

Концепция поддержания работоспособности электрических сетей в послеаварийных режимах

Профессор кафедры ЭЭС ИЭЭ НИУ «МЭИ»,
д.т.н., доцент Удинцев Дмитрий Николаевич

Работа проводится на кафедре ЭЭС ИЭЭ НИУ «МЭИ» при участии специалистов ОЭК и ОВА ВС РФ:
Шведов Г.В., Насыров Р.Р., Кочнев С.С., Зажигин В.В., Пожидаев С.В., Зувев А.И.

2023 / 5–6 июля

Москва / Конгресс-центр ЦМТ

ОРГАНИЗАТОРЫ

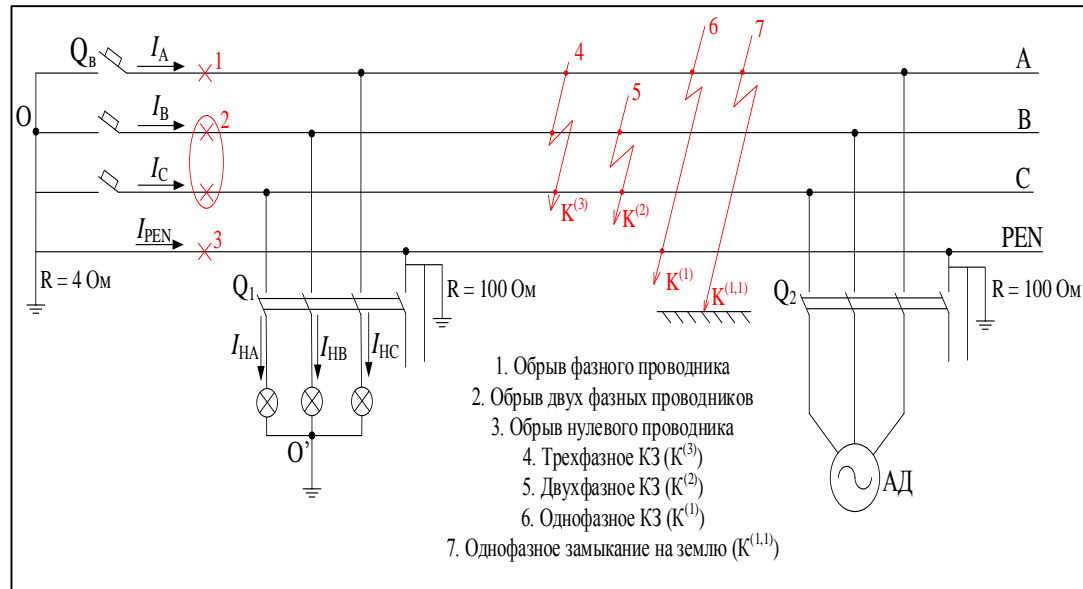
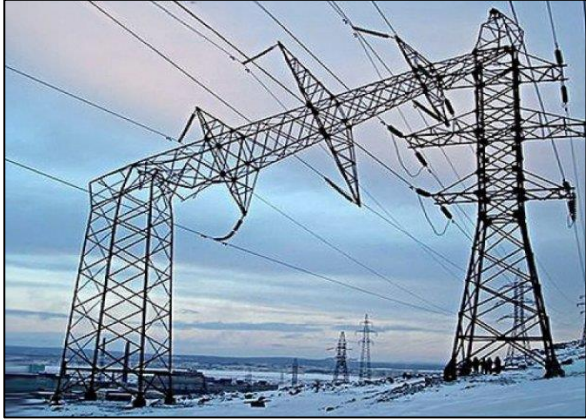


VIII Международная
научно-техническая конференция

«Развитие и повышение надежности
распределительных электрических сетей»



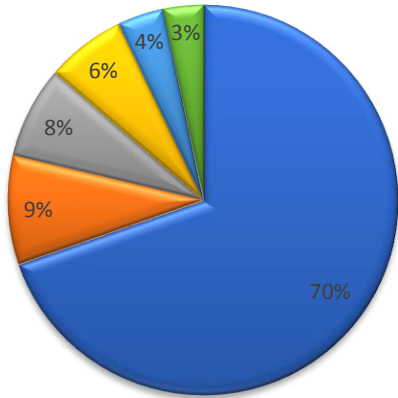
Примеры аварий на воздушных линиях электропередачи



Основные виды повреждений проводов в электрических сетях (на примере сети 0,4 кВ)

