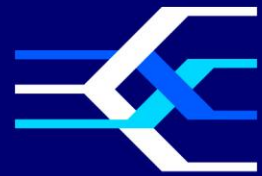


# Главный источник аварийности сетей 6...35 кВ – неотключаемые однофазные замыкания на землю

Целебровский Юрий Викторович  
Д.т.н., профессор ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет»

2023 / 5–6 июля

Москва / Конгресс-центр ЦМТ



VIII Международная  
научно-техническая конференция

«Развитие и повышение надежности  
распределительных электрических сетей»

ОРГАНИЗАТОРЫ



# Нормативные требования

Правила технической эксплуатации  
электрических  
станций и сетей Российской Федерации  
Утверждены приказом Минэнерго России  
от 4 октября 2022 г. №1070

619. ...В электрических сетях, кроме электрических сетей с низкоомным резистивным заземлением, **допускается** работа ВЛ и КЛ с замыканием на землю до устранения повреждения.

620. Для ликвидации нарушений нормального режима, связанных с возникновением замыкания на землю в электрических сетях с изолированной нейтралью **должны** применяться средства селективного определения присоединения или его участка с однофазным замыканием на землю совместно с управляемыми коммутационными аппаратами, позволяющими **отключать** присоединение или участок присоединения с однофазным замыканием на землю.

Правила устройства электроустановок  
7-е издание

1.1.17. ...Слово «**допускается**» означает, что данное решение применяется в виде исключения как вынужденное (вследствие стеснённых условий, ограниченных ресурсов необходимого оборудования, материалов и т.п.)

1.1.17. Для обозначения обязательности выполнения требований ПУЭ применяются слова «**должен**», «следует» «необходимо» и производные от них.

**Вывод 1.** В большинстве электрических сетей РФ напряжением 6...35 кВ требования ПТЭ нарушаются.

## Примеры анализа аварийности (Северные

Причина	сети 35 кВ		сети 110 кВ	
	контр. изол.	ток. отсечка	земл. защит.	др. защит.
Повреждение и обрыв провода	24 (4,7%)	35 (7,0 %)	26 (3,5 %)	11 (1,5 %)
Поврежд. и обрыв гр.троса	-	1 (0,2 %)	23 (3,1 %)	-
Поврежд. и обрыв шлейфа	3 (0,6%)	1 (0,2 %)	17 (2,4 %)	-
Касание деревьев 1 фазы	5 (1,0 %)	46 (9,1 %)	33 (4,5 %)	5 (0,7 %)
Повреждение изоляторов	25 (5,0 %)	26 (5,2 %)	60 (8,1 %)	7 (1,0 %)
Расстрел изоляторов	4 (0,8 %)	9 (1,8 %)	12 (1,6 %)	-
Повреждение опоры	2 (0,4 %)	23 (4,6 %)	-	-
Повреждение оборудования на ПС (ТН, МВ, СВ и др.)	15 (3,0 %)	54 (10,7 %)	153 (20,8 %)	10 (1,3 %)
Гроза	-	83 (16,5 %)	37 (5,0 %)	7 (1,0 %)
Повреждения за пределами зоны обслуживания	1 (0,2 %)	12 (2,4 %)	13 (1,8 %)	1 (0,1 %)
Невыясненные причины	18 (3,5 %)	117 (23,1 %)	288 (39,1%)	33 (4,5 %)
<b>ИТОГО:</b>	<b>97 (19,2 %)</b>	<b>407 (80,8 %)</b>	<b>662 (89,9 %)</b>	<b>74 (10,1 %)</b>

## Примеры анализа аварийности (ТРК, 28 мес)

	ВЛ 35 кВ	ВЛ 6-10 кВ
Общее число отключений	121	1271
Процент 3х фазных и 2х фазных отключений (падение опор, падение деревьев, наезды техники)	28%	12%
Процент отключения токовыми защитами с фиксацией «Земля»	8%	8%
Процент появления «Земли» без отключения	2,5%	1%
Суммарная доля отключений с установленными причинами	38,5%	21%

**Вывод 2.** Неотключаемые однофазные замыкания за счёт перенапряжений переходят в двухфазные и трёхфазные и отключаются релейной **защитой**.

