значениям токов короткого замыкания, а также для выбора и проверки параметров электрических аппаратов релейной защиты.

Расчет токов производим для трехфазного короткого замыкания, так как этот режим короткого замыкания является наиболее тяжёлым для трёхфазной сети.

Расчетная схема замещения строится на основе схемы электрической сети и главных схем электрических соединений подстанции. В расчетную схему вводятся все источники питания, участвующие в подпитке места короткого замыкания, и соответственно все элементы электрической сети связывающие источники питания и место КЗ (линии электропередач, трансформаторы, реакторы, и т.п.). Точки КЗ выбираются в таких местах системы, чтобы выбираемые в последующих расчетах аппараты были поставлены в наиболее тяжелые условия.

					ДП 1-43 01 03 01-22	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

На рисунке 7.1 представлена расчётная схема линии №317 от ПС “Хойники-1”.



Рисунок 7.1 – Расчётная схема линии №317 от ПС “Хойники-1”

По расчетной схеме (рисунок 7.1) составляем эквивалентную электрическую схему замещения (рисунок 7.2).

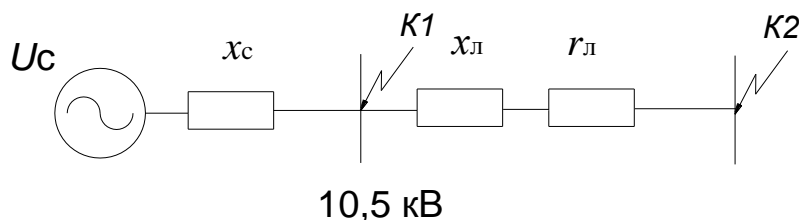


Рисунок 7.2 – Схема замещения линии №317 от ПС “Хойники-1”

Расчёт токов короткого замыкания производится в именованных единицах для двух режимов: максимального и минимального. Максимальный режим КЗ характеризуется следующими условиями:

- включены все источники питания (генераторы), а также трансформаторы, линии, питающие сеть или распределительное устройство, в которых рассматривается КЗ;
- при расчете КЗ на землю включены все трансформаторы, нормально работающие с заземлённой нейтралью;
- схема участка сети, непосредственно примыкающая к месту КЗ такова, что по элементу проходит максимальный ток КЗ.

Минимальный режим характеризуется условиями, противоположными максимальному (при отключенной практически возможной части источников, генераторов, трансформаторов, линий), а схема соединений принимается такой, при которой по защищаемому элементу протекает минимальный ток КЗ.

Исходными данными для расчёта являются реактансы на шинах 10 кВ в максимальном и минимальном режиме подстанции ПС “Хойники-1” X_c , которые будут определены по токам КЗ на шинах 10 кВ.

По данным РЭС токи КЗ на шинах 10 кВ в максимальном и минимальном режимах:

$$I_{K1\ max}^{(3)} = 1308\ A;$$

$$I_{K1\ min}^{(3)} = 885\ A.$$

По формулам (7.1) определим реактансы на шинах 10 кВ в максимальном и минимальном режиме соответственно.

$$X_c^{max} = \frac{U_{HH}}{I_C^{max}}; \quad (7.1)$$

$$X_c^{min} = \frac{U_{HH}}{I_C^{min}},$$

где U_{HH} - напряжение системы, кВ;

I_C^{max}, I_C^{min} - токи КЗ на шинах 10 кВ в максимальном и минимальном режимах соответственно.

$$X_c^{max} = \frac{10,5 \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot 1308} = 4.635\ \text{Ом};$$

$$X_c^{min} = \frac{10,5 \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot 885} = 6.85\ \text{Ом}.$$

Сопротивление воздушной линии определим по формуле 7.2:

$$X_L = X_0 \cdot L, \quad (7.2)$$

где X_0 – удельное сопротивление на 1 км линии, равное 0.4 Ом/км;

L – протяженность участка линии от сети до точки КЗ, км.

$$X_L^{max} = X_L^{min} = X_0 \cdot L = 0.4 \cdot 18.74 = 7.496\ \text{Ом}.$$

Расчёт токов трёхфазного короткого замыкания производится по следующей формуле:

$$I_N^{(3)} = \frac{U}{\sqrt{3} \cdot X_\Sigma}, \quad (7.3)$$

где $I_N^{(3)}$ – ток трёхфазного короткого замыкания в N-ой точке, кА;

X_Σ – сопротивление от N-ой точки замыкания до системы, Ом;

					ДП 1-43 01 03 01-22	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

U – напряжение ступени, на которой произошло короткое замыкание, кВ.

