Некоммерческое акционерное общество

АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ

Кафедра электроснабжения промышленных предприятий

ОСНОВЫ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Методические указания и задание по выполнению расчетно-графических работ № 1,2,3 для студентов специальности 5В071800 – Электроэнергетика и 5В081200-Энергобеспечение сельского хозяйства

Алматы 2015

НЕКОММЕРЧЕСКОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ

Кафедра электроснабжения промышленных предприятий

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебно-методической работе
_____ С. В. Коньшин
«___»_____2016 г.

ОСНОВЫ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Методические указания и задание по выполнению расчетно-графических работ № 1,2,3 для студентов специальности 5В071800 – Электроэнергетика и 5В081200-Энергобеспечение сельского хозяйства

СОГЛАСОВАНО
Начальник УМО
_____ М.А. Мустафин
«___»_____2016г.
Председатель ОУМК по МОиЭ
_____Б.К. Курпенов
«___»_____2016г.
Редактор
_____ Н.М. Голева
«___»_____2016г.
Специалист по стандартизации
_____ Н.К. Молдабекова
«___»_____2016г.

Рассмотрено и одобрено на заседании кафедры ЭПП
протокол № 3
от «30» октября 2015г.
И.о. зав. кафедрой ЭПП, доцент
_____ М.В. Башкиров
Составители:
Доцент кафедры ЭПП
_____ М.В. Башкиров
Ст. преподаватель кафедры ЭПП
_____ К.М.Асанова

Алматы 2016

СОСТАВИТЕЛИ: М.В. Башкиров. К.М. Асанова. Основы релейной защиты электроэнергетических систем. Методические указания по выполнению расчетно-графических работ № 1,2,3 для студентов специальности 5В071800 - Электроэнергетика и 5В081200 - Энергобеспечение сельского хозяйства – Алматы: АУЭС, 2016. 32 – с.

В расчетно-графических работах по дисциплине «Основы релейной защиты электроэнергетических систем» рассмотрены вопросы выбора трансформаторов тока и их проверки по кривым 10% погрешности, расчеты резервных и основных защит трансформаторов, а так же расчет защит цехового трансформатора, высоковольтных и низковольтных двигателей.

Ил.4 , табл. 12 , библиогр. 10 - назв.

Рецензент: старший преподаватель Б.К. Курпенов

Печатается по плану издания некоммерческого акционерного общества «Алматинский университет энергетики и связи» на 2016 г.

© НАО «Алматинский университет энергетики и связи», 2016 г.

Содержание

Введение…….. 4
1 РГР №1. Проверка трансформаторов тока на 10%-ную полную погрешность по кривым предельных кратностей……. 5
2 РГР №2. Расчет токов КЗ и дифференциальной защиты трансформатора…… 12
3 РГР №3. Расчет защиты цехового трансформатора. Расчет защиты высоковольтных двигателей и выбор низковольтных автоматов и предохранителей для защиты низковольтных двигателей ……..... 24
Список литературы…….. 33

Введение

Согласно учебному плану, студенты, обучающиеся по специальности 5В071800 – Электроэнергетика, изучают курс «Основы релейной защиты», в котором предусмотрены 3 расчетно-графические работы, предполагающие закрепление студентами пройденных разделов дисциплины.

К сдаче экзаменов по курсу студенты допускаются после успешного выполнения и защиты расчетно-графических работ.

1 Расчетно-графическая работа №1. Проверка трансформаторов тока на 10%-ную полную погрешность по кривым предельных кратностей

1.1 Задание

1.1.1 Выбрать номер варианта задания по первой букве фамилии, предпоследней и последней цифрам зачетной книжки в таблицах 1.3, 1.4.

1.1.2 Определить вторичную нагрузку трансформаторов тока в зависимости от схемы соединений трансформаторов тока и от вида КЗ.

1.1.3 Определить допустимое значение сопротивления вторичной нагрузки $Z_{н.доп}$ по кривым предельной кратности трансформаторов тока. Сравнить $Z_{н.доп}$ с фактическим расчетным значением сопротивления нагрузки трансформаторов тока $Z_{н.расч}$. Сделать вывод о допустимости подключаемой нагрузки.

1.2 Методические указания

Трансформаторы тока, питающие релейную защиту, должны, работать с определенной точностью в пределах значений токов КЗ, на которые должна реагировать релейная защита. Эти токи, как правило, превышают номинальные токи трансформаторов тока $I_{1номТА}$, и, следовательно, точная работа трансформаторов тока с погрешностью, не превосходящей определенного значения, должна обеспечиваться при первичных токах $I_1 > I_{1ном}$. На основании опыта эксплуатации и теоретического анализа принято, что для определения правильной работы большинства устройств релейной защиты погрешность трансформаторов тока не должна превышать по току ΔI 10%, по углу - 7°. Эти требования обеспечиваются, если полная погрешность трансформаторов тока ε <10% или, иначе говоря, если ток намагничивания не превосходит 10% от тока I_1, проходящего по трансформатору тока, т.е. $I_{ном} \le 0{,}1 \cdot I_1$.

Погрешность трансформатора тока зависит от кратности первичного тока K_{10} и нагрузки вторичной обмотки $Z_н$. Для каждого типа трансформатора тока имеются значения K_{10} и $Z_н$, при которых погрешность ε будет равна 10%. Кривые предельной кратности K_{10} заводами-изготовителями трансформаторов тока приводятся в заводской информации для всех трансформаторов [6].

1.3 Определение вторичной нагрузки трансформаторов тока

Фактическая расчетная вторичная нагрузка $Z_{н\ расч}$ трансформатора тока зависит от сопротивления реле и соединительных приборов, схемы соединения трансформаторов тока и от вида КЗ. Расчетные формулы для определения вторичной нагрузки (на фазу) трансформаторов тока для основных схем соединения приведены в таблице 1.2 [2].

Сопротивление вторичных цепей, состоящих из релейной аппаратуры и соединительных проводов, может быть либо измерено на переменном токе с помощью вольтметра и амперметра, либо определено с помощью следующих выражений:

а) сопротивление соединительных проводов:

$$r_{пр} = \frac{l}{\gamma \cdot S}, \qquad (1.1)$$

где l – длина провода (кабеля) от трансформатора тока до реле, м;

S – сечение провода (жилы кабеля), мм^2;

γ – удельная проводимость, м/Ом мм^2, для меди равна 57, для алюминия - 34,5.

б) полное сопротивление реле определяется, как правило, по потребляемой мощности S, которая указывается в каталогах и справочниках:

$$Z_р = \frac{S}{I^2}, \qquad (1.2)$$

где S - потребляемая мощность, ВА;

I - ток, при котором задана потребляемая мощность, А.

1.4 Проверка на 10%-ную полную погрешность по кривым предельной кратности

Специальные кривые предельной кратности представляют собой зависимость допустимого по условию ε=10% значения сопротивления нагрузки $Z_н$ на трансформатор тока от значения предельной кратности K_{10}, вычисляемого по выражению:

$$K_{10} = \frac{I_{1рас}}{I_{1номТА}}, \qquad (1.3)$$

где $I_{1ном\ ТА}$ - первичный номинальный ток трансформатора тока;

$I_{1расч}$ - первичный расчетный ток, при котором должна обеспечиваться работа трансформаторов тока с погрешностью не более 10%.

Значение $I_{1расч}$ выбирается различным для разных типов релейной защиты:

а) для токовых защит с независимой характеристикой выдержки времени и, в том числе, для токовых отсечек без выдержки времени:

$$I_{1расч}=1,1\cdot I_{сз}; \quad (1.4)$$

б) для продольных дифференциальных защит (трансформаторов, генераторов, шин, линий) $I_{расч}$ принимается равным наибольшему значению тока при внешнем (сквозном) КЗ.

1.5 Расчетная проверка трансформаторов тока

Расчетная проверка выполняется в следующем порядке:

а) определяется по выражению (1.3) значение предельной кратности K_{10};

б) подбирается кривая предельной кратности, соответствующая типу трансформатора тока, классу обмотки и коэффициенту трансформации, (рисунок 1.1, 1.2) [6].

Номинальный ток трансформатора тока выбирается по шкале номинальных токов для ТТ (таблицу 1.1). Номинальный ток трансформатора тока должен быть равен или быть ближайшим большим номинального тока фидера.

