Республика Казахстан
Товарищество с ограниченной ответственностью
"SK TITAN ENGINEERING COMPANY"

Государственная лицензия №02795 от 05.03.2018 г.

Заказчик: АО "Мангистауская региональная электросетевая компания"

«Модернизация (реконструкция) оборудования ЗРУ-10 кВ ПС-110/10 кВ «ГПП-2Г»

РАБОЧИЙ ПРОЕКТ

Электротехнические решения. Расчеты

Прилагаемый документ

24-23/0244-24-05-2019-ЭП.РР

Директор ТОО «SK Titan Engineering Company» — Каюпов О.

Главный инженер проекта — Бегендик Б

Изм.	№ док.	Подп.	Дата
1	22-2020		02.2020

г. Актау – 2019 г

Содержание

1 Общие положения 3

2 Выбор и проверка оборудования 3

2.1 Общие указания 3

2.2 Выбор выключателей 3

2.2.1 Выбор выключателя 10 кВ 6

2.3 Выбор трансформаторов тока 9

2.3.1 Выбор трансформаторов тока 10 кВ 10

2.4 Выбор трансформаторов напряжения 11

2.4.1 Выбор и проверка трансформатора напряжения 10 кВ 11

2.5 Выбор ограничителей перенапряжений 12

2.5.1 Выбор ограничителей перенапряжений 10 кВ 14

3 Принятые сокращения 18

Приложение А (рекомендуемое) Ведомость основного электротехнического оборудования ПС-110/10 кВ «ГПП-2Г» 19

Приложение Б (рекомендуемое) Значение токов КЗ ПС-110/10 кВ «ГПП-2Г» 20

1 Общие положения

Выбор оборудования выполнен с учетом:

- номинального напряжения;
- номинального тока;
- токов короткого замыкания;
- климатических условий.

Значение токов короткого замыкания приведено в таблице 1 (см. Приложение Б)

Таблица 1 – Значение токов короткого замыкания

Место КЗ на шинах РУ	Трехфазный ток КЗ, кА
	$I_К^{(3)}$
РУ 10 кВ СШ 10кВ	7,179

2 Выбор и проверка оборудования

2.1 Общие указания

Оборудование на стороне 10 кВ выбрано по суммарной максимальной мощности потребителей. Нормальный рабочий режим – секции шин загружены равномерно, секционный выключатель выключен. Аварийный режим – вывод в ремонт одного вводного выключателя. Все потребители питаются через остывший в работе вводной выключатель, секционный выключатель включен. Расчетные рабочие токи присоединений представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Расчетные рабочие токи присоединений

Место установки электрических аппаратов в РУ		Расчетный рабочий ток, *А*	
РУ 10 кВ	КРУ-10 кВ	$I_{раб.}$	2000

2.2 Выбор выключателей

Выключатель выбираем по номинальному напряжению, длительному (расчетному) току, отключающей способности. Проверяется на термическую и динамическую стойкость.

Выбор выключателей производится:

- *по номинальному напряжению:*

$$U_{ном.сети} \le U_{ном.вык} \ , \qquad (3.2)$$

где $U_{ном.сети}$ - номинальное напряжение сети, кВ;

$U_{ном}$ - наибольшее рабочее напряжение выключателя, кВ;

- *по длительному току:*

$$I_{макс} \le I_{ном}, \quad (3.3)$$

где $I_{макс}$ - расчетный ток продолжительного режима, А;

$I_{ном}$ - номинальный ток, А;

– *по коммутационной способности:*

Для выбора аппаратов по коммутационной способности в качестве расчетного вида КЗ следует принимать большее из значений, получаемых для случаев трехфазного и однофазного КЗ на землю.

– *по отключающей способности:*

В первую очередь производится проверка на симметричный ток отключения по условию:

$$I_{n.t} \le I_{откл.ном}, \quad (3.4)$$

где $I_{n.t}$ - периодическая составляющая тока КЗ в момент начала расхождения контактов выключателя, кА. Проверку выключателей по отключающей способности можно осуществлять без учета затухания периодической составляющей тока КЗ, т.е. $I_{n.t} = I_{n0}$;

$I_{откл.ном}$ - номинальный ток отключения выключателя, кА.

Затем проверяется возможность отключения апериодической составляющей тока КЗ:

$$i_{a.t} \le i_{a.ном}, \quad (3.5)$$

где $i_{a.ном}$ - номинальное допустимое значение апериодической составляющей в отключаемом токе КЗ, кА

$$i_{a.ном} = \sqrt{2} \cdot b_н \cdot I_{отк.ном} / 100, \quad (3.6)$$

где $\beta_н$ - нормированное значение содержания апериодической составляющей в отключающем токе КЗ;

$I_{откл.ном.}$ - номинальный ток отключения выключателя, кА;

$i_{a.t}$ - апериодическая составляющая тока КЗ в момент времени τ определяется по формуле:

$$i_{a.t} = \sqrt{2} \cdot I_{n.0} \cdot e^{-\frac{t}{T_a}}, \quad (3.7)$$

где $I_{n.0}$ - действующее значение начального периодического тока трехфазного КЗ, кА;

T_a - постоянная времени затухания апериодической составляющей тока короткого замыкания, с;

τ - время от начала короткого замыкания до прекращения соприкосновения дугогасительных контактов равно:

$$\tau = t_{р.з.\,min} + t_{с.в.},$$

где $t_{р.з.\,min} = 0{,}01$ с - минимальное время действия релейной защиты;

$t_{с.в.}$ - собственное время отключения выключателя;

Если условие $I_{n.t} \le I_{откл.ном}$ - соблюдается, а $i_{a.\tau} > i_{a.ном.}$, то допускается проверку по отключающей способности производить по полному току короткого замыкания.