$$I_{K2}^{(3)max} = \frac{10.5}{\sqrt{3} \cdot (4.635 + 7.496)} = 0.50 \text{ кА};$$

$$I_{K2}^{(3)min} = \frac{10.5}{\sqrt{3} \cdot (6.85 + 7.496)} = 0.423 \text{ кА}.$$

Расчёт токов двухфазного короткого замыкания производится по следующей формуле:

$$I_N^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_N^{(3)} = 0.866 \cdot I_N^{(3)}. \quad (7.4)$$

$$I_{K2}^{(2)max} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 0.50 = 0.433 \text{ кА};$$

$$I_{K2}^{(2)min} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 0.423 = 0.366 \text{ кА}.$$

Результаты расчетов тока короткого замыкания заносим в таблицу 7.1

Таблица 7.1 – Результаты расчёта токов короткого замыкания

Точка короткого замыкания	Максимальный режим		Минимальный режим	
	$I_{K3}^{(3)}, \text{кА}$	$I_{K3}^{(2)}, \text{кА}$	$I_{K3}^{(3)}, \text{кА}$	$I_{K3}^{(2)}, \text{кА}$
K2	0.50	0.433	0.423	0.366

7.4 Расчет параметров резистивного заземления нейтрали на ГПП «Хойники-1»

Согласно [10] рекомендуется выбирать в качестве заземления нейтрали резистивное заземление. Для этого необходимо рассчитать емкостные токи отходящих линий и выбрать резистор и трансформатор для заземления нейтрали.

Определим емкостные токи отходящих линий по формуле (7.5):

$$I_L = (U_L \cdot L)/350, \quad (7.5)$$

где U_L – напряжение линии, кВ;

L – длина линии, км.

$$I_{c317} = (10 \cdot 18.74)/350 = 0.535 \text{ A};$$

$$I_{c316} = (10 \cdot 6.37)/350 = 0.182 \text{ A};$$

$$I_{c315} = (10 \cdot 5.26)/350 = 0.15 \text{ A};$$

$$I_{c314} = (10 \cdot 38.24)/350 = 1.093 \text{ A};$$

$$I_{c318} = (10 \cdot 2.07)/350 = 0.059 \text{ A};$$

Произведём расчёт и выбор резистора для заземления нейтрали:

$$R_N = X_c \cdot \frac{k_{\Pi} - 1}{3.4 - k_{\Pi}}, \quad (7.6)$$

где X_c – сопротивление сети, Ом;

k_{Π} – коэффициент перенапряжения, равен 2.6 [12].

Рассчитаем сопротивление сети:

$$X_c = \frac{U_{\Phi}}{I_{c\Sigma}}, \quad (7.7)$$

где U_{Φ} – фазное напряжение сети, кВ;

$I_{c\Sigma}$ – суммарный емкостной ток сети, А.

$$I_{c\Sigma} = 0.535 + 0.182 + 0.15 + 1.093 + 0.059 = 2.019 \text{ A}.$$

Сопротивление сети:

$$X_c = \frac{(10.5/\sqrt{3})}{2.019} = 3002.6 \text{ Ом}.$$

Сопротивление резистора:

$$R_N = 3002.6 \cdot \frac{2.6 - 1}{3.4 - 2.6} = 4879.2 \text{ Ом}.$$

Принимаем резистор с ближайшим большим сопротивлением РЗН-5500 Ом.

С учётом нового сопротивления резистора, равным 5500 Ом, коэффициент перенапряжения принимает новое значение $k_{\Pi} = 2.656$. Как видно, этот параметр увеличился, следовательно, произошло снижение уровня перенапряжений в сети.

					ДП 1-43 01 03 01-22	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Рассчитаем мощность трансформатора для подключения резистивного заземления по формуле 7.8:

$$S_T = \frac{U^2}{3 \cdot k_{\text{пер}} \cdot R_N}, \quad (7.8)$$

где U – напряжение для подключения трансформатора заземления нейтрали, кВ;

$k_{\text{пер}}$ – коэффициент перегрузки, равен 1.4;

R_N – сопротивление резистора для заземления нейтрали, Ом.

$$S_T = \frac{10.5^2}{3 \cdot 1.4 \cdot 5500} = 4.8 \text{ кВА}$$

Выбираем трансформатор для заземления нейтрали ТСНЗ-16/10.

Трансформатор для заземления нейтрали подключаем к шинам напряжением 10 кВ. Схема подключения трансформатора и схему подключения резистора для заземления нейтрали представлена на рисунке 7.4.