## Роль дугогасящих реакторов

Сети 10 кВ с дугогасящими реакторами			Сети 10 кВ с изолированной нейтралью		
Суммарное число линий в рассматриваемых сетях	год	Удельное число аварийных отключений (на 1 линию в год)	Суммарное число линий в рассматриваемых сетях	год	Удельное число аварийных отключений (на 1 линию в год)
685	2016	0,220	742	2016	0,295
	2017	0,470		2017	0,500
	2018	0,533		2018	0,686
	2019	0,567		2019	0,658
	Среднее	<b>0,448±0,078</b>		Среднее	<b>0,535±0,090</b>

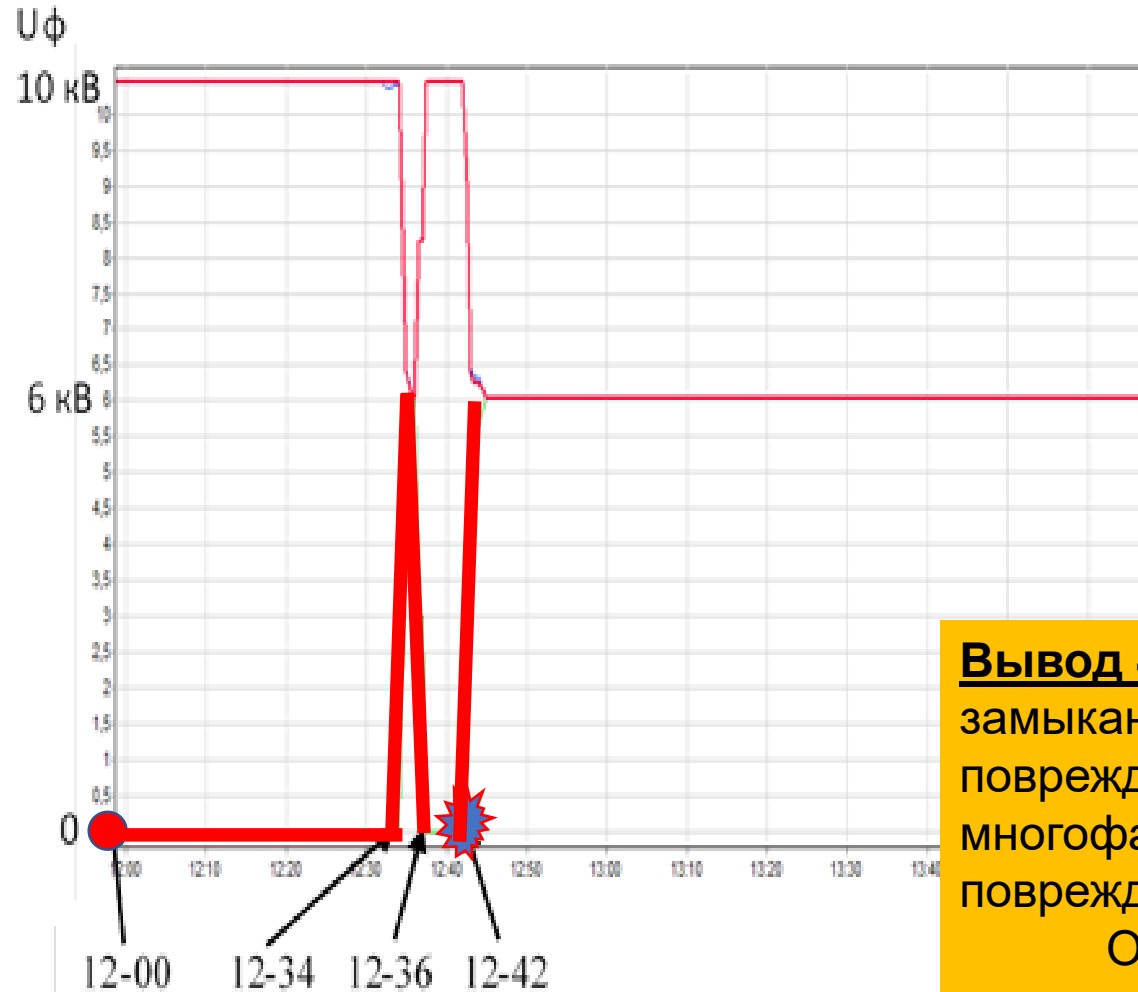
ПТЭ 624. В сетях, работающих с компенсацией ёмкостного тока, напряжение несимметрии должно быть не выше 0,75% фазного напряжения...