– *по полному току КЗ:*

$$I_{\Sigma доп} \geq I_{\Sigma расч},$$

где $I_{\Sigma доп} = \sqrt{2} \cdot I_{откл.ном} \cdot (1 + b_H / 100)$ - допустимый полный ток КЗ для выключателя, кА;

$$(\sqrt{2} \cdot I_{n.t} + i_{a.t}) \leq \sqrt{2} \cdot I_{откл.ном} \cdot (1 + b_H / 100). \quad (3.8)$$

– *по включающей способности проверка производится по условию:*

$$i_{н.в} > i_{уд}, \; I_{вкл.ном} > I_{п.0}, \quad (3.9)$$

где $i_{нв}$ - наибольший пик номинального тока включения выключателя, кА;

$I_{п.0}$ - начальное значение периодической составляющей тока КЗ в цепи выключателя, кА;

$I_{вкл.ном}$ - номинальный ток включения выключателя, кА;

Значение ударного тока КЗ, кА, определяем по формуле:

$$i_{уд.} = \sqrt{2} \cdot I_{п.0} \cdot \kappa_y \quad (3.10)$$

Ударный коэффициент определяем по формуле:

$$\kappa_y = 1 + e^{-\frac{0,01}{T_a}} \quad (3.11)$$

– *на электродинамическую стойкость выключатель проверяется по предельным сквозным токам КЗ. Условия проверки:*

$$i_{пс} > i_{уд.}, \; I_{пс} > I_{п0.}, \quad (3.12)$$

где $i_{пс}$ - наибольший пик предельного сквозного тока выключателя, кА;

$i_{уд.}$ - ударный ток КЗ, кА;

$I_{пс}$ - действующее значение сквозного тока выключателя, кА;

$I_{п.0}$ - начальное значение периодической составляющей тока КЗ в цепи выключателя, кА.

– *на термическую стойкость выключатель проверяется по тепловому импульсу тока КЗ. Условие проверки:*

$$B_{к.доп} \geq B_{красч}, \quad (3.13)$$

где $B_{к.расч}$ - тепловой импульс тока КЗ по расчету:

$$B_{к.расч} = I_{п.о}{}^2 \cdot [t_{откл} + T_{а.с}], \quad (3.14)$$

Время отключения КЗ, с, определяем по формуле:

$$t_{откл} = t_{рз\,макс} + t_{во} \quad (3.15)$$

где $t_{рз\ макс}$ - максимальное время действия релейной защиты, с;

$t_{во}$ - время отключения выключателя, с.

Допустимый тепловой импульс, кА^2·с, определяем по формуле:

$$B_{кдоп} = I_{ТС}^2 \cdot t_{ТС} \quad (3.16)$$

где $I_{ТС}$ - ток термической стойкости выключателя, кА;

t_{TC} - время термической стойкости выключателя, с.

2.2.1 Выбор выключателя 10 кВ

К установке применяем вводные ячейки с вакуумным выключателем типа ВВ-АЕ-12-25/2500 с собственным временем отключения $t_{с.в}$ = 0,03 с, полное время отключения $t_{п.в}$ = 0,05 с.

Для линейных ячеек применяем выключатели вакуумные типа ВВ-АЕ-10-20/630 У2 с собственным временим отключения $t_{с.в}$ = 0,03 с, полное время отключения $t_{п.в}$ = 0,05 с. Для примера проверку произведем для вводного выключателя с номинальным током 2500 А.

Проверяем по номинальному напряжению по формуле (3.1):

$$U_{ном.сети} = 10 \text{ кВ} \le U_{ном} = 12 \text{ кВ},$$

где $U_{ном.сети}$ - номинальное напряжение сети, кВ;

$U_{ном}$ – номинальное напряжение, кВ.

Проверяем по длительному току по формуле (3.2):

$$I_{макс} = 2000 \ A \le I_{ном} = 2500 \ A$$

где $I_{ном}$ - номинальный ток выключателя, А.

$I_{макс}$ - максимальный расчетный ток 2000А

Проверим выбранный выключатель по отключающей способности.

Проверка на симметричный ток отключения:

$$I_{откл\ ном} = 25 \text{ кА} > I_{п0} = I_{nt} = 7{,}179 \text{ кА}.$$

Проверяем на возможность отключения апериодической составляющей тока КЗ по формуле (3.4):

$$i_{a.t} \le i_{a.ном},$$

Допустимое значение апериодической составляющей в отключаемом токе КЗ определяем по формуле (3.5):

$$i_{a.ном} = \sqrt{2} \cdot b_н \cdot I_{отк.ном} / 100 = \sqrt{2} \cdot 30 \cdot 25 / 100 = 10{,}61 \text{ кА},$$

где $\beta_н$ = 30 % - нормированное значение содержания апериодической составляющей в отключающем токе КЗ;

$I_{отк.ном}$ = 25 кА - номинальный ток отключения выключателя.

Апериодическая составляющая тока КЗ в момент времени τ определяется по формуле (3.6):

$$i_{a.t} = \sqrt{2} \cdot I_{п.0} \cdot e^{-\frac{t}{T_a}} = \sqrt{2} \cdot 7{,}179 \cdot e^{-\frac{0{,}04}{0{,}06}} = 5{,}21 \text{ кА},$$

где $I_{п.0}$ - действующее значение начального периодического тока трехфазного КЗ составляет $I_{п.0}$ = 7,179 А;

T_a - постоянная времени затухания апериодической составляющей тока короткого замыкания равная 0,06 с.