Анализ основных причин аварий ВЛ 6-10 кВ

Соотношения причин повреждения ВЛ 6-10кВ

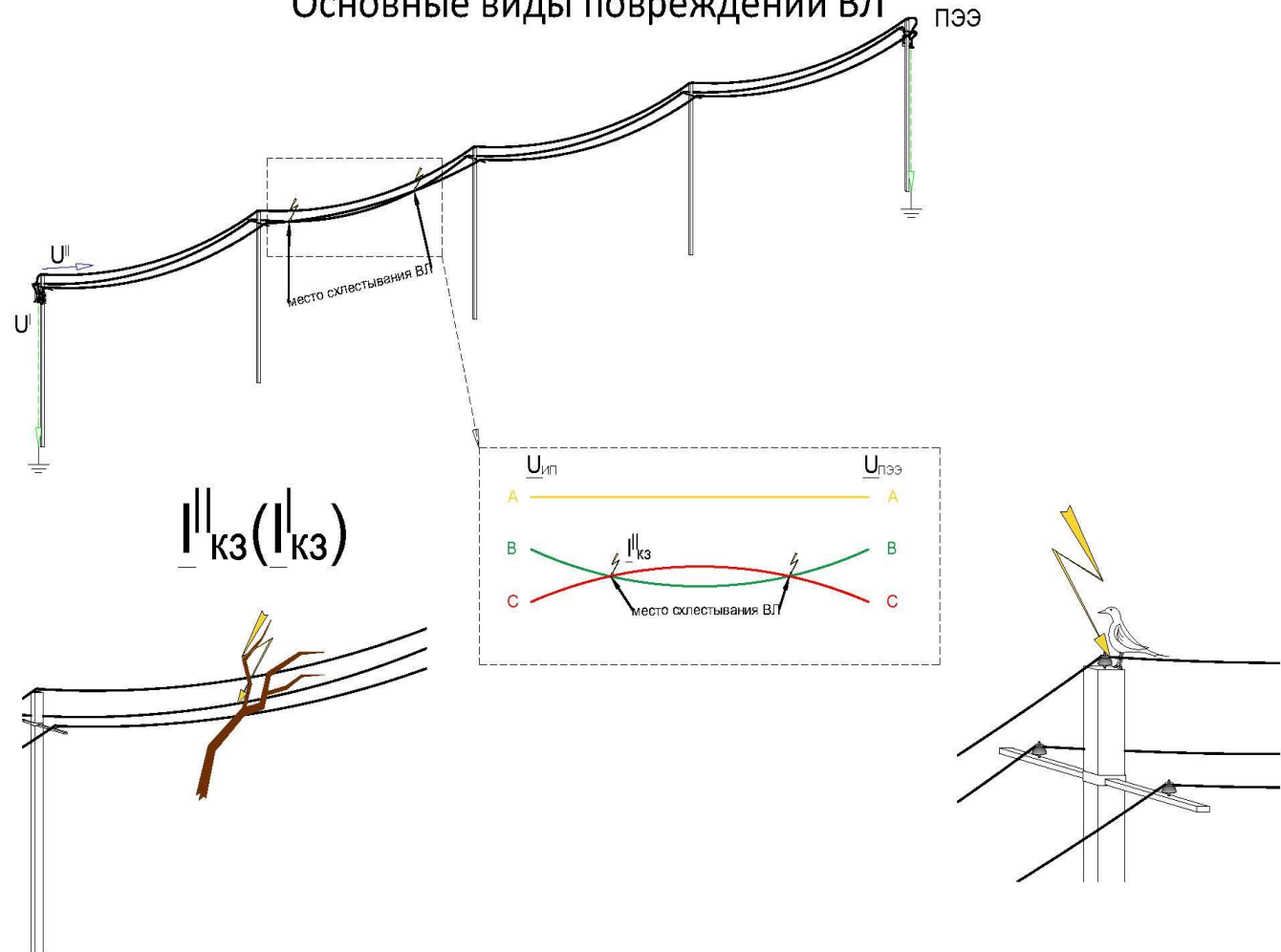


- Схлестывание проводов
- Обрыв провода автотранспортом
- Повреждение опор автотранспортом
- Обрыв провода
- Падение деревьев
- Иные причины