Кривые предельных кратностей трансформатора тока приведены на рисунке 1.1, 1.2;

Таблица 1.1– Шкала трансформаторов тока

ТПЛ-10К	15	20	30	40	50	60	100	150	200	250	300	400	600	800	1000	1500
ТФНД-35М	20	30	40	50	60	100	150	200	250	300	400	600	800	1000	1500	2000

в) для значения K_{10} из п.1.4 по соответствующей кривой предельной кратности рисунка 1.1, 1.2 определяется допустимое значение сопротивления вторичной нагрузки $Z_{ндоп}$. При этом значение $Z_{ндоп}$ – полная погрешность ε=10%, а токовая $f_{ТА}$ – несколько меньше 10%;

г) $Z_{ндоп}$ сравнивается с фактическим наибольшим расчетным значением сопротивления нагрузки трансформатора тока $Z_{н.расч}$. $Z_{н.расч}$ рассчитывается по формулам, приведенным в таблице 1.2 в зависимости от варианта схемы и вида КЗ. Если $Z_{н\ расч} \le Z_{н\ доп}$, то $\varepsilon < 10\%$.

Таблица 1.2

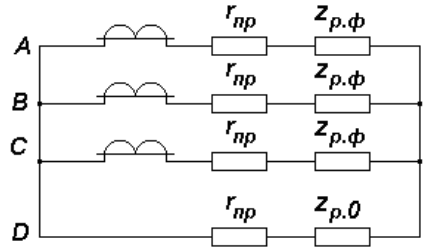
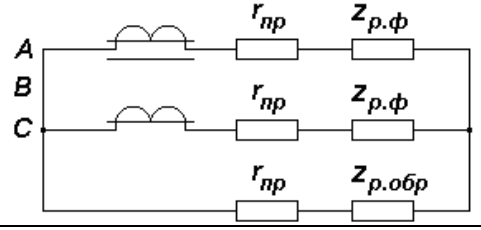
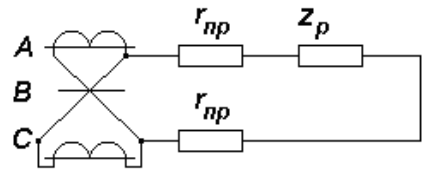
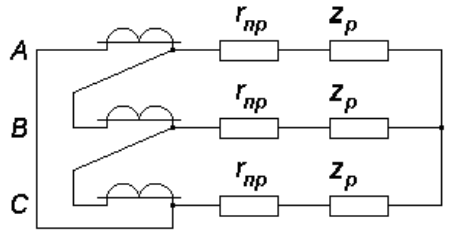
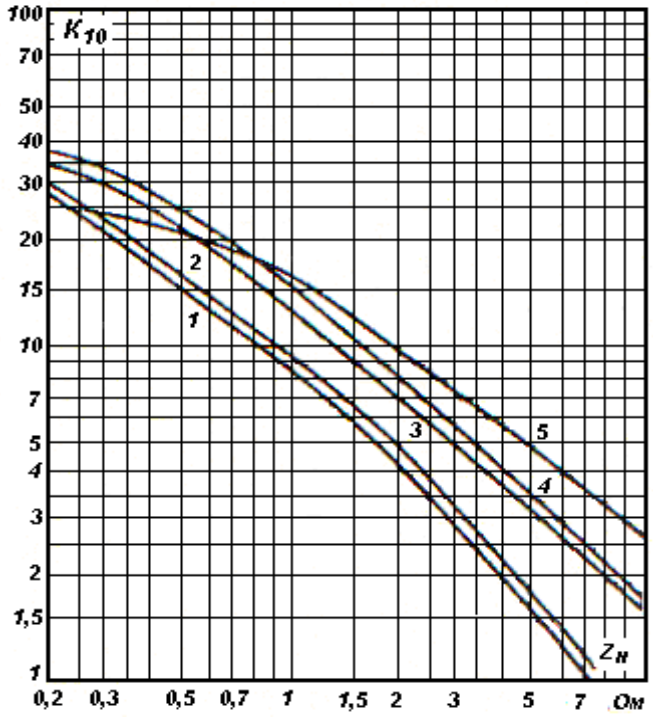
№ пп	Схема соединения трансформаторов тока и вторичной нагрузки	Вид к.з.	Вторичная расчетная нагрузка трансформаторов тока (на фазу) $z_{н.расч.}$
1		Трехфазное и двухфазное	$z_{Н.РАСЧ} = r_{ПР} + z_{Р} + r_{ПЕР}$
		Однофазное	$z_{Н.РАСЧ} = 2r_{ПР} + z_{Р.Ф} + z_{Р.ОБР} + r_{ПЕР}$
2		Трехфазное	$z_{Н.РАСЧ} = \sqrt{3}\, r_{ПР} + z_{Р.Ф} + z_{Р.ОБР} + r_{ПЕР}$
		Двухфазное *АВ* или *ВС*	$z_{Н.РАСЧ} = 2r_{ПР} + z_{Р.Ф} + z_{Р.ОБР} + r_{ПЕР}$
		Двухфазное за трансформатором Y / Δ - 11	$z_{Н.РАСЧ} = 3r_{ПР} + z_{Р.Ф} + 2z_{Р.ОБР} + r_{ПЕР}$
3		Трехфазное	$z_{Н.РАСЧ} = \sqrt{3}\, r_{ПР} + z_{Р.Ф} + z_{Р.ОБР} + r_{ПЕР}$
		Двухфазное *АС*	$z_{Н.РАСЧ} = 4r_{ПР} + 2z_{Р} + r_{ПЕР}$
		Двухфазное *АВ* или *ВС*	$z_{Н.РАСЧ} = 3r_{ПР} + z_{Р.Ф} + 2z_{Р.ОБР} + r_{ПЕР}$
4		Трехфазное и двухфазное: двухфазное за трансформатором Y / Δ - 11	$z_{Н.РАСЧ} = 3r_{ПР} + 3z_{Р} + r_{ПЕР}$
		Однофазное	$z_{Н.РАСЧ} = 2r_{ПР} + 2z_{Р} + r_{ПЕР}$

Таблица 1.3 – Исходные данные

Первая буква фамилии	А, Б, В, Г, Д, Е, Ж, З, И, К, Л, М, Н									
Последняя цифра зачетки	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Схема соединения тр-ра тока	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2
Длина соединительного кабеля, м	50	60	70	75	80	85	90	100	110	115
Сечение жилы кабеля,мм^2	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
Сопротивление переходных контакт.	0,05	0,05	0,06	0,56	0,06	0,05	0,05	0,04	0,05	0,06
Сопротивление реле в фазе А и С $Z_{pA}= Z_{pC}$	1,2	1	0,9	1,3	0,8	0,7	0,5	1,1	0,6	0,7
Сопротивление реле в фазе В, Z_{pB}	0,8	0,7	0,5	0,7	0,6	-	-	-	-	-
Сопротивление реле в обратном проводе	0,7	0,8	0,9	0,65	0,75	0,7	0,8	0,9	0,65	0,75
Предпоследняя цифра зачетки	*1*	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*	*9*	*0*
Материал кабеля	Cu	Cu	Cu	Al	Al	Al	Al	Cu	Cu	Cu
Номинальн. ток фидера	400	450	430	500	550	750	800	730	740	700
$I_{кз} = I_{1расч}$	2400	2460	2500	3000	3200	4500	4600	4500	4650	4400
Тип трансформаторов тока	ТПЛ -10к	ТПЛ -10к	ТПЛ -10к	ТПЛ -10к	ТПЛ -10к	ТПЛ -10к	ТПЛ -10к	ТПЛ -10к	ТПЛ-10к	ТПЛ -10к