τ - время от начала короткого замыкания до прекращения соприкосновения дугогасительных контактов

$$\tau = t_{р.з.\,\min} + t_{с.в.} = 0{,}01+0{,}03 = 0{,}04 \text{ с},$$

где $t_{р.з.\,\min} = 0{,}01$ с – минимальное время действия релейной защиты;

$t_{с.в.} = 0{,}03$ с - собственное время отключения выключателя.

$$i_{a.t} = 5{,}21 \text{ кА} \le i_{a.ном} = 10{,}61 \text{ кА}.$$

По полному току КЗ:

$$(\sqrt{2} \cdot I_{n.t} + i_{a.t}) \le \sqrt{2} \cdot I_{ОТК\ .НОМ} \cdot (1 + b_н / 100),$$

$$(\sqrt{2} \cdot 7{,}179 + 5{,}21) \le \sqrt{2} \cdot 25 \cdot (1 + 30/100),$$

$$I_{\Sigma\,расч} = 15{,}37 \text{ кА} \le I_{\Sigma\,доп} = 45{,}96 \text{ кА}.$$

Проверяем выбранный выключатель по включающей способности

$$i_{н.в.} > i_{уд.},\ I_{вкл.ном} > I_{п0},$$

где $i_{н.в.}$ - наибольший пик номинального тока включения выключателя равен $i_{н.в}$ = 51 кА;

$i_{уд.}$ - ударный ток КЗ, кА;

Ударный ток КЗ определяем по формуле (3.9):

$$i_{уд.} = \sqrt{2} \cdot I_{п.0} \cdot \kappa_у = \sqrt{2} \cdot 7{,}179 \cdot 1{,}846 = 18{,}75 \text{кА}.$$

$$\kappa_у = 1 + e^{-\frac{0.01}{T_a}} = 1 + e^{-\frac{0.01}{0{,}06}} = 1{,}846.$$

$$i_{н.в} = 51 \text{ кА} > i_{уд.} = 18{,}75 \text{ кА}.$$

Проверяем выбранный выключатель на электродинамическую стойкость по формуле (3.11):

$$i_{пс} > i_{уд.}, I_{пс} > I_{п0},$$

где $i_{уд.} = 18{,}75$ - ударный ток КЗ, кА;

$i_{пс}$ - наибольший пик сквозного тока выключателя, равен $i_{пс}$ =51 кА**;**

$I_{пс}$ - действующее значение сквозного тока выключателя, равно $I_{пс}$ = 51 кА**;**

$I_{п0}$ - действующее значение начального периодического тока трехфазного КЗ равно $I_{п.0}$ = 7,179 А.

$$i_{пс} = 51 \text{ кА} > i_{уд} = 18{,}75 \text{ кА}.$$

$$I_{пс} = 51 \text{ кА} > I_{п0} = 7{,}179 \text{ кА}.$$

Проверяем выбранный выключатель на термическую стойкость по формуле (3.12):

$$B_{кдоп} \ge B_{красч},$$

Тепловой импульс тока КЗ определяем по формуле (3.13):

$$B_{красч} = I_{п0}{}^2 \cdot [t_{откл} + T_{а.с}] = 7{,}179^2 \cdot [1{,}25 + 0{,}06] = 67{,}51 \text{ кА}^2 \cdot \text{с},$$

где $t_{откл}$ – время отключения КЗ, с;

$t_{откл} = t_{рз\ макс.} + t_{во} = 1{,}2+0{,}05 = 1{,}25$ с.

где $t_{рз\ макс.}$ - максимальное время действия релейной защиты равно $t_{рз\ макс} = 1{,}2$ с;

$t_{во}$ – полное время отключения выключателя равно $t_{во} = 0{,}05$ с;

$B_{кдоп} = I_{ТС}^2 \cdot t_{ТС}$ - допустимый тепловой импульс, кА$^2\cdot$с.

где $I_{ТС}$ - ток термической стойкости выключателя равен $I_{ТС} = 25$ кА;

$t_{ТС}$ - время термической стойкости выключателя равно $t_{ТС} = 3$ с.

$$B_{кдоп} = I_{ТС}{}^2 \cdot t_{откл} = 25^2 \cdot 3 = 1875\,\text{кА}^2\cdot\text{с} \geq B_{красч} = 67{,}51\,\text{кА}^2\cdot\text{с}.$$

Выбор секционного выключателя и вводных выключателей выполняется аналогично.

Все расчетные данные сведены в таблицы 3 - 5.