Понижение напряжения несимметрии... должно быть осуществлено выравниванием емкостей фаз относительно земли (изменением взаимного положения фазных проводов, а также распределением конденсаторов высокочастотной связи между фазами линий).

**Вывод 3.** Установка и эксплуатация дугогасящих реакторов в электрических сетях напряжением 6...35 кВ в большинстве случаев выполняется с нарушением требований ПТЭ. Поэтому затраты на установку ДГР не окупаются, а сами реакторы превращаются в «памятники для Ростехнадзора».

# Переход однофазного замыкания в двухфазное (трёхфазное)

Фазные напряжения на шинах с повреждённым присоединением



12-00 – однофазное замыкание на одной из отходящих ВЛ;

12-00...12.34 – поиск повреждённого присоединение последовательным отключением;

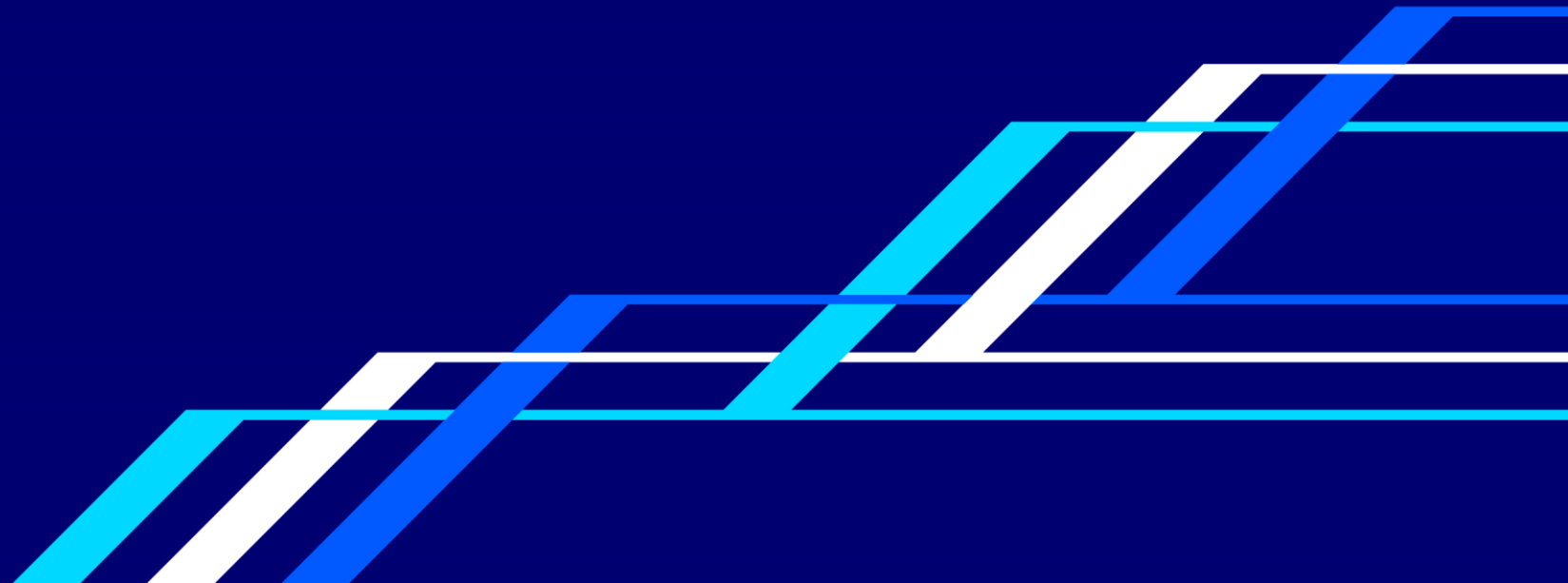
12-34...12-36 – повреждённое присоединение временно отключено;

12-42 – автоматическое отключение повреждённого присоединения защитой от коротких замыканий

**Вывод 4.** Малая доля длительных однофазных замыканий на землю (ОЗЗ) в общем числе повреждений ВЛ говорит о переходе ОЗЗ в многофазные замыкания с отключением повреждения релейной защитой.

Однофазные замыкания на землю в соответствии с ПТЭ следует отключать релейной защитой.