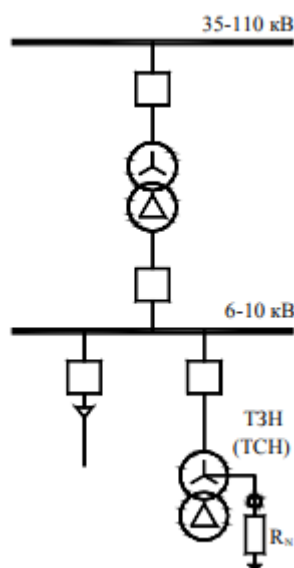


Рисунок 7.4 – Схема включения РЗН через нейтраль трансформатора

7.5 Выбор уставки РЗА с учетом резистивного заземления нейтрали на ГПП «Хойники-1»

В качестве основных и резервных защит на отходящих линиях применяют:

- максимальную токовую защиту;
- токовую отсечку;

- защиту от перегрузки;
- защиту от замыкания на землю.

Ток срабатывания МТЗ:

$$I_{сз} = \frac{K_H \cdot K_{сз.п}}{K_B} \cdot I_{р.мах}, \quad (7.9)$$

где K_H – коэффициент надежности равный 1.1;

$K_{сз.п}$ – коэффициент самозапуска равный 1.2;

K_B – коэффициент возврата равный 0.95.

Выдержка времени МТЗ вводится для замедления действия защиты с целью обеспечения временной селективности действия защиты последующего элемента. Для этого время срабатывания защиты предыдущей линии выбирается большей времени срабатывания защиты предыдущей линии:

$$t_{сз.посл} = t_{сз.пред} + \Delta t, \quad (7.10)$$

где Δt – ступень селективности.

Величина Δt состоит из следующих слагаемых: времени отключения выключателя (0.05...0.1с), времени возврата защиты (0.05с), погрешности по времени последующей и предыдущей защит (3...5%) и необходимого запаса (0.05...0.1с).

Время действия защиты равно собственному времени срабатывания РЗА.

$$t_c = t_{рза} + t_{во}, \quad (7.11)$$

где $t_{во}$ – время действия выключателя на отключение.

Коэффициент чувствительности:

$$K_{\text{ч}} = \frac{0.87 \cdot I_{\text{min}}^{(3)}}{I_{сз}} \geq 1.5. \quad (7.12)$$

Ток срабатывания токовой отсечки:

					ДП 1-43 01 03 01-22	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$I_{сз.то} = K_H \cdot I_{max}^{(3)}, \quad (7.13)$$

где K_H – коэффициент надежности равный 1.2 для цифровых реле.

Коэффициент чувствительности токовой отсечки:

$$K_{\text{ч}} = \frac{0.87 \cdot I_{min}^{(3)}}{I_{сз}} \geq 1.2. \quad (7.14)$$

Ток срабатывания защиты от перегрузки:

$$I_{сз.пер} = \frac{K_H}{K_B} \cdot I_{ном}, \quad (7.15)$$

где K_H – коэффициент надёжности, равный 1.05;

K_B – коэффициент возврата, равный 0.95.

Ток срабатывания ненаправленной защиты от замыкания на землю:

$$I_{сз} = K_{отс} \cdot K_{бр} \cdot I_{с.пр}, \quad (7.16)$$

где $K_{отс}$ – коэффициент отстройки, равный 1.2;

$K_{бр}$ – коэффициент броска, равный 1.8;

$I_{с.пр.}$ – ток присоединения, А.

Коэффициент чувствительности:

$$K_{\text{ч}} = \frac{\Sigma I_c - I_{с.пр.}}{I_{сз.}} \geq 1.2. \quad (7.17)$$

Рассчитаем параметры срабатывания защит МТЗ и ТО, а также определим уставки реле и коэффициенты чувствительности для линии №317 с учетом всех установленных аппаратов:

1. Максимальная токовая защита

$$I_{\text{мах.раб}} = I_{\text{вл317}} = 20.49 \text{ А};$$

					ДП 1-43 01 03 01-22	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$I_{сз} = \frac{1.1 \cdot 1.2}{0.95} \cdot 20.49 = 28.47 \text{ A.}$$

Коэффициент трансформатора тока, установленного на линии №317 равен $K_I = 6$, так как ток первичной обмотки равен 30А вторичной равен 5.

Ток срабатывания реле:

$$I_{с.р} = \frac{28.47}{6} = 4.75 \text{ A.}$$

Так как на цифровых реле можно установить любое значение тока срабатывания, то округлять получившееся значение нецелесообразно.

Коэффициент чувствительности МТЗ будет равен:

$$K_{\text{ч}} = \frac{0.87 \cdot 423}{28.47} = 12.9 \geq 1.5.$$

Коэффициент чувствительности удовлетворяет требованию ПУЭ.