Основные причины аварийных отключений в РЭС

	2013	2014	2015
Несоблюдение тех. обслуживания	134	66	70
Воздействие стихийных явлений	120	59	22
Воздействие посторонних лиц, организаций (в том числе потребительские)	12	8	24
Прочие причины (воздействие птиц, животных)	17	66	3

Основные виды повреждений ВЛ



Некоторые работы, посвященные временному поддержанию элементов сети в работоспособном состоянии до устранения причины аварии

1. Особенности работы тупиковых подстанций 220-110 кВ при неполнофазных режимах по признаку заземления нейтрали трансформаторов / Мисриханов М.Ш., Путова Т.Е., Гречин В.П., Малюшицкий П.Г. // Вестник ИГЭУ. 2005. № 1. С.1-10.
2. Методика расчета установившихся неполнофазных режимов оборудования 110 кВ и выше в электрических системах / М.Ш. Мисриханов, А.А. Рагозин, В.А. Попов, Е.И. Кушкова // Повышение эффективности работы энергосистем: Труды ИГЭУ. № 4. М.: Энергоатомиздат, 2001. – 432 с.
3. Титенков С. С., Пугачев А.А. Режимы заземления нейтрали в сетях 6–35 кВ и организация релейной защиты от однофазных замыканий на землю. // ЭНЕРГОЭКСПЕРТ. 2010. №2. С. 18-25.
4. Авербух А.М. Примеры расчетов неполнофазных режимов и коротких замыканий. – 2-е изд., перераб. и доп. - Л.: Энергия. Ленинградское отделение, 1979. 184 с.
5. Ефремов В.А., Ефремов А.В. Направленная высокочастотная защита для линий с однофазным автоматическим повторным включением // Электроэнергия. Передача и распределение. 2018. № 5(50). С.96-98.
6. Борисов Р.И. Методика расчетов неполнофазных режимов длинных линий электропередач высокого напряжения // Известия Томского ордена Красного знамени политехнического института имени С.М. Кирова. Том 98. 1960 г.
7. Мартынов В.А. Расчет неполнофазных режимов работы трехфазных трансформаторов // Электричество. 2003. № 9. - С. 54-61; № 10. - С. 17-24.
8. Мартынов В.А., Голубев А.Н. Исследование несимметричных режимов автотрансформаторов // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. 2018. №4.
9. Анализ возможности неполнофазной работы автотрансформаторной группы узловой подстанции 500/220/110 кВ / Газизова О.В., Панова Е.А., Кий А.В., Патшин Н.Т. // Электротехнические системы и комплексы. 2022. № 1 (54). С. 54-61.

Применение неполнофазных режимов работы основного электрооборудования электроустановок 330-1150 кВ