Таблица 3 – Расчетные величины для выбора вводных выключателей 10 кВ

Параметр выключателя	Условие	Расчетная величина для выбора выключателя
$U_{ном} = 12$ кВ	≥	$U_{ном.сети} = 10$ кВ
$I_{1ном} = 2500$ А	≥	$I_{макс} = 2000$ А
$I_{но} = 25$ кА	>	$I_{nt} = 7{,}179$ кА
$i_{а.\ ном} = 10{,}6$ кА	>	$i_{a.t} = 5{,}21$ кА
$I_{\Sigma доп} = \sqrt{2}\cdot I_{но}\cdot\left(1+\frac{b_{н\%}}{100}\right) = 45{,}96$ кА	>	$I_{\Sigma} = \sqrt{2}\cdot I_{nt} + i_{at} = 15{,}36$ кА
$I_{нв} = 25$ кА	>	$I_{n0} = 7{,}179$ кА
$i_{нв} = 51$ кА	>	$i_{уд.} = 18{,}75$ кА
$I_{пс} = 25$ кА	>	$I_{n0} = 7{,}179$ кА
$i_{пс} = 51$ кА	>	$i_{уд.} = 18{,}75$ кА
$B_{кдоп} = I_{ТС}^2 \cdot t_{ТС} = 1875$ кА$^2\cdot$с	>	$B_{красч} = 67{,}51$ кА$^2\cdot$с

Таблица 4– Расчетные величины для выбора секционного выключателя 10 кВ

Параметр выключателя	Условие	Расчетная величина для выбора выключателя
$U_{ном} = 12$ кВ	≥	$U_{ном.сети} = 10$ кВ
$I_{1ном} = 2000$ А	≥	$I_{макс} = 2000$ А
$I_{но} = 25$ кА	>	$I_{nt} = 7{,}179$ кА
$i_{а.\ ном} = 10{,}6$ кА	>	$i_{a.t} = 5{,}21$ кА
$I_{\Sigma доп} = \sqrt{2}\cdot I_{но}\cdot\left(1+\frac{b_{н\%}}{100}\right) = 45{,}96$ кА	>	$I_{\Sigma} = \sqrt{2}\cdot I_{nt} + i_{at} = 15{,}36$ кА
$I_{нв} = 25$ кА	>	$I_{n0} = 7{,}179$ кА
$i_{нв} = 51$ кА	>	$i_{уд.} = 18{,}75$ кА
$I_{пс} = 25$ кА	>	$I_{n0} = 7{,}179$ кА
$i_{пс} = 51$ кА	>	$i_{уд.} = 18{,}75$ кА
$B_{кдоп} = I_{ТС}^2 \cdot t_{ТС} = 1875$ кА$^2\cdot$с	>	$B_{красч} = 67{,}51$ кА$^2\cdot$с

Таблица 5– Расчетные величины для выбора выключателей 10 кВ в ячейках отходящих линий

Параметр выключателя	Условие	Расчетная величина для выбора выключателя
$U_{ном}$ = 12 кВ	≥	$U_{ном.сети}$ = 10 кВ
$I_{1ном}$ = 630 А	≥	$I_{макс}$ = 600 А
$I_{но}$ = 20 кА	>	I_{nt} = 7,179 кА
$i_{а.\ ном}$ = 10,6 кА	>	$i_{a.t}$ = 5,21 кА
$I_{\Sigma доп} = \sqrt{2} \cdot I_{но} \cdot \left(1 + \frac{b_{н\%}}{100}\right) = 45,96$ кА	>	$I_{\Sigma} = \sqrt{2} \cdot I_{nt} + i_{at} = 15,36$ кА
$I_{нв}$ = 25 кА	>	I_{n0} = 7,179 кА
$i_{нв}$ = 51 кА	>	$i_{уд.}$ = 18,75 кА
$I_{пс}$ = 25 кА	>	I_{n0} = 7,179 кА
$i_{пс}$ = 51 кА	>	$i_{уд.}$ = 18,75 кА
$B_{кдоп} = I_{ТС}^2 \cdot t_{ТС} = 1875$ кА$^2 \cdot$с	>	$B_{красч}$ = 67,51 кА$^2 \cdot$с

2.3 Выбор трансформаторов тока

Измерительный трансформатор тока выбирается по следующим условиям:

– по номинальному напряжению:

$$U_{ном.сети} \le U_{ном.т}, \quad (3.17)$$

где $U_{ном.сети}$ – номинальное напряжение сети, кВ;

$U_{ном.т}$ – номинальное напряжение трансформатора тока, кВ;

– по номинальному первичному току:

$$I_{макс} \le I_{1ном}, \quad (3.18)$$

где $I_{макс}$ - расчетный ток продолжительного режима, А;

$I_{1ном}$ – номинальный первичный ток трансформатора тока, А;

– по конструкции и классу точности;

– по электродинамической стойкости:

$$i_{уд.} \le i_{дин.}, \quad (3.19)$$

где $i_{уд.}$– ударный ток короткого замыкания, кА;

$i_{дин.}$ – номинальный ток электродинамической стойкости трансформатора тока, кА;

– по термической стойкости трансформаторы тока проверяется по тепловому импульсу тока КЗ. Условие проверки:

$$B_{кдоп.} \ge B_{красч.}, \quad (3.20)$$

где $B_{кдоп.}$ – допустимый тепловой импульс, кА^2·с;

$B_{красч.}$ – расчетное значение полного теплового импульса короткого замыкания определяется по формуле (3.14):

$$B_{красч} = I_{п.о}{}^2 \cdot [t_{откл} + T_a\ ],$$

где $t_{откл} = t_{рз\ макс} + t_{во}$ - время отключения КЗ, с;

где $t_{рз\ макс}$ - максимальное время действия релейной защиты, с;

$t_{во}$ - время отключения выключателя, с;

T_a - постоянная времени затухания апериодической составляющей тока короткого замыкания равная.

Допустимый тепловой импульс определяется по формуле (3.16):

$$B_{кдоп} = I^2{}_{т.ст} \cdot t_{т.ст},$$

где $I_{т.ст}$ –ток термической стойкости трансформатора тока, кА;

$t_{т.ст}$ – время протекания тока термической стойкости, $t_{т.ст}$ =3 с.