Таблица 1.4 – Исходные данные

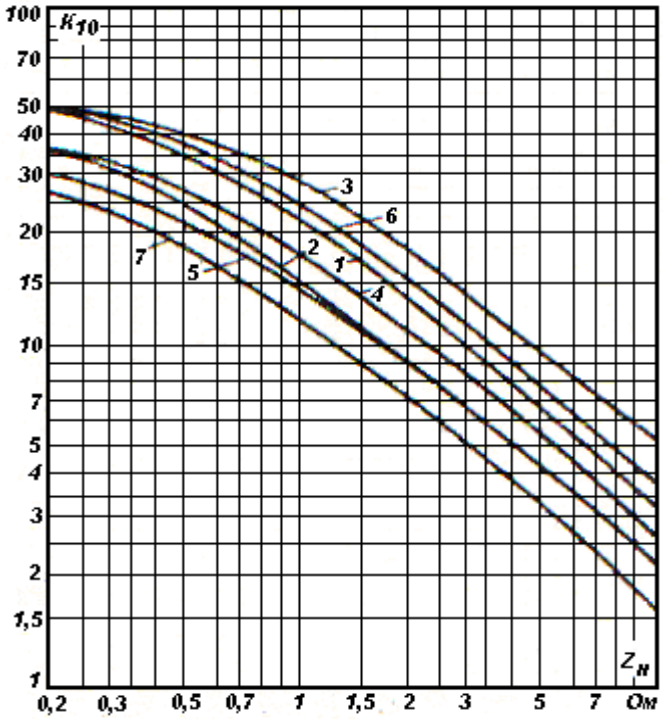
Первая буква фамилии	О, П, Р, С, Т,У, Ф, Х, Ц, Ч, Ш, Щ, Ю, Я									
Последняя цифра зачетки	*1*	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*	*9*	*0*
Схема соединения трансформаторов тока	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4
Длина соединителей контрольного кабеля провода, м	35	40	45	50	75	80	85	90	100	110
Сечение жилы кабеля провода, мм^2	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
Сопротивление переходных контактов	0,05	0,06	0,05	0,04	0,05	0,05	0,05	0,06	0,05	0,06
Сопротивление реле фазы А и С $Z_{pA}= Z_{pC}$	1,3	1,4	1,2	1,1	1,0	0,9	0,7	0,6	0,8	0,9
Сопротивление реле фазы В $Z_{pв}$	-	-	-	-	-	0,4	0,5	0,8	0,6	0,7
Предпоследняя цифра зачетки	*1*	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*	*9*	*0*
Материалы жилы кабеля или провода	Al	Al	Al	Al	Al	Cu	Cu	Cu	Cu	Cu
Номинальный ток фидера	100	150	120	300	165	130	120	110	95	150
$I_{кз}= I_{1расч}$	800	1200	1000	1600	1200	1000	600	800	700	900
Тип трансформаторов тока	ТФ НД-35М	ТФ НД-35М	ТФ НД-35М	ТФ НД-35М	ТФ НД-35М	ТФ НД-35М	ТФ НД-35М	ТФ НД-35М	ТФ НД-35М	ТФ НД-35М



ТПЛ – 10К

1 – $К_{Тном}$=5/5÷ 60/5; 2 – $К_{Тном}$=100/5÷ 400/5; 600/5; 3 – $К_{Тном}$=800/5; 4 – $К_{Тном}$=1000/5; 5 – $К_{Тном}$=1500/5.

Рисунок 1.1



ТФНД – 35М

1 – $К_{Тном}$ = 15/5÷ 600/5 класса $Р_1$; 2 – $К_{Тном}$ = 15/5÷ 600/5 класса 0,5; 3 – $К_{Тном}$ = 800/5; 1000/5; 2000/5; класса $Р_1$; 4 – $К_{Тном}$ = 800/5; класса 0,5; 5 – $К_{Тном}$ = 1000/5; 2000/5; класса 0,5 ; 6 – $К_{Тном}$ = 1500/5 класса $Р_1$ и $З_2$; 7 – $К_{Тном}$ = 1500/5 класса 0,5.

Рисунок 1.2

2 Расчетно-графическая работа №2. Расчет токов КЗ и защит трансформатора

2.1 Задание

2.1.1 Выбрать номер варианта задания по двум признакам: последней и предпоследней цифрам номера зачетной книжки по таблицам 2.1, 2.2.

2.1.2 Для расчета токовых отсечек, дифференциальной защиты трансформатора ГПП, максимальной токовой защиты и проверки защит по чувствительности, произвести расчет токов короткого замыкания (трех и двухфазное КЗ) в точках К-2 – К-4. (Технические данные трансформатора в приложении А, таблица А-1).

2.1.3 Выбрать и начертить полные принципиальные схемы защит, произвести расчет уставок токовых, дифференциальных реле, чувствительности защит, выдержки времени максимальных токовых защит (МТЗ). После завершения всех расчетов необходимо построить карту селективности токовых защит.

Основные параметры к заданиям приведены в таблицах 2.1, 2.2, (рисунки 2.1 и 2.2).

В РГР входит пояснительная записка со схемами защит.

Согласно ПУЭ на трансформаторах ГПП мощностью 6,3 МВА, устанавливаются следующие виды защит и автоматики:

а) продольная дифференциальная защита;

б) газовая защита;

в) максимальная токовая защита на стороне высшего напряжения с двумя или одной выдержкой времени;

г) токовая защита от перегрузки с действием на сигнал;

д) автоматическое регулирование напряжения трансформаторов под нагрузкой.

На секционном выключателе сборных шин 6-10 кВ:

а) максимальная токовая защита без выдержки времени (токовая отсечка), вводимая только на период действия АВР;

б) АВР секционного выключателя 6-10 кВ.

Для расчета токовых защит ток нагрузки можно выбрать по номинальной мощности защищаемого элемента (трансформатора, двигателя), допустимому току кабельной линии, а максимальный ток с учетом эксплуатационных перегрузок (или тока самозапуска) увеличить в 2-3 раза. Трансформаторы тока можно выбрать в 1,5-2,0 раза больше номинального тока защищаемого элемента (при $I_н$ = 76 А, $К_т$ = 100/5 - 150/5).

Карта селективности строится для токовых защит (МТЗ и ТО), при этом производится графическое согласование время-токовых характеристик защит последовательных элементов системы электроснабжения напряжением 0,4 (0,69) – 6(10) – 35 (220) кВ.

Таблица 2.1 – Параметры элементов системы электроснабжения

Элементы шифра электроснабжения / Последняя цифра системы	А, Б, В, Г, Д, Е, Ж, З, И, К, Л, Я, Ы									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Схема электроснабжения завода, рисунок 2.1-2.2	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2
Мощность системы, МВА	600	700	800	900	□	1000	□	950	800	□
Мощность КЗ, МВА	700	850	950	1000	1200	950	1200	1100	900	1500
Напряжение системы, кВ	37	37	115	115	115	115	220	115	37	220
Мощность трансформаторов ГПП*, МВА	6,3	10	16	10	16	25	40	40	25	63
Асинхронные, синхронные двигатели (6)10 кВ, кВт	630	1000	800	1250	1600	2000	2500	2000	1600	2500
Предпоследняя цифра шифра	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Кабельная линия ГПП-РРП1 ААБ 10(6) – (3х240), км	1,2	1,5	1,7	2,0	1,0	0,8	1,4	1,1	1,6	2,0
Расстояние от п/ст системы до ГПП завода, км	10	15	20	25	8	17	32	22	18	30
Напряжение на сборных шинах ГПП, кВ	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5
Мощность цеховых трансформаторов, кВА	630	1000	1600	2500	630	1000	1600	1000	1600	2500
Напряжение вторичное цеховых п/ст, кВ	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69
Асинхронные двигатели 0,4(0,69)кВ АД1/АД2, кВт	7,5 / 55	11 / 110	15 / 132	22 / 132	37 / 75	37 / 90	30 / 160	7,5 / 37	18,5 / 45	75 / 160

Таблица 2.2 – Параметры элементов системы электроснабжения

12

Элементы шифра электроснабжения \ Последняя цифра системы	М, О, Н, П, Р, Т, У, Ф, С, Ч, Х, Ц, Ш, Щ, Э, Ю									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Схема электроснабжения завода, рисунок 2.1-2.2	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2
Мощность системы, МВА	600	700	800	900	∞	1000	∞	950	800	∞
Мощность КЗ, МВА	700	850	950	1000	1200	950	1200	1100	900	1500
Напряжение системы, кВ	37	37	115	115	115	115	220	115	37	220
Мощность трансформаторов ГПП*, МВА	6,3	10	16	10	16	25	40	40	25	63
Асинхронные, синхронные двигатели (6)10 кВ, кВт	630	1000	800	1250	1600	2000	2500	2000	1600	2500
Предпоследняя цифра шифра	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Кабельная линия ГПП-РРП1 ААБ 10(6) – (3х240), км	1,2	1,5	1,7	2,0	1,0	0,8	1,4	1,1	1,6	2,0
Расстояние от п/ст системы до ГПП завода, км	10	15	20	25	8	17	32	22	18	30
Напряжение на сборных шинах ГПП, кВ	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3
Мощность цеховых трансформаторов, кВА	630	1000	1600	2500	630	1000	1600	1000	1600	2500
Напряжение вторичное цеховых п/ст, кВ	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Асинхронные двигатели 0,4(0,69)кВ АД1/АД2, кВт	7,5 / 55	11 / 110	15 / 132	22 / 132	37 / 75	37 / 90	30 / 160	7,5 / 37	18,5 / 45	75 / 160