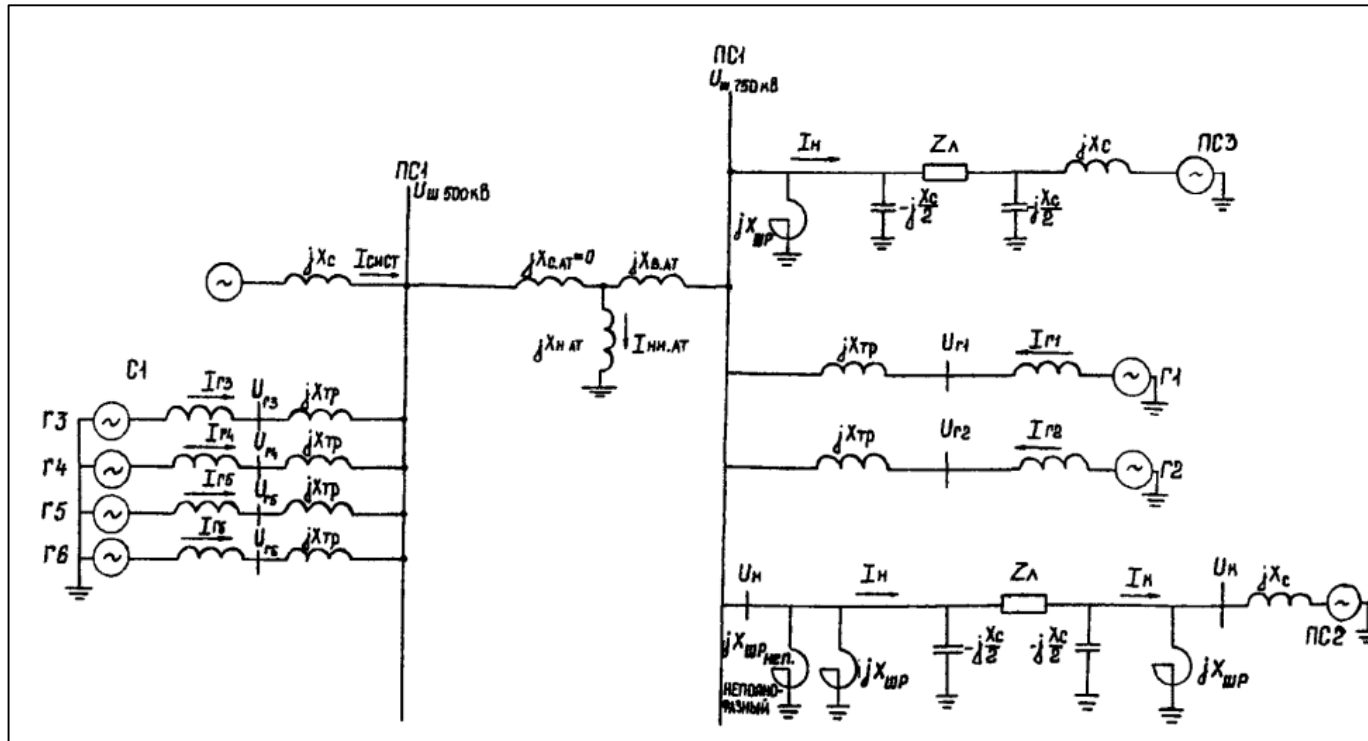


Схема замещения ВЛ 750 кВ «ПС1-ПС2» для исследования неполнофазного режима работы ШР 750 кВ на ПС1

Методические указания по применению неполнофазных режимов работы основного электрооборудования электроустановок 330-1150 кВ

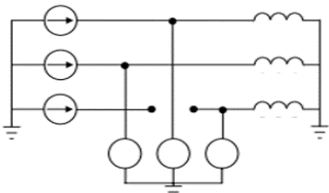
Содержат основные положения по применению на подстанциях и открытых распределительных устройствах электрических станций 330-1150 кВ неполнофазных режимов работы автотрансформаторов (трансформаторов) и шунтирующих реакторов, выполненных в виде трехфазных групп и однофазных единиц.

При проектировании подстанций они применяются при выборе определенных конструкций ОРУ и его заземляющего устройства, при выборе схемы управления коммутационными аппаратами и аппаратуры релейной защиты с целью обеспечения возможности применения неполнофазных режимов.

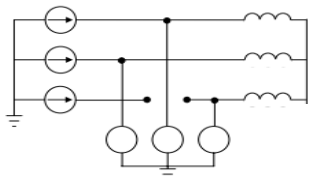
- *Методические указания по применению неполнофазных режимов работы основного электрооборудования электроустановок 330-1150 кВ. РД 153-34.3-20.670-97. – М.: Производственная служба передового опыта эксплуатации энергопредприятий ОРГРЭС, 1999 – 55с.*

Исследования по выбору режима нейтрали трансформаторов при неполнофазных режимах в электрических сетях 220-110 кВ

Описание и схемы несимметричных аварийных режимов



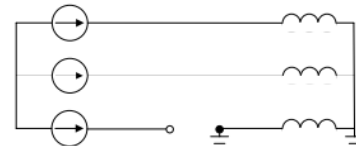
Обрыв одной фазы без замыкания на землю, нейтраль трансформатора заземлена



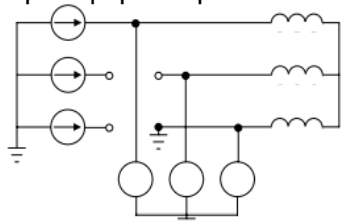
Обрыв одной фазы без замыкания на землю, нейтраль трансформатора изолирована



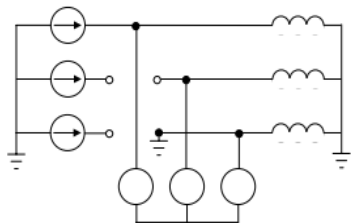
Обрыв одной фазы с замыканием на землю, нейтраль трансформатора изолирована



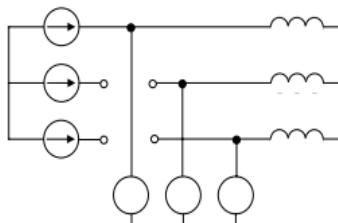
Обрыв одной фазы с замыканием на землю, нейтраль трансформатора заземлена