2.3.1 Выбор трансформаторов тока 10 кВ

В шкафы КРУ устанавливаем трансформаторы тока серии ТЛО-10 У3, предназначенные для передачи сигнала измерительной информации измерительными приборами и устройствами защиты и управления в закрытых РУ на номинальное напряжение 10 кВ. Трансформаторы выполнены опорного исполнения в литой изоляции. Климатическое исполнение У3 по ГОСТ 15150-69.

Так как трансформаторы тока устанавливаются в одной цепи с выключателем, то соответствующие расчетные величины для них такие же, как и у выключателей соответствующих присоединений.

Условия выбора и проверки параметров трансформаторов тока приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Условия выбора и проверки параметров трансформаторов тока 10 кВ в вводных и секционных ячейках

Критерий выбора	Параметры оборудования	Условие	Требуемые параметры
По напряжению установки	$U_{ном}$ = 10 кВ	≥	$U_{ном.сети}$ = 10 кВ
По номинальному току	$I_{1ном}$ = 2000 А	≥	$I_{макс}$ =2000 А
Класс точности обмотки учета/ обмотки измерения	0,5s	≥	0,5s
Класс точности обмоток для защиты	10Р/10Р	≥	10Р/10Р
По электродинамической стойкости	$I_{дин.}$= 100кА	≥	$i_{уд.}$= 18,75 кА
По термической стойкости	$B_{к.доп} = I^2{}_{т.ст} \cdot t_{т.ст} = 40^2 \cdot 1 = 1600\,кА^2 \cdot с$	≥	$B_{красч}$ = 67,51 кА^2·с

2.4 Выбор трансформаторов напряжения

Измерительный трансформатор напряжения выбирается по следующим условиям:

– по напряжению установки:

$$U_{ном.сети} \le U_{ном}, \quad (3.21)$$

где $U_{ном.сети}$ – номинальное напряжение сети, кВ;

$U_{ном}$ – номинальное напряжение трансформатора напряжения, кВ.

– по конструкции и схеме соединения обмоток;

– по классу точности;

– по вторичной нагрузке:

$$S_{2\Sigma} \le S_{2ном}, \quad (3.22)$$

где $S_{2\Sigma}$ – суммарная нагрузка измерительных приборов и реле, присоединенных к трансформатору напряжения, В·А;

$S_{2ном}$ – номинальная мощность трансформатора напряжения в выбранном классе точности, В·А.

2.4.1 Выбор и проверка трансформатора напряжения 10 кВ

В шкафы КРУ устанавливаем заземляемые трансформаторы напряжения серии ЗНОЛП-10 У3, предназначенные для передачи сигнала измерительной информации измерительными приборами и устройствами защиты и управления в закрытых РУ на номинальное напряжение 10 кВ. Трансформаторы выполнены опорного исполнения в литой изоляции. Климатическое исполнение У3 по ГОСТ 15150-69.

Класс точности первой основной вторичной обмоток 0,5 с номинальной мощностью 50 В·А.

Класс точности второй основной вторичной обмоток 0,5 с номинальной мощностью 50 В·А.

Класс точности дополнительной вторичной обмотки 3Р с номинальной мощностью 200 В·А.

Условия выбора и проверки параметров трансформатора напряжения приведены в таблице 7.

Таблица 7 –Условия выбора и проверки параметров трансформатора напряжения

Критерий выбора	Параметр оборудования	Условие	Требуемый параметр
По напряжению установки	$U_{ном}$ = 10 кВ	≥	$U_{ном.сети}$ = 10 кВ
По требуемому классу точности	0,5/0,5/3Р	≥	0,5/0,5/3
По нагрузке первой основной вторичной обмотки	$S_{2ном}$ = 50 В·А	>	$S_{2\Sigma}$ ≈ 20 В·А
По нагрузке второй основной вторич-	$S_{2ном}$ = 50 В·А	>	$S_{2\Sigma}$ ≈ 30 В·А

ной обмотки			
По нагрузке дополнительной обмотки	$S_{2\,ном}$ = 200 В·А	>	$S_{2\Sigma}$ ≈ 1,5 В·А

2.5 Выбор ограничителей перенапряжений

Ограничители перенапряжений нелинейные (ОПН) являются одним из основных элементов системы защиты от перенапряжений, обеспечивающих защиту оборудования распределительных устройств от грозовых и коммутационных перенапряжений.

Выбор ограничителей перенапряжений произведен в соответствии с ГОСТ Р 53735.5-2009.

- *Выбор наибольшего длительного допустимого рабочего напряжения ОПН для сети*

В сетях 3-35 кВ, работающих с изолированной нейтралью или компенсацией емкостного тока замыкания на землю и допускающих неограниченно длительное существование однофазного замыкания на землю, наибольшее длительно допустимое рабочее напряжение ограничителя выбирается равным наибольшему рабочему напряжению электрооборудования для данного класса напряжения по ГОСТ 1516.3-96.