13

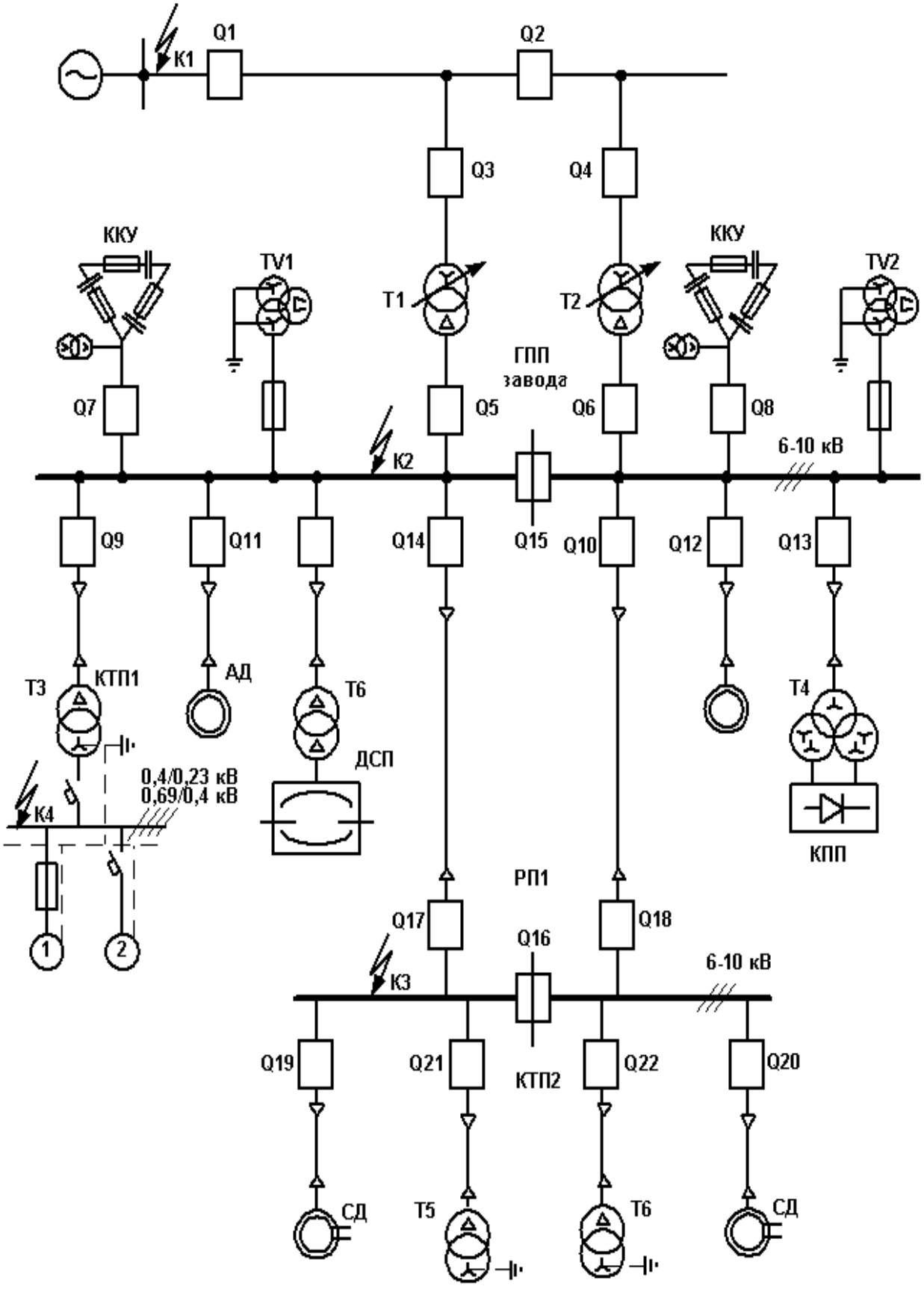


Рисунок 2.1 – Схема электроснабжения промышленного предприятия

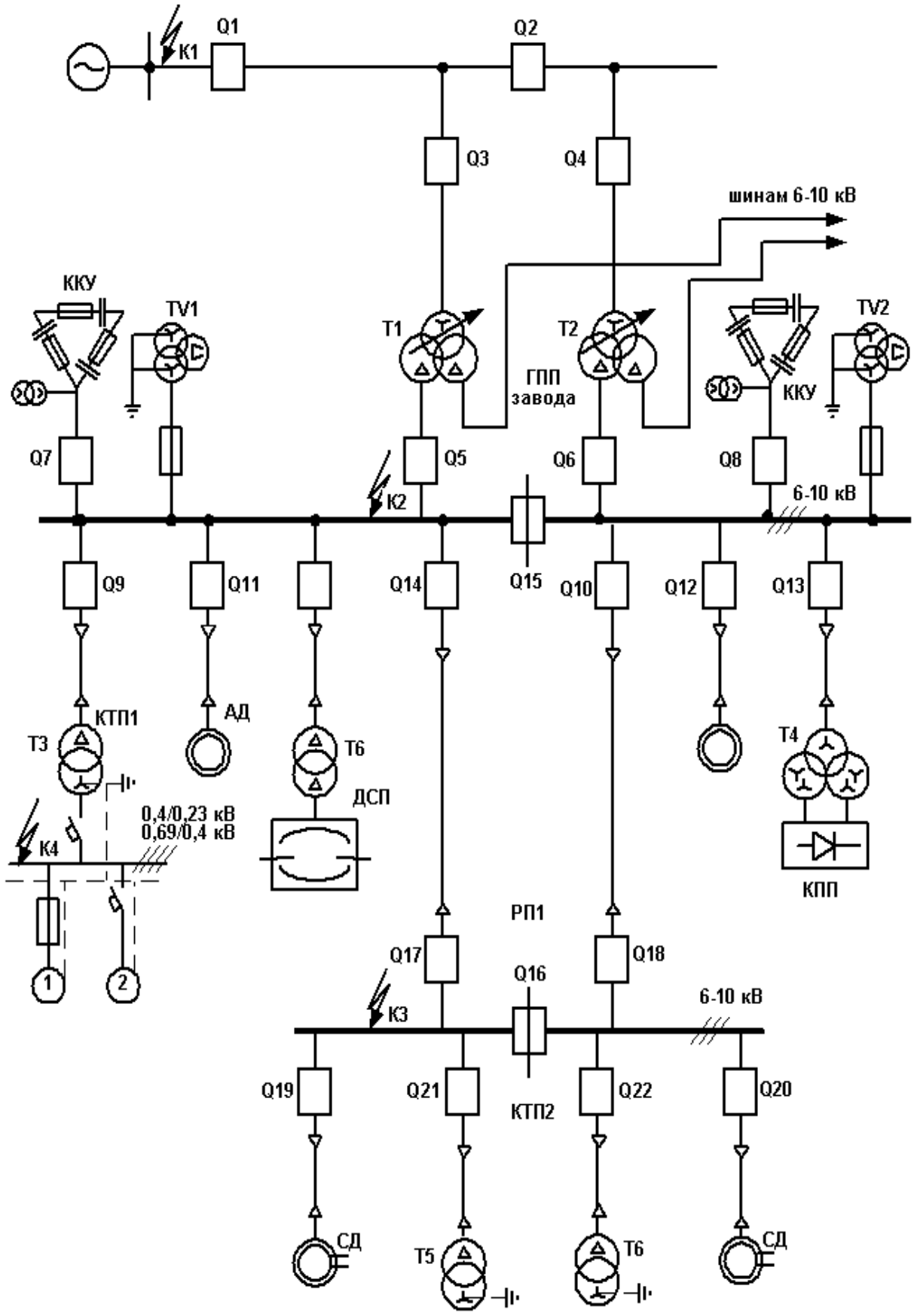


Рисунок 2.2 – Схема электроснабжения промышленного предприятия

2.2 Методические указания к расчету защит трансформатора

2.2.1 Расчет токов короткого замыкания.