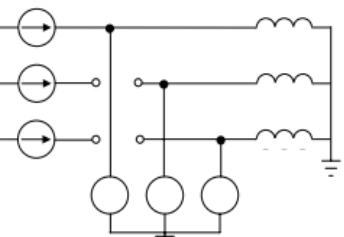
Обрыв двух фаз с замыканием одной фазы на землю, нейтраль трансформатора изолирована



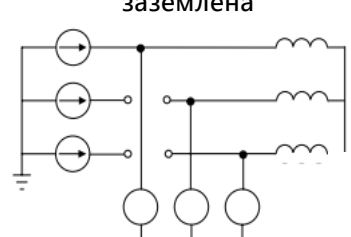
Обрыв двух фаз с замыканием одной из фаз на землю, нейтраль трансформатора заземлена



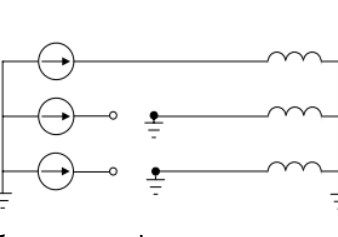
Обрыв двух фаз без замыкания на землю, нейтраль трансформатора изолирована



Обрыв двух фаз без замыкания на землю, нейтраль трансформатора заземлена



Обрыв двух фаз с замыканием обеих фаз на землю, нейтраль трансформатора изолирована



Обрыв двух фаз с замыканием обеих фаз на землю, нейтраль трансформатора заземлена