В сетях 110-500 кВ, работающих с эффективно заземленной нейтралью, наибольшее длительно допустимое рабочее напряжение ограничителя должно быть не ниже:

$$U_{нс\ опн} = U_{нс} / \sqrt{3}. \quad (3.27)$$

где $U_{нс}$ – наибольшее длительно допустимое рабочее напряжение в электрической сети, кВ;

В нормальном режиме напряжение на шинах может достигать 1,02 от наибольшего рабочего напряжения в течение 8 часов в сутки. Длительно допустимое рабочее напряжение ограничителя выбирается по наибольшему уровню напряжения сети с 2 %-ным запасом и должно быть не менее:

$$U_{нс\ опн} = 1{,}02 \cdot 1{,}02 \cdot U_{нр}, \quad (3.28)$$

где $U_{нс}$ – наибольшее длительно допустимое рабочее напряжение в электрической сети, кВ;

Для прохождения ОПН по длительно допустимому напряжению должно соблюдаться условие:

$$U_{нс\ опн} \geq U_{нр} \quad (3.29)$$

где $U_{нс\ опн}$ – наибольшее длительно допустимое рабочее напряжение ОПН, кВ;

$U_{нс}$ – наибольшее длительно допустимое рабочее напряжение в электрической сети, кВ.

- *Определение защитного уровня ограничителя при коммутационных перенапряжениях*

Определяющим при выборе защитного уровня ОПН является его назначение и уровень выдерживаемых перенапряжений изоляцией электрооборудования.

Выбранный тип ограничителя проверяется на обеспечение им требуемого защитного уровня коммутационных перенапряжений.

Величина коммутационных перенапряжений определяет значение остающегося напряжения на ограничителе, которое должно быть при расчетном токе не менее, чем на 15 – 20 % ниже испытательного напряжения $U_{ки}$ коммутационным импульсом защищаемого электрооборудования.

Испытания изоляции на воздействия внутренних перенапряжений проводятся приложением напряжения промышленной частоты в течение 1 минуты. В то же время коммутационные перенапряжения имеют импульсный характер так же, как и остающееся напряжение на ОПН. Для приведения в соответствие защитных характеристик ОПН и испытательного напряжения оборудования в расчете координационного интервала рекомендуется использовать не значения испытательного напряжения $U_{ки}$, а значения допустимого напряжения $U_{доп.к}$.

$$U_{ост.к} \leq U_{доп.к}\ , \qquad (3.30)$$

где $U_{ост.к}$ – остающееся напряжение ОПН при расчетном коммутационном импульсе, кВ, максимальное значение;

$U_{доп.к}$ – допустимое напряжение для изоляции защищаемого электрооборудования при коммутационном импульсе, кВ.

Выдерживаемый уровень коммутационных перенапряжений:

$$U_{доп.к} = \sqrt{2} \cdot K_{и} \cdot K_{к} \cdot U_{исп50}\ , \qquad (3.31)$$

где $K_{и}$ = 1,35 – коэффициент импульса, учитывающий повышение разрядного напряжения изоляции при более коротком коммутационном импульсе по сравнению с испытательным напряжением;

$K_{к}$ = 0,9 – коэффициент коммулятивности, учитывающий снижение электрической прочности в условиях эксплуатации при многократных воздействиях напряжений и возможность старения изоляции.

$U_{исп50}$ – одноминутное испытательное напряжение при промышленной частоте по ГОСТ 1516.3-69;

- Оценка класса энергоемкости ОПН

Практическим критерием оценки энергоемкости ОПН является его способность пропускать нормируемые импульсы коммутационных перенапряжений без потери рабочих качеств.

Полная энергоемкость ОПН составляет:

$$W = W_{удх} \cdot U_{нд};. \qquad (3.32)$$

где $W_{удх}$ – удельная энергоемкость ОПН, кДж/кВ;

$U_{нд}$ - наибольшее длительно допустимое рабочее напряжение, кВ.

Отношение испытательного напряжения коммутационным импульсом защищаемого оборудования к остаточному напряжению ОПН:

$$U_{доп.к} / U_{ост.к.}, \quad (3.33)$$

т.е. удовлетворяет условию:

$$U_{ост.к.} \leq U_{доп.к} / (1{,}3\text{-}1{,}4)$$

- *Оценка ОПН по условиям обеспечения взрывобезопасности*

Для ограничителя перенапряжения нормируется величина тока срабатывания противовзрывного устройства, при которой не происходит взрывного разрушения (покрышки) ОПН при его внутреннем повреждении.

При выборе ограничителей с токами срабатывания противовзрывного устройства до 40 кА его значение должно быть на 15-20 % больше значения тока КЗ в месте установки ограничителя.

Расчетный взрывобезопасный ток ОПН, кА:

$$I_{ср.опн} = 1{,}2 \cdot I_{кзmax};. \quad (3.34)$$

где $I_{кз}$ –трехфазный ток КЗ, кВ;

- *выбор длинны пути утечки внешней изоляции ОПН*

По зоне загрязнения атмосферы в месте установки ограничителя перенапряжения выбирается нормируемый путь утечки для типа и конструкции ограничителя в соответствии с ГОСТ 9920-89.

2.5.1 Выбор ограничителей перенапряжений 10 кВ

В шкафах КРУ 10 кВ устанавливаем ограничители перенапряжений нелинейные с полимерной внешней изоляцией (ОПН-П) типа ОПН-РТ/TEL-10/11,5. Они предназначены для защиты электрооборудования от коммутационных перенапряжений на класс напряжения 10 кВ. Климатическое исполнение УХЛ 2 по ГОСТ 15150-69.

- *Выбор наибольшего длительного допустимого рабочего напряжения ОПН для сети 10 кВ*

Наибольшее рабочее напряжение сети в соответствии с ГОСТ 1516.3-96 $U_{нс}$ = 12 кВ.