Для расчета дифференциальной защиты трансформатора ГПП, максимальной токовой защиты и проверки защит по чувствительности необходимо произвести расчет токов короткого замыкания (трех и двухфазное КЗ) в точках К-2 – К-4.

Для этого составляют схему замещения, учитывая, что секционные выключатели сборных шин ГПП и РП в нормальном режиме питания выключены, и питающие линии и трансформаторы ГПП работают раздельно. Схема замещения представляет собой расчетную схему, в которой все электрические и магнитные (трансформаторные) связи представлены электрическими сопротивлениями. При расчетах токов трехфазных КЗ генерирующие источники (энергосистема, генераторы, электродвигатели) вводятся в схему замещения соответствующими ЭДС, а пассивные элементы, по которым проходит ток КЗ, индуктивными и, при необходимости, активными сопротивлениями.

Расчет можно провести в относительных или именованных единицах. Используем метод относительных единиц.

Принимается базисная мощность: $S_{баз}$=1000 МВА.

ЭДС энергосистемы: E_c^*=1 о.е.

Рассчитываются параметры схемы замещения энергосистемы:

1) Сопротивление системы

$$X_c^* = \frac{S_c}{S_{кз}}, \tag{2.1}$$

$$X_c^* = \frac{S_{баз}}{S_{кз}}, \text{ при } S_c=\infty. \tag{2.2}$$

2) Сопротивление ЛЭП, кабельных линий:

$$X_л^* = X_{уд} \cdot L \cdot \frac{S_{баз}}{U_{ср}^2}, \tag{2.3}$$

где $X_{уд}$=0,4 Ом/км для воздушных линий 6-220 кВ;

$X_{уд}$= 0,08 Ом/км для трехжильных кабелей 6-10 кВ.

3) Сопротивление трансформаторов ГПП, ТП

$$X_{тр}^* = \frac{U_{кз}}{100} \cdot \frac{S_{баз}}{S_{ном.тр}}. \tag{2.4}$$

Определяем результирующие сопротивления $X_{рез}$ цепи КЗ, исходя из сопротивлений до точек КЗ К-1 – К-4.

Рассчитывается базисный ток:

$$I_{баз}=\frac{S_{баз}}{\sqrt{3}\cdot U_{ср}}. \quad (2.5)$$

Рассчитывается ток к.з. в относительных единицах:

$$I^{*}_{кз}=\frac{E^{*}_{c}}{X^{*}_{рез}}. \quad (2.6)$$

Определяется трехфазный ток к.з. в именованных единицах:

$$I^{(3)}_{кз}=I^{*}_{кз}\cdot I_{баз}. \quad (2.7)$$

Двухфазный ток КЗ для проверки чувствительности токовых защит определяется из выражения:

$$I^{(2)}_{кз}=0{,}87\cdot I^{(3)}_{кз}. \quad (2.8)$$

2.2.2 Продольная дифференциальная защита для трансформаторов ($S_{ном.тр.} \geq 6{,}3$ МВА).

Для защиты от повреждений на выводах трансформаторов, а также от внутренних повреждений (КЗ между фазами, на землю и замыкания витков одной фазы) широко применяется дифференциальная защита [3].

Определяются:

а) номинальный первичный ток высокой стороны силового трансформатора:

$$I_{ВН.ном}=\frac{S_{ном.тр.}}{\sqrt{3}\cdot U_{ВН.ном}}; \quad (2.9)$$

б) номинальный первичный ток низкой стороны силового трансформатора:

$$I_{НН.ном}=\frac{S_{ном.тр.}}{\sqrt{3}\cdot U_{НН.ном}}; \quad (2.10)$$

в) коэффициенты трансформации трансформаторов тока:

$$n_{ВН.ТА}=\frac{\mathrm{I}_{\mathrm{ВН.ном}}}{5}\sqrt{3}; \qquad n_{НН.ТА}=\frac{I_{НН.ном}}{5}. \quad (2.11)$$

Схема соединения обмоток трансформатора Т - Y/Δ. Для выравнивания вторичных токов по фазе принимаем схему соединения трансформаторов тока со стороны высокого напряжения – Δ, а со стороны низкого – Y. Коэффициенты схемы: $K_{ВН.СХ}=\sqrt{3}$, $K_{НН.СХ.}=1$;

г) вторичные номинальные токи в плечах дифференциальной защиты :

$$i_{ВН.ном} = \frac{I_{ВН.ном} \cdot K_{ВН.СХ.}}{n_{ВН.ТА}}; \qquad i_{НН.ном} = \frac{I_{НН.ном} \cdot K_{НН.СХ.}}{n_{НН.ТА}}, \tag{2.12}$$

по *большему значению* ($i_{ВН.ном}$ или $i_{НН.ном}$) принимается основная сторона дифференциальной защиты, и все расчеты приводятся к *основной стороне*;

д) предварительный расчет тока срабатывания защиты с дифференциальным реле РНТ-565:

1) Первым условием выбора тока срабатывания защиты $I_{сз}$ является отстройка от броска намагничивания при включении ненагруженного трансформатора под напряжение:

$$I_{сз}=K_н \cdot I_{ном.тр.ОСН.}, \tag{2.13}$$

где $K_н$=1,5 – коэффициент надежности;

$I_{ном.тр.ОСН}$ – номинальный ток силового трансформатора, приведенного к *основной стороне*.

2) Второе условие выбора тока срабатывания $I_{сз}$ защиты является отстройка от тока небаланса $I_{нб.}$

$$I_{сз}=K_н \cdot I_{нб}, \tag{2.14}$$

где $K_н$ =1,3 коэффициент надежности.

$$I_{нб.}= I'_{нб} + I''_{нб} + I'''_{нб}. \tag{2.15}$$

3) На первом этапе расчета уставки по формуле (2.14) дифференциальной защиты $I'''_{íá}$ не учитывается, т.е.

$$I_{сз}=K_н \cdot (I'_{нб} + I''_{нб}), \tag{2.15}$$

где $I'_{нб}$ – составляющая тока небаланса, обусловленная погрешностью (ток намагничивания) трансформаторов тока, питающих дифференциальную защиту:

$$I'_{нб}=K_а \cdot K_{одн} \cdot \varepsilon \cdot I^{(3)}_{кз.макс}, \tag{2.17}$$

где $K_а$=1 – коэффициент, учитывающий переходной режим (апериодическая составляющая);

$K_{одн}$ = 1 – коэффициент, учитывающий однотипность трансформаторов тока;

ε=0,1 – коэффициент, учитывающий 10%-ю погрешность трансформаторов тока;

$I^{(3)}_{кз.макс}$ – максимальное значение тока КЗ за трансформатором, приведенное к *основной стороне* трансформатора;

$I^{//}_{нб}$ – составляющая тока небаланса, обусловленная регулированием напряжения защищаемого трансформатора:

$$I^{//}_{нб} = \frac{\pm \Delta N}{100} I^{(3)}_{к.макс.}, \qquad (2.18)$$

где ± ΔN – полный диапазон регулирования напряжения;

$I^{(3)}_{кз.макс}$ – максимальное значение тока КЗ за трансформатором, приведенное к *основной стороне* трансформатора.

Из двух условий по формулам (2.13) и (2.14) выбираем наибольший ток.

4) Предварительная проверка чувствительности защиты при повреждениях в зоне ее действия:

$$K_ч = \frac{I_{кз.мин.}}{I_{сз}}, \qquad (2.19)$$

где $I_{кз.мин.}$ – минимальный ток КЗ (обычно двухфазное в зоне защиты) приведенный к *основной стороне*.

В соответствии с ПУЭ требуется обеспечить наименьший коэффициент чувствительности не менее 2. Допускается снижение требуемой чувствительности до 1,5, если это связано со значительным усложнением защиты и мощности трансформатора менее 80 МВА.