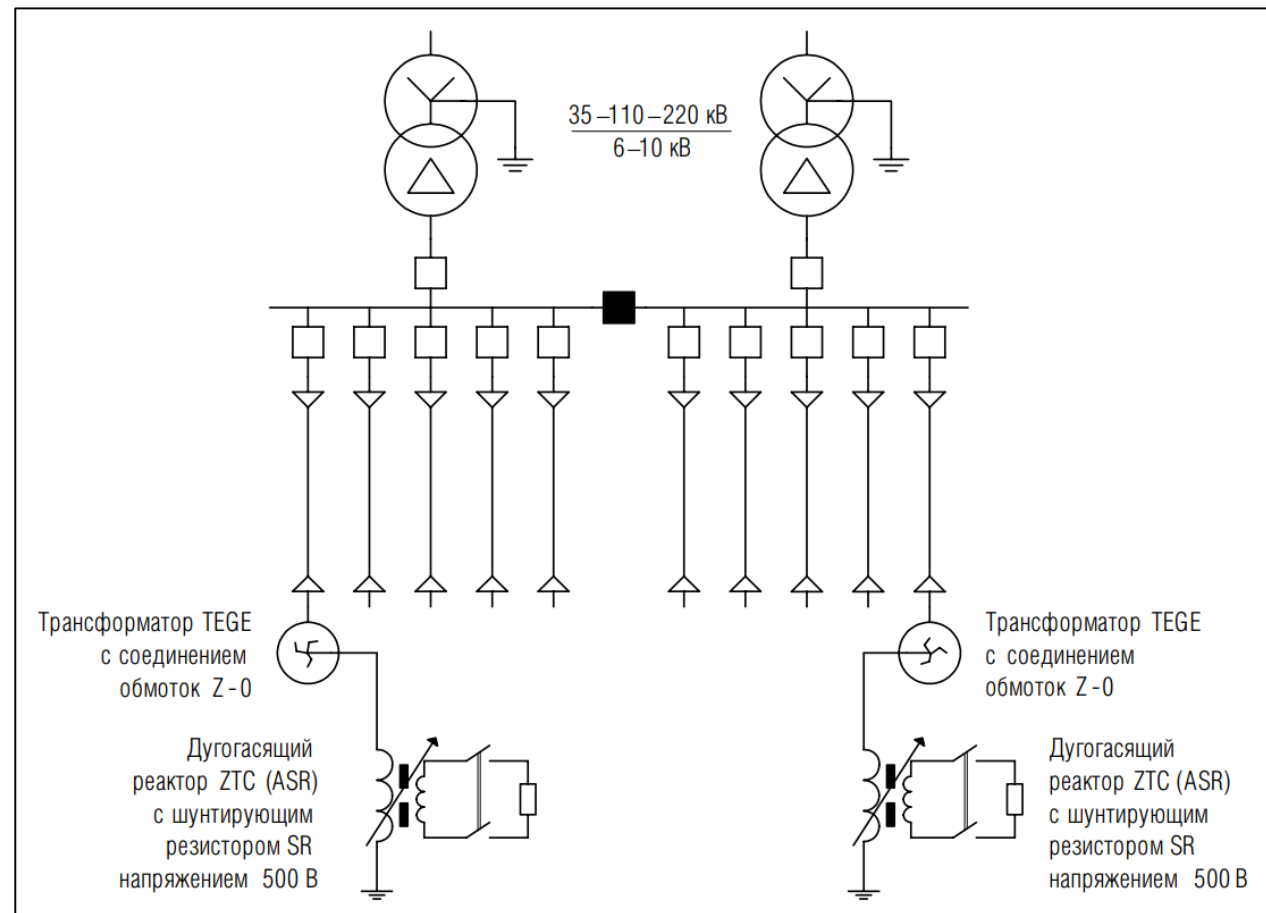
Выводы

1. При работе отпаечных подстанций с изолированной нейтралью в случае возникновения НПФ возможны массовые повреждения электроприёмников потребителей, а также повреждение подстанционного оборудования.
2. Для обнаружения и ликвидации НПФ необходимы разработка и применение специального вида автоматики.
3. Для уменьшения ущерба от последствий при возникновении НПФ необходимо на отпаечных подстанциях применять **режим работы трансформаторов с заземленной нейтралью**.
4. При режиме с заземленной нейтралью упрощаются действия оперативного персонала, направленные на ликвидацию НПФ.
5. При всех видах НПФ трансформатора, работающего с изолированной нейтралью на тупиковых подстанциях, на нейтрали обмоток ВН появляется напряжение, которое может достигать значения фазного напряжения источника.

Поддержание в работе электрических сетей 6-10 кВ при ОЗЗ

Режим заземления нейтрали в сети 6-10 кВ, обеспечивающий работу при ОЗЗ - через дугогасящий реактор

В этом режиме на секцию шин 6–10 кВ через специально выделенную ячейку подключается трансформатор вывода нейтрали (с соединением обмоток Y-0/D или Z-0) и дугогасящий реактор. При однофазном замыкании на землю в сети дугогасящий реактор создает в месте повреждения индуктивную составляющую тока, равную емкостной. При этом суммарный ток в месте повреждения становится равным практически нулю и первое возникшее в сети однофазное замыкание на землю можно не отключать.



Понижающая подстанция с нейтралью на стороне 6-10 кВ заземленной через дугогасящий реактор

Титенков С. С., Пугачев А.А. Режимы заземления нейтрали в сетях 6–35 кВ и организация релейной защиты от однофазных замыканий на землю

РД 34.20.179 (ТИ 34-70-070-87) «Типовая инструкция по компенсации емкостного тока замыкания на землю в электрических сетях 6–35 кВ»