# Заземление нейтрали в электрических сетях 6-35 кВ



# Правила технической эксплуатации

619. Для уменьшения кратности перенапряжений при однофазных замыканиях на землю, организации селективной работы релейной защиты и повышения электробезопасности при замыканиях на землю в сетях с малыми токами замыкания на землю (до 10 А) должны применяться:

высокоомное резистивное заземление нейтрали;

низкоомное резистивное заземление нейтрали;

средства селективного определения присоединения или его участка с однофазным замыканием на землю совместно с управляемыми коммутационными аппаратами, позволяющими отключать присоединение или участок присоединения с однофазным замыканием на землю.

Высокоомное резистивное заземление нейтрали допускается применять в случае, если значение тока замыкания на землю не превышает значения, указанные в пункте 621 Правил. **(10...30 А)**

При высокоомном резистивном заземлении нейтрали сопротивление резистора должно выбираться из условия, чтобы значение активной составляющей тока замыкания на землю было больше или равно емкостной составляющей тока замыкания на землю.

$$R \leq \frac{1}{3\omega C}$$

Постоянная времени разряда:

$$\tau = RC \leq \frac{1}{3 \cdot 2\pi f} = \frac{1}{18,85} T = \underline{0,053 \cdot T}$$

При выделенном условии разряд ёмкости сети и исчезновение возможных перенапряжений происходит за время, меньшее чем 0,1 периода промышленной частоты.



# Правила технической эксплуатации

619. Для уменьшения кратности перенапряжений при однофазных замыканиях на землю, организации селективной работы релейной защиты и повышения электробезопасности при замыканиях на землю в сетях с малыми токами замыкания на землю (до ~~10 А~~) должны применяться:

высокоомное резистивное заземление нейтрали;

низкоомное резистивное заземление нейтрали;

средства селективного определения присоединения или его участка с однофазным замыканием на землю совместно с управляемыми коммутационными аппаратами, позволяющими отключать присоединение или участок присоединения с однофазным замыканием на землю.

Низкоомное резистивное заземление нейтрали следует применять в случаях, когда однофазное замыкание на землю должно быть селективно отключено в течение минимально возможного времени, а также при наличии в электрической сети силовых кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена. При этом ток в нейтрали должен быть достаточным для работы релейной защиты на отключение.

**Низкоомное резистивное заземление нейтрали создаёт условия**, при которых необходимо менять требования к заземляющим устройствам подстанций и опор ВЛ электрической сети.

Заземляющие устройства должны при замыканиях на землю обеспечивать **электробезопасность, то есть – безопасные значения напряжений прикосновения:**