В нормальном режиме напряжение на шинах может достигать 1,02 от наибольшего рабочего напряжения в течение 8 часов в сутки. Длительно допустимое рабочее напряжение ограничителя выбирается по наибольшему уровню напряжения сети с 2 %-ным запасом и должно быть не менее:

$$U_{нр} = 1{,}02 \cdot 1{,}02 \cdot U_{нр} = 1{,}02 \cdot 1{,}02 \cdot 12 = 12{,}5 \text{ кВ}$$

или 12,5 /√3 = 7,21 кВ (на фазу).

К установке применяем ограничитель перенапряжений ОПН-10/11,5 имеющий наибольшее длительно допустимое напряжение $U_{нд}$ = 11,5 кВ. Таким образом, соблюдается условие:

$$U_{нс\ опн} = 11{,}5\ кВ \geq U_{нс} = 7{,}21\ кВ$$

- Определение защитного уровня ограничителя при коммутационных перенапряжениях

Выбранный тип ограничителя проверяется на обеспечение им требуемого защитного уровня коммутационных перенапряжений.

Величина коммутационных перенапряжений определяет значение остающегося напряжения на ограничителе, которое должно быть при расчетном токе не менее, чем на 15 – 20 % ниже испытательного напряжения $U_{ки}$ коммутационным импульсом защищаемого электрооборудования.

Испытания изоляции на воздействия внутренних перенапряжений в сетях 6-35 кВ проводятся приложением напряжения промышленной частоты в течение 1 минуты. В то же время коммутационные перенапряжения имеют импульсный характер так же, как и остающееся напряжение на ОПН. Для приведения в соответствие защитных характеристик ОПН и испытательного напряжения оборудования в расчете координационного интервала рекомендуется использовать не значения испытательного напряжения $U_{ки}$, а значения допустимого напряжения $U_{доп.к}$.

$$U_{ост.к} \leq U_{доп.к}$$

где $U_{ост.к}$ – остающееся напряжение ОПН при расчетном коммутационном импульсе, кВ, максимальное значение. Для ОПН-РТ/TEL 10/11,5 остающееся напряжение при номинальном разрядном токе $U_{ост.к}$ = 28,3 кВ;

$U_{доп.к}$ – допустимое напряжение для изоляции защищаемого электрооборудования при коммутационном импульсе, кВ, максимальное значение.

Выдерживаемый уровень коммутационных перенапряжений можно определить по формуле (3.31):

$$U_{доп.ки} = \sqrt{2} \cdot 1{,}35 \cdot 0{,}9 \cdot 42 = 72{,}16\ кВ,$$

где $K_и$ = 1,35 – коэффициент импульса, учитывающий повышение разрядного напряжения изоляции при более коротком коммутационном импульсе по сравнению с испытательным напряжением;

$K_к$ = 0,9 – коэффициент коммулятивности, учитывающий снижение электрической прочности в условиях эксплуатации при многократных воздействиях напряжений и возможность старения изоляции.

$U_{исп50}$ – одноминутное испытательное напряжение при промышленной частоте по ГОСТ 1516.3-96 для ОПН-10/11,5 принимается $U_{исп50}$ = 42 кВ;

$$U_{ост.к} = 28,3 \text{ кВ} < U_{доп.к} = 72,16 \text{ кВ}.$$

Следовательно, ОПН-10/11,5 обеспечивает требуемый защитный уровень при коммутационных перенапряжениях.

- *Оценка класса энергоемкости ОПН*

Практическим критерием оценки энергоемкости ОПН является его способность пропускать нормируемые импульсы коммутационных перенапряжений без потери рабочих качеств.

Полная энергоемкость ОПН по формуле (3.33) составляет:

$$W = W_{удх} \cdot U_{нд} = 4,6 \cdot 11,5 = 63,25 \text{ кДж}$$

где $W_{удх} = 4,6$ *кДж/кВ* – удельная энергоемкость ОПН-РТ/TEL 10/11,5;

$U_{нд} = 11,5$ *кВ* - наибольшее длительно допустимое рабочее напряжение ОПН.

Отношение испытательного напряжения коммутационным импульсом защищаемого оборудования к остаточному напряжению ОПН:

$$U_{доп.к} / U_{ост.к.} = 72,16 / 28,3 = 2,5$$

т.е. удовлетворяет условию:

$$U_{ост.к.} = 28,3 \le U_{доп.к} = 72,16 \text{ кВ},$$

$$2,5 > (1,3\text{-}1,4).$$

Следовательно, нет необходимости в увеличении класса энергоемкости ОПН.

- *Оценка ОПН по условиям обеспечения взрывобезопасности*

Для ограничителя перенапряжений нормируется величина тока срабатывания противовзрывного устройства, при котором не происходит взрывного разрушения крышки ОПН при его внутреннем повреждении.

При выборе ограничителей с токами срабатывания противовзрывного устройства до 40 кА его значение должно быть на 15-20 % больше максимального значения тока КЗ, определенного для РУ.

Максимальный ток короткого замыкания на шинах 10 кВ:

$I_{кзmax} = 7,179$ кА (ток трехфазного КЗ)

Расчетный взрывобезопасный ток ОПН:

$I_{ср.опн} = 1,2 \cdot I_{кзmax} = 1,2 \cdot 7,179 = 8,615$ кА

Взрывобезопасный ток при коротком замыкании ОПН-10/11,5 $I_{кз} = 7,179$ кА, т.е. больше расчетного тока срабатывания:

$$8,615 \text{ кА} > 7,179 \text{ кА}$$

ОПН-РТ/TEL-10/11,5 удовлетворяет требованиям обеспечения взрывобезопасности.