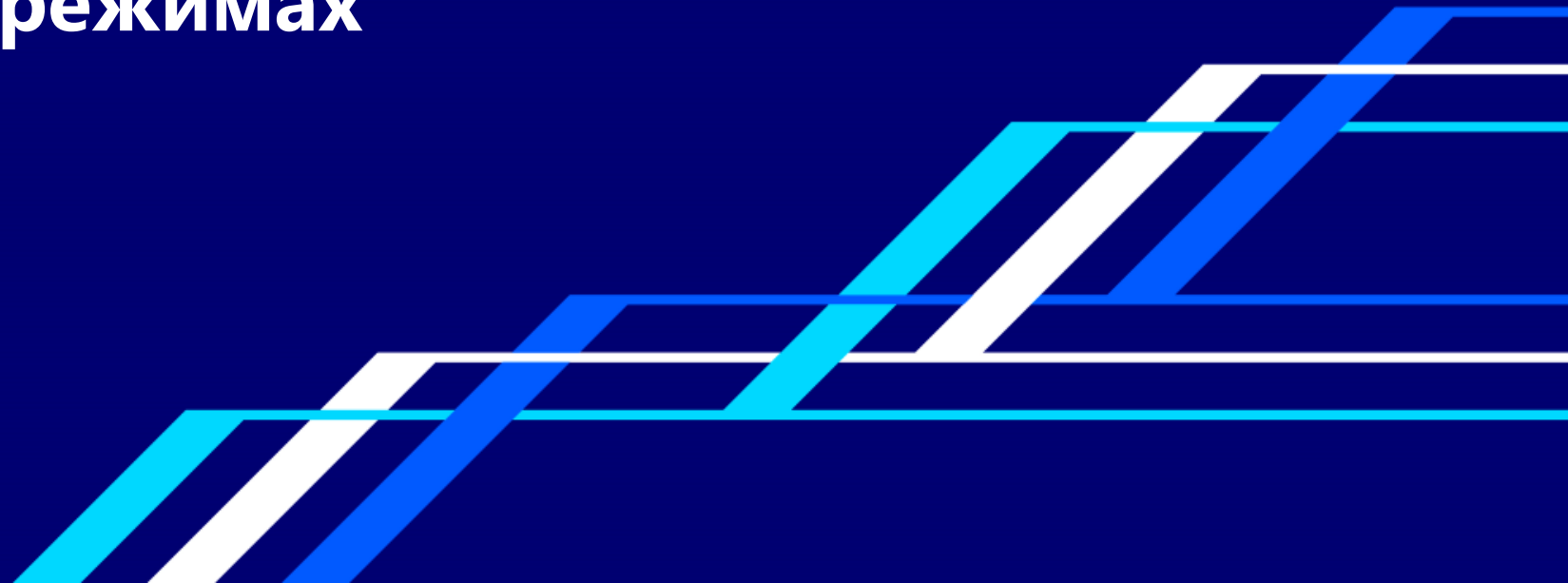
Концепция поддержания работоспособности электрических сетей в послеаварийных режимах



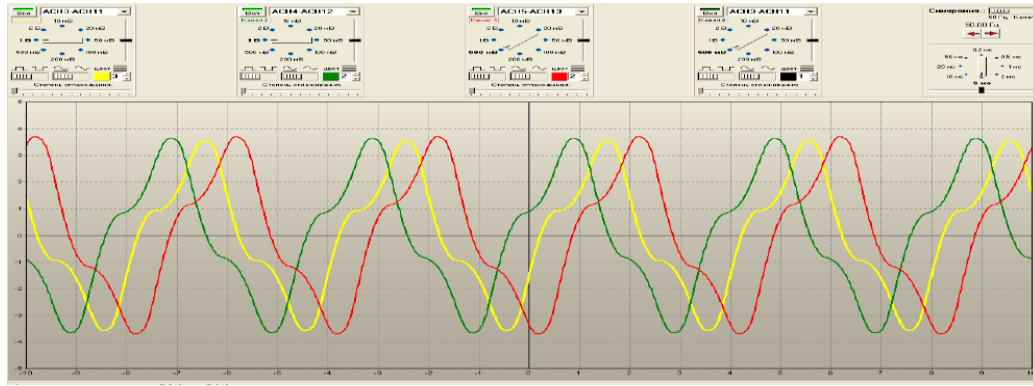
ОБЪЕДИНЕННАЯ
ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ
КОМПАНИЯ



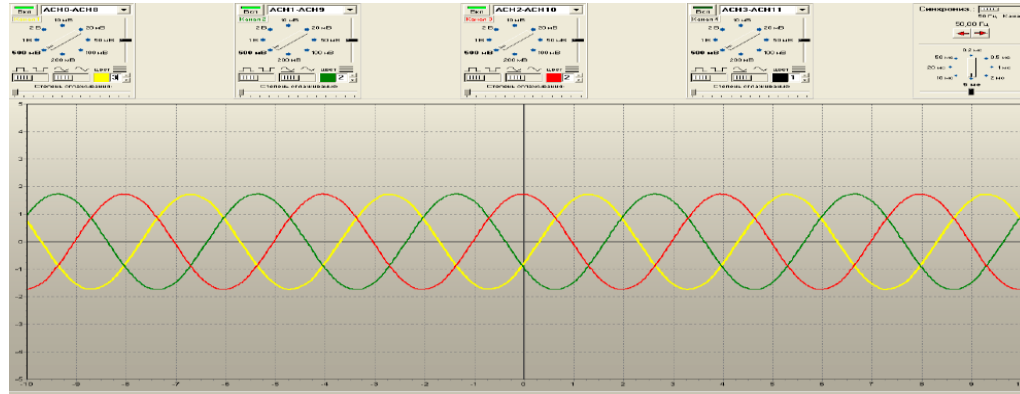
1. Поддержание работоспособности электрических сетей 110-220 кВ в послеаварийных режимах