**ГОСТ 12.1.038-82**

Время, с	0,2	0,4	0,6	0,6	1	Св.1
$U_{пр}$ , В	160	120	95	75	60	20

# Правила технической эксплуатации

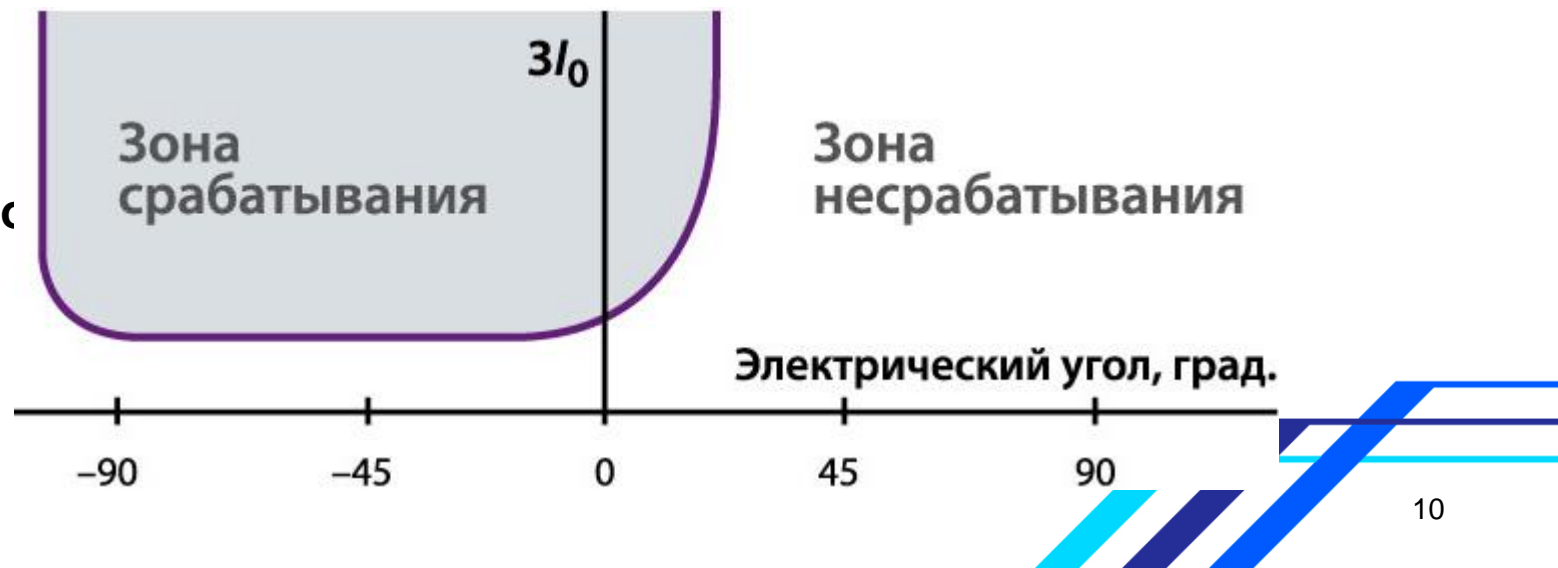
619. Для уменьшения кратности перенапряжений при однофазных замыканиях на землю, организации селективной работы релейной защиты и повышения электробезопасности при замыканиях на землю в сетях с малыми токами замыкания на землю (до ~~10 А~~) должны применяться:

высокоомное резистивное заземление нейтрали;

~~низкоомное резистивное заземление нейтрали;~~

средства селективного определения присоединения или его участка с однофазным замыканием на землю совместно с управляемыми коммутационными аппаратами, позволяющими отключать присоединение или участок присоединения с однофазным замыканием на землю.

**Фазовая характеристика направленной токовой защиты от ОЗЗ (НГТУ, 2000 )**



# Наиболее эффективные технические решения для сетей напряжением 6...35 кВ

1. Заземление нейтрали сети через резистор с активным сопротивлением  $R$ , равным примерно ёмкостному сопротивлению сети  $1/3\omega C$ .

$$R \leq \frac{1}{3\omega C}$$

Это обеспечивает снижение напряжения на здоровых фазах до значения линейного напряжения менее чем за четверть периода промышленной частоты

(п. 619 ПТЭ ЭСтЭС)

2. Во всех сетях с резистивным заземлением нейтрали должно применяться селективное отключение присоединений с однофазным замыканием на землю релейной защитой от ОЗЗ с минимальной выдержкой времени и автоматическим повторным включением.

(п. 620 ПТЭ ЭСтЭС)