Время срабатывания защиты будет равняться:

$$t_{ср.з} = t_{пза} = 0.1 \text{ с.}$$

2. Токовая отсечка.

$$I_{с.з.} = 1.2 \cdot 500 = 600 \text{ A;}$$

$$I_{с.р.} = \frac{600}{6} = 100 \text{ A;}$$

$$K_{\text{ч}} = \frac{0.87 \cdot 885}{600} = 1.28 > 1.2.$$

Условие выполняется.

3. Защита от перегрузки.

$$I_{сз} = \frac{1.05}{0.95} \cdot 20.49 = 22,6 \text{ A;}$$

$$I_{ср} = \frac{22,6}{6} = 3,8 \text{ A.}$$

Время срабатывания защиты будет равняться $t_{ср.з} = 5 \text{ с.}$

4. Защита от замыкания на землю

Емкостные токи линии были рассчитаны при выборе резистивного заземления нейтрали и равны:

$$I_{с317} = 0.535 \text{ A;}$$

$$I_{с316} = 0.182 \text{ A;}$$

$$I_{с315} = 0.15 \text{ A;}$$

					ДП 1-43 01 03 01-22	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$I_{c314} = 1.093 \text{ A};$$

$$I_{c318} = 0.059 \text{ A};$$

По формуле 7.16:

$$I_{c.3.317} = 1.2 \cdot 1.8 \cdot 0.535 = 1.156 \text{ A};$$

$$I_{c.3.316} = 1.2 \cdot 1.8 \cdot 0.182 = 0.393 \text{ A};$$

$$I_{c.3.315} = 1.2 \cdot 1.8 \cdot 0.15 = 0.324 \text{ A};$$

$$I_{c.3.314} = 1.2 \cdot 1.8 \cdot 1.093 = 2.361 \text{ A};$$

$$I_{c.3.318} = 1.2 \cdot 1.8 \cdot 0.059 = 0.127 \text{ A};$$

По формуле 7.17:

$$K_{ч.317} = \frac{2.019 - 0.535}{1.156} = 1.28 \text{ (удовлетворяет требованиям ПУЭ);}$$

$$K_{ч.316} = \frac{2.019 - 0.182}{0.393} = 2.65 \text{ (удовлетворяет требованиям ПУЭ);}$$

$$K_{ч.315} = \frac{2.019 - 0.15}{0.324} = 5.77 \text{ (удовлетворяет требованиям ПУЭ);}$$

$$K_{ч.314} = \frac{2.019 - 1.093}{2.361} = 0.39 \text{ (не удовлетворяет требованиям ПУЭ);}$$

$$K_{ч.318} = \frac{2.019 - 0.059}{0.127} = 15.4 \text{ (удовлетворяет требованиям ПУЭ).}$$

Для ВЛ-314 устанавливаем направленную защиту. Задаем $K_{ч}$ равны 2 и рассчитаем ток срабатывания:

$$U_{c.з.} = 15 \dots 20 \text{ В.}$$

$$\varphi_{м.ч.} = +90^\circ.$$

$$t_{c.з.} = 0,1 \text{ с.}$$

$$I_{c.з.314}' = \frac{2.019 - 1.093}{2} = 0,463 \text{ А.}$$

Направленная защита от замыкания на землю удовлетворяет требованиям ПУЭ.

5. Дуговая защита на фототиристорах.

В ячейке КРУ фототиристоры дуговой защиты устанавливаются по 2 на одном кронштейне в линейном (кабельном) отсеке, отсеке выключателя (трансформатора напряжения и так далее) и в отсеке сборных шин в зависимости от применяемой конструкции КРУ. Фототиристоры устанавливаются

					ДП 1-43 01 03 01-22	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

таким образом, чтобы ими просматривался защищаемый отсек. Действие фототиристоров кабельного отсека, отсека выключателя осуществляется на отключение собственного выключателя. При возникновении КЗ в отсеке сборных шин через фототиристоры по шинкам дуговой защиты подают сигнал на отключение вводного или секционного выключателя.

Выводы

В данном разделе были рассмотрены основные защиты отходящих линий 10кВ. В качестве основной защиты были приняты к установке устройства микропроцессорной защиты и автоматики МР301, так как данные виды защит удовлетворяют всем требованиям защит отходящих фидеров.

Для расчета токов короткого замыкания составлена схема замещения распределительной сети. Ток трехфазного кз в максимальном режиме равен 0,5 кА, ток двухфазного кз в минимальном режиме равен 0,366 А,

В ходе расчетов на отходящей линии приняли уставки токовой отсечки, максимально токовой защиты, защиты от перегрузки и защиты от замыканий на землю.

					ДП 1-43 01 03 01-22	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		