В данной расчетно-графической работе необходимо рассчитать защиту на реле РНТ-565 независимо от результатов расчетов коэффициента чувствительности, даже если коэффициент чувствительности получается менее требуемого значения, расчет продолжать далее;

е) определение числа витков обмоток реле РНТ-565:

1) Определяется ток срабатывания реле, отнесенный к стороне с большим током в плече (основной стороне):

$$I_{с.р.} = \frac{I_{сз}}{n_{ТА.осн.}} K_{сх.осн.} \qquad (2.20)$$

2) Определяется расчетное число витков обмотки реле основной стороны:

$$W_{осн.расч.} = \frac{F_{с.р.}}{I_{с.р.}}, \qquad (2.21)$$

где $F_{с.р.}$=100±5 Ампер×витков – намагничивающая сила срабатывания реле.

Полученное число витков округляется до ближайшего меньшего числа витков, которое можно установить на реле РНТ-565 ($W_{осн.}$).

3) Определяется расчетное количество витков обмотки, подключенной к неосновной стороне защиты:

$$W_{неосн.расч.} = \frac{W_{осн.} \cdot i_{ном.осн.}}{i_{ном.неосн}}, \quad (2.22)$$

где $i_{ном.осн}$ – вторичный номинальный ток *основной стороны*;

$i_{ном.неосн.}$ – вторичный номинальный ток другого плеча защиты;

Округляем полученное число в *большую сторону* и получаем принятое количество витков обмотки, подключенной к неосновной стороне защиты ($W_{неосн}$).

4) Уточняется ток небаланса.

Составляющая тока небаланса, вызванная разностью расчетных и принятых витков обмоток реле:

$$I_{нб}^{///} = \frac{W_{неосн.рас.} - W_{неосн.}}{W_{неосн.рас.}} \cdot I_{к.з.макс.осн.}^{(3)}, \quad (2.23)$$

где $W_{неос.расч}$, $W_{неосн.}$ – соответственно расчетное и установленное число витков обмоток реле РНТ для неосновной стороны;

$I_{кз.макс}^{(3)}$ – максимальное значение тока КЗ за трансформатором, приведенное к основной стороне трансформатора;

Если получается отрицательное число, то берется модуль числа.

5) Определяем полный ток небаланса по формуле (2.15).

6) Уточняем ток срабатывания защиты по формуле (2.14).

Сравниваем уточненный ток срабатывания защиты с его предыдущим значением.

Если ток срабатывания увеличился после уточнения, необходимо пересчитать, начиная с формулы (2.20), с новым значением $I_{сз}$. Если ток срабатывания не увеличился, то переходим к окончательной проверке чувствительности по формуле (2.19).

7) Рассчитать количество витков дифференциальной и уравнительной обмоток реле РНТ-565.

Число витков дифференциальной обмотки:

$$W_{диф}=W_{осн}. \quad (2.24)$$

Число витков уравнительной обмотки:

$$W_{ур}=W_{неосн} - W_{осн}. \quad (2.25)$$

2.2.3 Ненормальные режимы и защита от них.

а) В качестве защиты от ненормальных режимов применяется максимальная токовая защита (МТЗ).

МТЗ устанавливается с высшей стороны трансформатора, является резервной защитой и действует с выдержкой времени при КЗ.

Ток срабатывания МТЗ выбирается, исходя из условия отстройки (несрабатывания) от перегрузки. Ток перегрузки обычно определяется из рассмотрения 2-х режимов:

1) отключение параллельно работающего трансформатора

$$I_{нагр.макс.}=2\cdot I_{ном.тр.ВН}; \quad (2.26)$$

2) автоматическое подключение нагрузки при действии АВР

$$I_{раб.макс}=I_1 + I_2 \approx 0{,}7\cdot(I_{ном.тр.ВН1}+I_{ном.трВН2}), \quad (2.27)$$

где I_2 – установившийся ток подключившейся нагрузки.

Поэтому в первый момент ток за счет самозапуска будет большим.

Ток срабатывания защиты выбирается по формуле:

$$\mathrm{I}_{сз} = \frac{\mathrm{K}_{н} K_{сзп}}{K_{воз}} \mathrm{I}_{раб.макс.}, \quad (2.28)$$

где $K_н$=1,1÷1,2 для реле РТ-40;

$K_{сзп}$=2,5 – коэффициент самозапуска обобщенной нагрузки;

$K_{воз}$= 0,85 – коэффициент возврата реле.

Коэффициент чувствительности при КЗ в конце второго участка (К-2)

$$K_ч = \frac{\mathrm{I}_{кз.мин}}{\mathrm{I}_{сз}} \geq 1{,}5. \quad (2.29)$$

Выдержка времени выбирается из условия селективности на ступень выше наибольшей выдержки времени $t_П$ защит присоединений, питающихся от трансформатора $t_Т=t_П+\Delta t$;

б) защита от перегрузки, действующая на сигнал.

Ток срабатывания выбирается из условия возврата реле при номинальном токе трансформатора:

$$\mathrm{I}_{сз} = \frac{K_н}{K_{воз}} \mathrm{I}_{ном.тр.ВН}, \quad (2.30)$$

где $K_н$ = 1,05; $K_в$ = 0,8 ÷0,85.

Время действия защиты от перегрузки выбирается на ступень больше МТЗ: $t_{пер}= t_{мтз}+\Delta t$.

3 Расчетно-графическая работа №3. А) Расчет защиты цехового трансформатора

3.1 Задание

3.1.1 Выбрать номер варианта задания по двум признакам: последней и предпоследней цифрам номера зачетной книжки по таблицам 2.1, 2.2. из РГР №2.

3.1.2 Произвести расчет токовой отсечки и МТЗ цехового трансформатора. (Технические данные трансформатора в приложении Б, таблица Б.1).

3.2 Токовая отсечка трансформатора

Рассчитать номинальный ток трансформатора:

$$I_{ном.тр.ВН} = \frac{S_{ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном.ср.}}. \quad (3.1)$$

Ток срабатывания защиты выбирается:

а) из условия отстройки от максимального тока КЗ за трансформатором в т. К2:

$$I_{сз}=K_н \cdot I^{(3)}_{к.макс.}, \quad (3.2)$$

где $К_н$=1,1-1,3 - коэффициент отстройки;

б) из условия отстройки от броска тока намагничивания, возникающего при включении трансформатора под напряжение:

$$I_{сз}=K_н \cdot I_{ном.тр.ВН.}, \quad (3.3)$$

где $K_н$=3-5, для реле РТ-40.

3.3 Ненормальные режимы и защита от них

1) Максимальная токовая защита (МТЗ).

МТЗ устанавливается с высшей стороны трансформатора, является резервной защитой и действует с выдержкой времени при КЗ.

Ток срабатывания МТЗ выбирается, исходя из условия отстройки (несрабатывания) от перегрузки. Ток перегрузки обычно определяется из рассмотрения режима автоматического подключения нагрузки при действии АВР

$$I_{раб.макс}=I_1 + I_2 \approx 0{,}7 \cdot (I_{ном.тр.ВН1}+I_{ном.трВН2}), \quad (3.4)$$

где $I_{ВН2}$ – установившейся ток подключившейся нагрузки.

Поэтому в первый момент ток за счет самозапуска будет большим.

Ток срабатывания защиты выбирается по формуле:

$$I_{сз} = \frac{К_н \cdot К_{сзп}}{К_{воз}} \cdot I_{раб.макс.}, \quad (3.5)$$

где $К_н$=1,1÷1,2 для реле РТ-40;

$К_{сзп}$=2,5 – коэффициент самозапуска обобщенной нагрузки;

$К_{воз}$= 0,85 – коэффициент возврата реле.

Коэффициент чувствительности при КЗ в конце второго участка (К-2):

$$К_ч = \frac{I_{кз.мин}}{I_{сз}} \geq 1{,}5. \quad (3.6)$$

Выдержка времени выбирается из условия селективности на ступень выше наибольшей выдержки времени $t_{П}$ защит присоединений, питающихся от трансформатора $t_Т = t_{П} + \Delta t$.

2) Защита от перегрузки, действующая на сигнал.

Ток срабатывания выбирается из условия возврата реле при номинальном токе трансформатора:

$$I_{сз} = \frac{К_н}{К_{воз}} \cdot I_{ном.тр.ВН}, \quad (3.7)$$

где $К_н$ = 1,05; $К_в$ = 0,8 ÷0,85.