# Резисторы НГТУ



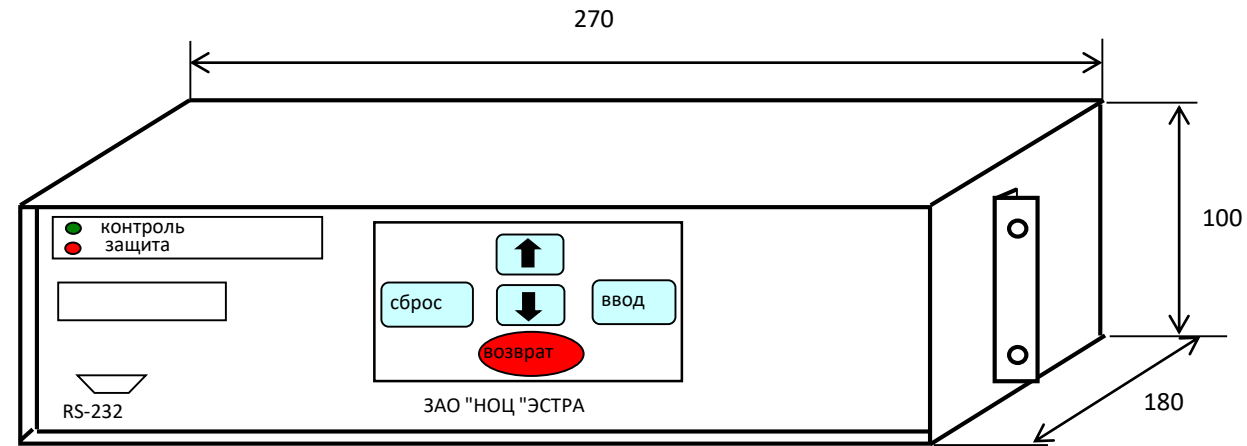
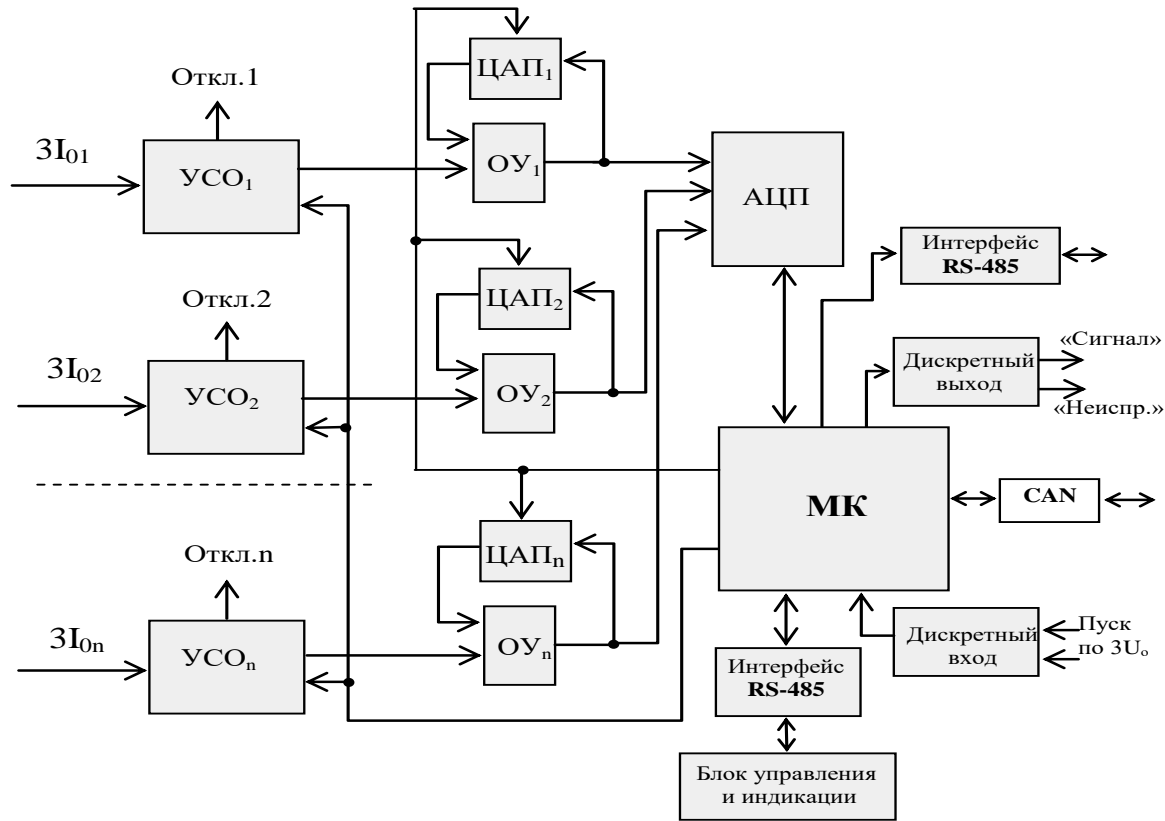
## ОСНОВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ

Номинальное напряжение, кВ	20	6
Исполнение	Наружное	
Сопротивление, Ом	3000	1500
Время непрерывной работы при номинальном напряжении, с	10	27
Номинальная мощность, кВт	133	24
Поглощаемая энергия, МДж	1,3	0,65
Габаритные размеры:		
высота, м	0,76	0,38
диаметр тела, м		0,15
размер фланцев, м <sup>2</sup>		0,2×0,2
Масса, кг	41	20

Изготовитель Новосибирский государственный технический университет, тел (383) 3460115