- *выбор длинны пути утечки ОПН*

По зоне загрязнения атмосферы в месте установки ограничителя перенапряжения выбирается нормируемый путь утечки для типа и конструкции ограничителя в соответствии с ГОСТ 9920-89.

3 Принятые сокращения

В тексте применены следующие сокращения:

ПС – подстанция;

ВЛ – высоковольтная линия;

ОПН - ограничитель перенапряжения нелинейный;

ОРУ – открытое распределительное устройство;

ЗРУ – закрытое распределительное устройство;

РУ – распределительное устройство;

КРУ – комплектное распределительное устройство;

ЗУ – заземляющее устройство;

Приложение А

(рекомендуемое)

Ведомость основного электротехнического оборудования

ПС-110/10 кВ «ГПП-2Г»

Таблица А.1 - Ведомость основного электротехнического оборудования

Наименование и краткая техническая характеристика	Тип	Единица измерения	Кол.	Примечание
ЗРУ-10 кВ				
Ячейка КРУ-10 кВ шинного ввода, 2500 А, 25 кА	КРУ-К-07	шт.	3	
Ячейка КРУ-10 кВ секционного выключателя, 2000 А, 25 кА	КРУ-К-07	шт.	2	
Ячейка КРУ-10 кВ секционного разъединителя, 2000 А,	КРУ-К-07	шт.	2	
Ячейка КРУ-10 кВ трансформатора напряжения	КРУ-К-07	шт.	3	
Ячейка КРУ-10кВ отходящей кабельной линии, 630 А, 20 кА	КРУ-К-07	шт.	38	

Приложение Б

(рекомендуемое)

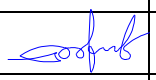
Значение токов КЗ ПС-110/10 кВ «ГПП-2Г»

"Утверждаю"
Заместитель Председателя Правления
по эксплуатации – Главный инженер
Сагымбеков Ж.Б.
"10" августа 2019 г.

Значения токов КЗ $I^{(3)}_{кз}$ на шинах 220, 110, 35, 10 и 6 кВ ПС АО "МРЭК"

№	Наименование подстанций	220 кВ		110 кВ		35 кВ		10 кв		6 кВ	
		макс.реж	мин.реж	макс.реж	мин.реж	макс.реж	мин.реж	макс.реж	мин.реж	макс.реж.	мин.реж.
	Актауский РЭС										
1	ПС-ПТФ	----//----	----//----	----//----	----//----	3199	2661	----//----	----//----	4254	3882
2	ПС-ПТБ	----//----	----//----	5401	3847	----//----	----//----	----//----	----//----	12242	11604
3	ПС-Умирзак	----//----	----//----	11757	9069	----//----	----//----	6591	6417	10986	10696
4	ПС-Дунга	----//----	----//----	2102	1949	1772	1728	----//----	----//----	7160	6973
5	ПС-Акшукур	----//----	----//----	2455	2306	----//----	----//----	7102	6597	----//----	----//----
6	ПС-Таучик	----//----	----//----	----//----	----//----	758	379	1998	1159	----//----	----//----
7	ПС-Форт	----//----	----//----	827	800	----//----	----//----	2632	2420	----//----	----//----
8	ПС-Тюб-Караган	----//----	----//----	922	888	----//----	----//----	1180	1166	----//----	----//----
9	ПС-Баутино	----//----	----//----	813	786	----//----	----//----	4009	3927	----//----	----//----
10	РП-Баутино	----//----	----//----	----//----	----//----	----//----	----//----	2110	2086	----//----	----//----
11	ГПП-1Г	----//----	----//----	8568	6616	----//----	----//----	----//----	----//----	16668	16156
12	ГПП-2Г	----//----	----//----	9137	6976	----//----	----//----	7179	6982	----//----	----//----
13	ГПП-3Г	----//----	----//----	8413	6371	----//----	----//----	9985	9636	----//----	----//----
14	ГПП-Прибрежная	----//----	----//----	7654	5923	----//----	----//----	7098	6897	----//----	----//----
15	ГПП-Н2	----//----	----//----	13322	9973	2084	2050	----//----	----//----	12298	12096
16	ГПП-РМЗ	----//----	----//----	15450	11230	----//----	----//----	----//----	----//----	11537	11352
17	ГПП-4	----//----	----//----	----//----	----//----	5688	2895	----//----	----//----	6662	5546
18	ГПП-Кукулус	----//----	----//----	3150	2928	1728	1702	----//----	----//----	6930	6855
19	ПС-База отдыха	----//----	----//----	4411	3994	----//----	----//----	1652	1403	----//----	----//----
	Бейнеуский РЭС										
20	ПС-Бейнеу	----//----	----//----	2248	433	2449	1028	----//----	----//----	9844	5138
21	ПС-Опорная	----//----	----//----	802	628	----//----	----//----	----//----	----//----	4041	3607
22	ПС-Сай-Утес	----//----	----//----	981	558	----//----	----//----	----//----	----//----	6056	4703
23	ПС-Акжигит	----//----	----//----	----//----	----//----	515	403	1232	1029	----//----	----//----
24	ПС-Карьерная	----//----	----//----	----//----	----//----	643	634	----//----	----//----	2668	2330

Таблица регистрации изменений

Изм.	Номера листов (страниц)				Всего листов (страниц) в документе	Номер докум-ента	Подпись	Дата
	изменен-ных	заменен-ных	новых	аннули-рован-ных				
1	-	Все	-	-	21	22-2020		02-20