Время действия защиты от перегрузки выбирается на ступень больше МТЗ: $t_{пер} = t_{мтз} + \Delta t$.

Б) Расчет защиты высоковольтных двигателей и выбор низковольтных автоматов и предохранителей для защиты низковольтных двигателей

3.4 Задание

3.4.1 Выбрать номер варианта задания по двум признакам: последней и предпоследней цифрам номера зачетной книжки по таблицам 2.1, 2.2. из РГР №2.

3.4.2 Произвести расчет защиты высоковольтных двигателей.

3.4.3 Произвести выбор автоматов и предохранителей для защиты низковольтных двигателей.

3.5 Методические указания к расчету защит асинхронных и синхронных электродвигателей выше 1000 В

3.5.1 Токовая отсечка.

Для защиты электродвигателей мощностью до 5000 кВт от междуфазных КЗ применяется токовая отсечка (ТО). (Технические данные двигателей в приложении В, таблица В.1).

Первичный ток срабатывания защиты ТО выбирается из условия отстройки от периодической составляющей пусковых токов.

$$I_{сз} = K_н \cdot I_{пуск}, \tag{3.8}$$

где $I_{пуск}$ берется по техническим данным приложения В, таблица В.1;

$K_н$=1,4-1,5 при выполнении ТО с реле РТ-40 для асинхронных двигателей;

$K_н$=1,6-1,8 для синхронных двигателей.

Ток срабатывания реле отсечки определяется по выражению:

$$I_{с.р.} = \frac{I_{сз}}{n_{TA..}} K_{сх}, \tag{3.9}$$

где $K_{сх}$ – коэффициент схемы;

n_{TA} – коэффициент трансформации трансформаторов тока.

Проводится проверка коэффициента чувствительности при КЗ в конце второго участка (К2):

$$K_ч = \frac{I_{кз.мин.}}{I_{сз}} \geq 2. \tag{3.10}$$

3.5.2 Защита от замыканий на землю в обмотке статора.

Установка защиты электродвигателей от однофазных замыканий на землю считается обязательной при токе замыкания на землю 5А и более. Защита от замыканий на землю действует на отключение электродвигателя от сети, а у синхронных электродвигателей - на автоматическое гашение поля, если оно предусмотрено.

Типы защиты – токовая защита нулевой последовательности с реле типа РТЗ-51 или токовая направленная защита нулевой последовательности типа ЗЗП-1. Для защиты от двойных замыканий на землю – однорелейная, с реле типа РТ-40, токовая отсечка нулевой последовательности. Для подключения защиты типа ЗЗП-1, а также для защиты с реле типа РТЗ-51 при числе кабелей, соединяющих электродвигатель с распределительным устройством, не превышающим пяти, применяются трансформаторы тока нулевой последовательности (ТАN) типов ТЗ, ТЗЛ, ТЗЛМ.

Уставки срабатывания реле тока защит от замыканий на землю рассчитываются в первичных токах.

Ток срабатывания защиты с реле типа РТЗ-51 определяются из условия ее надежной отстройки от броска собственного ёмкостного тока, проходящего в месте установки защиты на внешнем перемещающемся замыкании на землю:

$$I_{с.з.} \geq I_{с.з.,расч.}=K_{н}\cdot K_{б}\cdot I_{с}, \qquad (3.11)$$

где $K_{н}$ – коэффициент отстройки ($К_{отс}$=1,2);

$K_{б}$ =2,5 – коэффициент, учитывающий бросок собственного ёмкостного тока;

$I_{с}$ – собственный ёмкостной ток присоединения самого электродвигателя $I_{сд}$ и линии, соединяющей его с распределительным устройством и входящей в зону действия защиты $I_{сд}$:

$$I_{с}=I_{сд}+I_{сл}. \qquad (3.12)$$

При номинальной мощности электродвигателей, не превышающей 2,5–3 МВт, значением $I_{сд}$ в (4.3) можно пренебречь. Собственный емкостный ток кабельной линии, входящей в зону защиты, определяется по формуле:

$$I_{сл}=I_{со}\cdot l\cdot m, \qquad (3.13)$$

где $I_{со}$ – значение собственного ёмкостного тока 1 км кабеля (таблица Д.1);

l – длина линии, км;

m – число кабелей в линии.

4.2.3 Максимальная токовая защита от перегрузок и асинхронного режима (для СД).

Ток срабатывания МТЗ от перегрузки устанавливается из условий отстройки от номинального тока электродвигателя:

$$\mathrm{I_{сз}} = \frac{K_{н}\cdot \mathrm{I_{ном.дв.}}}{\mathrm{K_{воз}}}, \qquad (3.14)$$

где $K_{н}$=1,05;

$K_{воз}$=0,85 для реле РТ-40, РТ-80.

Выдержка времени защиты должна быть больше времени пуска (самозапуска) электродвигателей.

Защита от асинхронного режима устанавливается на всех СД и совмещается с МТЗ от перегрузок.

3.5.3 Защита от понижения напряжения.

Необходимо дать обоснование установке данной защиты, привести принципиальную схему.

Напряжение срабатывания защиты минимального напряжения из условия обеспечения самозапуска электродвигателей:

$$U_{сз}=(0,6 - 0,7)\cdot U_{ном}; \quad (3.15)$$

$$t = \text{(1-2) с.}$$

3.6 Методические указания к расчету защит низковольтных электродвигателей

Для защиты асинхронных двигателей напряжением 380 или 660В от междуфазных коротких замыканий применяются предохранители с плавкими вставками или автоматы с электромагнитными расцепителями. (Технические данные двигателей в приложении Г, таблица Г.1).

Выбор плавких вставок предохранителей и уставок автоматов производится в следующей последовательности:

а) номинальное напряжение предохранителей $U_{ном.пр.}$ и автоматов $U_{ном.ав.}$ должно быть не ниже напряжения сети $U_{с}$:

$$U_{ном.пр} \geq U_{с}., \quad (3.16)$$

$$U_{ном.ав.} \geq U_{с.};$$

б) отключающая способность предохранителей $I_{пр.откл.}$ должна быть достаточно большой, чтобы отключать максимальные токи КЗ, проходящие по защищаемой линии;

в) номинальный ток плавких вставок $I_{вс.ном}$ и расцепителей автоматов $I_{р.ав..ном.}$ должен быть равен или больше длительного режима максимального тока нагрузки двигателя.

$$I_{вс.ном} \geq I_{ном.дв.}, \quad (3.17)$$

$$I_{р.ав..ном.} \geq I_{ном.дв}., \quad (3.18)$$

$$\mathrm{I_{ном}} = \frac{P_{ном.дв.}}{\sqrt{3}\cdot \mathrm{U_с}\cdot \cos\varphi_{\mathrm{н}}\cdot \eta_{н}}; \quad (3.19)$$

г) ток плавкой вставки следует выбрать таким, чтобы при прохождении по ней пускового тока двигателя время ее перегорания было больше времени пуска и самозапуска двигателя. Это определяется следующим соотношением:

$$I_{вс.ном} \geq \frac{I_{пуск.дв.}}{\alpha}\ , \qquad (3.20)$$

где α - коэффициент перегрузки;

α = 2,5 при легких ($t_{пуск}$=2-3 с);

α=1,6-2,0 при тяжелых, ($t_{пуск}$≈10 с) условиях пуска;

д) токовую отсечку выключателя отстраивают от пускового тока электродвигателя, который состоит из периодической составляющей, почти неизменной в течение всего времени пуска, и апериодической составляющей, затухающей в течение нескольких периодов. В каталогах приводится только значение периодической составляющей пускового тока $I_{пуск.дв.}$ Несрабатывание отсечки при пуске электродвигателя обеспечивается выбором тока срабатывания по выражению:

$$I_{с.о} \geq K_н \cdot I_{пуск.дв.}, \qquad (3.21)$$

где $K_н$ – коэффициент надежности отстройки отсечки от пускового тока электродвигателя;

$$I_{пуск.дв.} = (6 - 7) \cdot I_{ном.дв.} \qquad (3.22)$$

Для приближенных расчетов принимают значение пускового тока электродвигателя, равным каталожному, а коэффициентов – по таблице 3.1

Таблица 3.1

Автоматический выключатель	Расцепитель	$K_н$
А3700; А3790	Полупроводниковый	1,5
ВА		
«Электрон»		1,6
		2,2
АВМ	Электромагнитный	1,8
А3110; АП-50; А3700; ВА; АЕ20		2,1
А3120;А3130;А3140		1,9