# Защита от замыканий на землю



Внешний вид и габаритные размеры МК33П-М

Структурная схема микроконтроллерной защиты присоединений от замыканий на землю

## Защита от замыканий на землю

№ п/п	Название головной подстанции, энергосистема	Напряжение сети, кВ	Сопротивление резистора, Ом	Год ввода в эксплуатацию
1	<b>ПС 110/35/6 кВ Янтарная</b> Ноябрьского ПЭС Тюменьэнерго	35	1500	1995
2	<b>ПС 220/110/35 кВ Усть-Балык</b> Нефтеюганского ПЭС Тюменьэнерго	35	1500	1996
3	<b>ПС Крайняя 110/35/6 кВ</b> Ноябрьского ПЭС Тюменьэнерго	35	1500	1998
4	<b>ПС Венгеровская 110/35/10 кВ</b> Татарского ПЭС Новосибирскэнерго	35	1500	1998
5	<b>ПС Гилево 110/35/10 кВ</b> Черепановского ПЭС Новосибирскэнерго	35	1500	1998
6	<b>ПС Моховая 110/35/10 кВ</b> Приобского ПЭС Новосибирскэнерго	35	1500	1998
7	<b>ПС Ханты-Мансийская 110/10 кВ</b> Нефтеюганского ПЭС Тюменьэнерго	10	750	1999
8	<b>ПС Самарово 110/10 кВ</b> Нефтеюганского ПЭС Тюменьэнерго	10	1500	2000
9	<b>ПС Авангард 110/10 кВ</b> Нефтеюганского ПЭС Тюменьэнерго	10	1500	2000
10	<b>ПС Западная 110/10 кВ</b> Нефтеюганского ПЭС Тюменьэнерго	10	1500	2004

# Литература

1	Предпосылки к созданию объемных керамических резисторов большой мощности	Материалы научно-технического семинара "Энергетика, экология, надежность, безопасность" - Томск: Изд-во ТПУ, 1997. - с.102-107.
2	Патент "Способ изготовления высоковольтного проволочного резистора" (19) RU (11) 2072225 (13) C1 (20) 6 Н 01 С 7/00, 7/12, 17/00 Зарегистрирован в Государственном реестре изобретений 20 января 1997 г.	Патент № 2072225 на ИЗОБРЕТЕНИЕ Патентообладатель: Новосибирский государственный технический университет Приоритет изобретения 27 июля 1994 г. Заявка № 94028412 Опубликован 20.01.97 Бюл. № 2
3	Нормативное обеспечение режима нейтрали в электрических сетях	Режимы заземления нейтрали сетей 3-6-10-35 кВ: Доклады научно-технической конференции. - Новосибирск: ГЦРО, 2000. - С.3-9
4	Резисторы для заземления нейтрали сети 6-35 кВ	там же. С. 122-129
5	Расчет, конструкция и технология изготовления энергоемких проволочно-керамических резисторов	Электротехника, 2000, № 11, с. 60-64
6	Пути повышения надежности и электробезопасности нефтепромысловых сетей 6...35 кВ	Энергетика Тюменского региона №3 (13), . с. 15-18.
7	Об особенностях резистивного заземления в сетях 10 кВ	Материалы седьмой Всероссийской научно-технической конференции Энергетика: экология, надежность, безопасность» Томск: Изд-во ТПУ, 2001 Т 1. С. 73-76
8	Выбор сопротивления резистора в нейтрали по условиям электробезопасности	Ограничение перенапряжений и режимы заземления нейтрали сетей 6-345 кВ: Труды Второй Всероссийской научно-технической конференции. – Новосибирск. 2002. С 59-63
9	Особенности резистивного заземления в городских сетях 10 кВ	Ограничение перенапряжений и режимы заземления нейтрали сетей 6-345 кВ: Труды Второй Всероссийской научно-технической конференции. – Новосибирск. 2002. С.63-68