Приложение А

Таблица А.1 – Технические данные трехфазных масляных трансформаторов с регулировкой напряжения под нагрузкой

№	Тип	Мощ-ность, кВА	Номинальное напряжение обмоток трансформатора, кВ		$U_к$, %	Схема и группа соединения обмоток трансф-тора
			ВН	НН		
1	ТМН-6300/35	6300	35±9%	6,3 10,5	7,5	Y/Δ-1
2	ТМН-6300/110	6300	115±16%	6,6 11,0	10,5	Y-0/Δ-3
3	ТДН-10000/35	10000	35±12%	6,3 10,5	8,0	Y/Δ-5
4	ТДН-10000/110	10000	115±16%	6,6 11,0	10,5	Y-0/Δ-7
5	ТНД-16000/35	16000	35±12%	6,3 10,5	10,5	Y/Δ-9
6	ТДН-16000/110	16000	115±16%	6,6 11,0	10,5	Y-0/Δ-Δ-11
7	ТРДН-25000/35	25000	35±12%	6,3-6,3 10,5-10,5	10,5	Y/Δ-Δ-9
8	ТРДН-25000/110	25000	115±16%	6,3-6,3 10,5-10,5	10,5	Y-0/Δ-Δ-7
9	ТРДН-40000/230/110	40000	230 115±16%	6,3-6,3 10,5-10,5	10,5	Y-0/Δ-Δ-5
10	ТРДН-63000/230/110	63000	230 115±16%	6,3-6,3 10,5-10,5	10,5	Y-0/Δ-Δ-3

Примечание

1) Трансформаторы мощностью 25 МВА и более (типа ТРДН) выполняются с расщепленными обмотками на стороне низшего напряжения (6,3/6,3 или 10,5 кВ).

2) Предел регулирования трансформаторов с РПН составляет:

а) при напряжении 35 кВ и $S_{н.тр} \leq 6,3$ МВА±6×1,5%; $S_{н.тр}$=10-16 МВА±8× 1,5%;

б) при напряжении 110 кВ ± 9× 1,78%.

Приложение Б

Таблица Б.1 – Технические данные цеховых трансформаторов 6–10/0,66–0,4 кВ

Тип	$S_н$, КВа	Напряжение обмоток, кВ		$U_{кз}$, %	Схема и группа соединения обмоток тр-ра
		ВН	НН		
ТМ-630/10	630	6,0; 10,5	0,4-0,23	5,5	Y/Y-0-12 или Δ/Y-0-11
ТМ-630/10	630	6; 10	0,69-0,4	5,5	
ТМЗ-1000/10	1000	6; 10	0,4-0,23	5,5	
ТМЗ-1000/10	1000	6; 10	0,69-0,4	5,5	
ТМЗ-1600/10	1600	6; 10	0,4-0,23	5,5	
ТМЗ-1600/10	1600	6; 10	0,69-0,4	5,5	
ТМЗ-2500/10	2500	6; 10	0,4-0,23	5,5	
ТМЗ-2500/10	2500	6; 10	0,69-0,4	5,5	

Примечание

1) Соединение обмоток цеховых трансформаторов выполняется по схеме Y/Y-0-12 или Δ/Y-0-11.

2) До 1000В применяется четырехпроводная сеть с глухозаземленной нейтралью напряжением 380/200 В и 660/380 В.

Приложение В

Таблица В.1 – Технические данные асинхронных и синхронных двигателей напряжением 6 и 10 кВ

Тип двигателя	$P_н$, кВт	$U_н$, кВ	$I_{ном}$, А	$\frac{I_{пуск}}{I_{ном}}$	$\cos \varphi_н$	$\eta_{ном}$
АТД-800-4	800	6,0/10	90/55	5,6	0,9	0,89
АТД-1000-6	1000	6,0/10	115/68	6,2	0,9	0,89
АТД-1250-2	1250	6,0/10	137/84	6,2	0,9	0,9
АКН-1600-4	1600	6,0/10	180/110	6,5	0,91	0,91
АКН-2000-6	2000	6,0/10	225/135	6,5	0,91	0,92
СТД-630-2	630	6,0/10	71/42	6,7	0,9	0,89
СТД-1000-2	1000	6,0/10	112/67	6,7	0,9	0,89
СТД-1250-4	1250	6,0/10	135/82	6,5	0,9	0,9
СТД-1600-2	1600	6,0/10	178/107	6,8	0,9	0,91
СТД-2000-2	2000	6,0/10	220/133	7,0	0,9	0,92
СТД-2500-2	2500	6,0/10	276/166	6,2	0,9	0,92

Примечание - У синхронных двигателей СТД $\cos\varphi = 0,9$ (опережающий).

Приложение Г

Таблица Г.1 – Технические данные асинхронных двигателей серии 4А с КЗ ротором напряжением 380/660 В (по МЭК)

Тип	$P_н$,кВт	n_0,об/мин	$U_н$,В	$I_{ном}$, А	$\eta_н$	cos $\varphi_н$	$\frac{I_{пуск}}{I_{ном}}$
4А132-4	7,5	1500	380/660	14/8	0,88	0,87	7
4А132М-2	11	3000	380/660	20/12	0,88	0,9	7
4А160М-6	15	1000	380/660	27/16	0,89	0,9	7
4А160М-4	18,5	1500	380/660	34/20	0,89	0,9	7
4А200М-6	22,0	1000	380/660	40/23	0,9	0,9	7
4А200-6	30,0	1000	380/660	55/32	0,91	0,91	7
4А200М-2	37,0	3000	380/660	67/39	0,915	0,91	7
4А250-6	45,0	1000	380/660	83/48	0,915	0,91	7
4А250М-6	55,0	1000	380/660	100/58	0,92	0,92	7
4А250-2	75,0	3000	380/660	135/78	0,9	0,92	7
4А250М-4	90,0	1500	380/660	165/96	0,915	0,92	7
4А280-4	110	1500	380/660	200/115	0,92	0,92	7
4А280М-2	132	3000	380/660	245/142	0,92	0,92	7
4А315-4	160	1500	380/660	290/170	0,92	0,92	7

Приложение Д

Таблица Д.1 – Средние значения емкостного тока металлического однофазного замыкания на землю для кабельных линий при частоте 50 Гц

Сечение жилы кабеля, $мм^2$	Ток, А/км, при номинальном напряжении сети, кВ		
	6	10	35
	При номинальном напряжении кабеля, кВ		
	6	10	35
70	0,73	0,87	-
95	0,89	1,02	3,81
120	1	1,16	4,57
150	1,19	1,3	4,95
185	1,28	1,51	5,34
240	1,33	1,8	5,91

Список литературы

1 Правила устройств электроустановок Республики Казахстан, 2008. – 418 с.

2 Булычев А.В. Релейная защита электроэнергетических систем: учебное пособие/ А.В.Булычев, В.К.Ванин, А.А.Наволочный, М.Г.Попов. – СПб.: Изд-во Политех.ун-та, 2008. – 211 с.

3 Андреев В.А. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения. 2006 год, издание четвертое, переработанное и дополненное.

4 Басс Э.И., Дорогунцев В.Г. Релейная защита электроэнергетических систем./ Под ред. А.Ф. Дьякова.- М.: Изд. МЭИ, 2002.- 295 с.

5 Шабад М.А. Расчеты РЗ и А распределительных сетей: Монография. - СПб.: ПЭИПК, 2003.- 350с.

Сводный план 2016г., поз. 12

Башкиров Михаил Владимирович
Асанова Камиля Майдиновна

ОСНОВЫ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Методические указания и задание по выполнению
расчетно-графических работ № 1,2,3 для студентов специальности 5В071800 –
Электроэнергетика и 5В081200-Энергобеспечение сельского хозяйства

Редактор Л.Т.Сластихина
Специалист по стандартизации Н.К.Молдабекова

Подписано в печать _____ Формат 60х84 1/16
Тираж 50 экз. Бумага типографская №1
Объем 2,0 уч.-изд.л. Заказ ___. Цена 1000 тг.

Копировально-множительное бюро
Некоммерческого акционерного общества
«Алматинский университет энергетики и связи»
050013, Алматы, ул. Байтурсынова, 126