# Литература

10	Анализ осциллограмм токов и напряжений при однофазных дуговых замыканиях в сети 10 кВ с резистивным заземлением нейтрали	Ограничение перенапряжений и режимы заземления нейтрали сетей 6-345 кВ: Труды Второй Всероссийской научно-технической конференции. – Новосибирск. 2002. С.127-132
11	Опыт эксплуатации электрических сетей напряжением 6...35 кВ с резистивным заземлением нейтрали	Энергетика тюменского региона 2003 № 3. С 23-25
12	Области применения различных систем заземления нейтрали	Ограничение перенапряжений и режимы заземления нейтрали сетей 6-35 кВ: Труды Третьей Всероссийской научно-технической конференции. – Новосибирск, 2004. С29-33 А также: Новости электротехники № 5(29) 2004. С.28-31
13	Опыт эксплуатации электрических сетей с резистивным заземлением нейтрали	Ограничение перенапряжений и режимы заземления нейтрали сетей 6-35 кВ: Труды Третьей Всероссийской научно-технической конференции. – Новосибирск, 2004. С56-62
14	Кардинальный путь повышения надежности и электробезопасности сетей 6...35 кВ	Материалы десятой Всероссийской научно-технической конференции «Энергетика: экология, надежность, безопасность». – Томск: Изд-во ТПУ, 2004. С. 34-48
15	Городские электрические сети. Режимы заземления нейтрали	Новости электротехники 2011 №3(69). С.42-43
16	Защита сетей 6...35 кВ от однофазных замыканий на землю при большом сопротивлении грунта	Энергетика Тюменского региона №4 (14), 2001 г. с. 13-17.
17	Опыт эксплуатации электрических сетей напряжением 6...35 кВ с резистивным заземлением нейтрали	Энергетика тюменского региона 2003 № 3. С 23-25
18	Опыт эксплуатации электрических сетей с резистивным заземлением нейтрали	Ограничение перенапряжений и режимы заземления нейтрали сетей 6-35 кВ: Труды Третьей Всероссийской научно-технической конференции. – Новосибирск, 2004. С56-62



# Литература

19	Кардинальный путь повышения надежности и электробезопасности сетей 6...35 кВ	Материалы десятой Всероссийской научно-технической конференции «Энергетика: экология, надежность, безопасность». – Томск: Изд-во ТПУ, 2004. С. 34-48
20	О необходимости изменения режима нейтрали электрических сетей напряжением 6...35 кВ	Повышение эффективности производства и использования энергии в условиях Сибири. Материалы всероссийской научно-практической конференции с международным участием. – Иркутск: ИрГТУ. 2005. С. 467-478
21	Ключевые моменты модернизации электрических сетей напряжением 6...35 кВ	<b>Интеллектуалды ұлт: ғылым, білім және инновация.</b> Халық. ғыл.-практ. конфер. материалдары. 19 наурыз = <b>Интеллектуальная нация: наука, образование и инновации</b> - Мат-лы Межд. Нуч-практ. конф. 19 марта – Семей: «Кайнар» (Семей) ун-ті, 2010. – С. 28-31
22	Городские электрические сети. Обеспечение надёжности и безопасности электроснабжения	Новости электротехники. №5(65) 2009. С. 56-58
23	Городские электрические сети. Обеспечение надёжности и безопасности электроснабжения	Новости электротехники 2011 №1(67). С.26-28
24	Городские электрические сети. Опыт эксплуатации централизованных микроконтроллерных защит	Новости электротехники 2011 №2(68). С.58-62
25	Электробезопасность и режим заземления нейтрали в электрических сетях напряжением 6...35 кВ	Энергобезопасность и энергосбережение. 2018 №5 с. 11-15
26	Анахронизмы в электрических сетях напряжением 6...35 кВ	Проблемы электроэнергетики и телекоммуникаций севера России : сб. ст. 2 Всерос. с междунар. участием науч.-практ. конф., Сургут, 22–23 апр. 2021 г. – Москва : Знание-М, 2021. – С. 157-165

# Выводы

1. В большинстве электрических сетей РФ напряжением 6...35 кВ требования ПТЭ об отключении однофазных замыканий нарушаются.
2. Неотключаемые однофазные замыкания за счёт перенапряжений переходят в двухфазные и трёхфазные и отключаются релейной защитой.
3. Установка и эксплуатация дугогасящих реакторов в электрических сетях напряжением 6...35 кВ в большинстве случаев выполняется с нарушением требований ПТЭ. Поэтому затраты на установку ДГР не окупаются, а сами реакторы превращаются в «памятники для Ростехнадзора».
4. Наиболее эффективным техническим решением для сетей напряжением 6...35 кВ является:
  - Заземление нейтрали сети через резистор с активным сопротивлением  $R$ , равным примерно ёмкостному сопротивлению сети  $1/3\omega C$ ., в сочетании с
  - селективным отключением присоединения с однофазным замыканием на землю релейной защитой от ОЗЗ с минимальной выдержкой времени и АПВ

**Благодарю за  
внимание!**