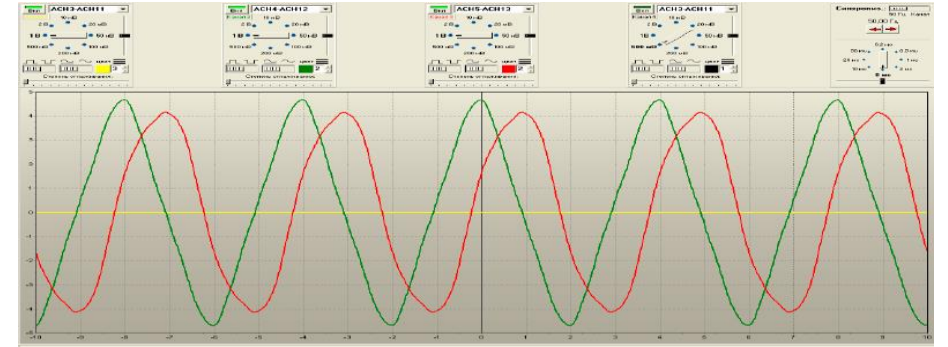
Поддержание работоспособности электрических сетей 110-220 кВ в послеаварийных режимах *(при заземленной нейтрали)*



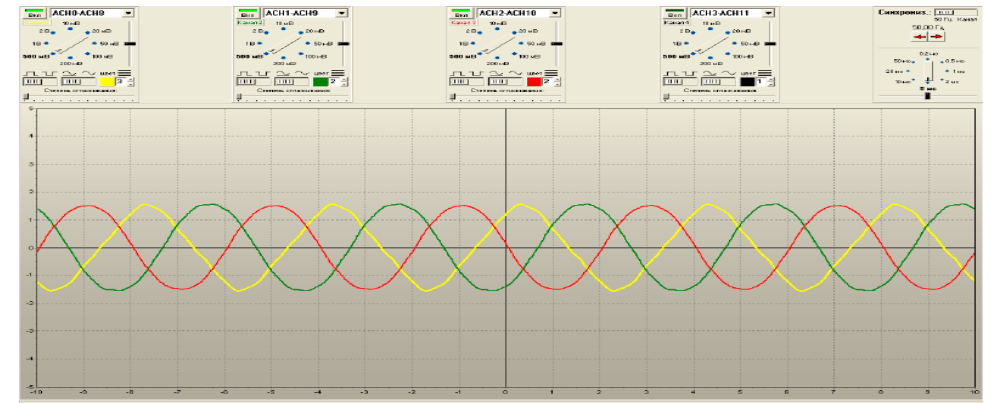
Осциллограмма токов на шинах 110 кВ в нормальном режиме



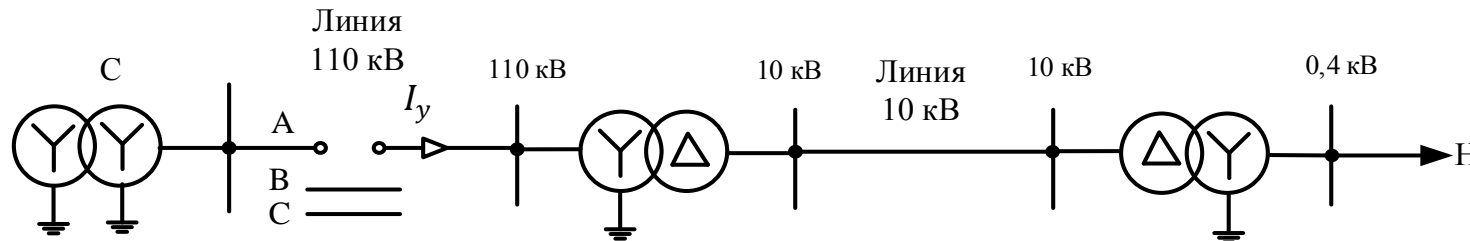
Осциллограмма фазных напряжений на шинах 0,4 кВ в нормальном режиме



Осциллограмма токов на шинах 110 кВ при обрыве фазного провода



Осциллограмма фазных напряжений на шинах 0,4 кВ при обрыве фазного провода



Поддержание работоспособности электрических сетей 110-220 кВ в послеаварийных режимах *при разземленной нейтрали*

Фазные напряжения на стороне 110 кВ в нормальном режиме и при обрыве фазного проводника

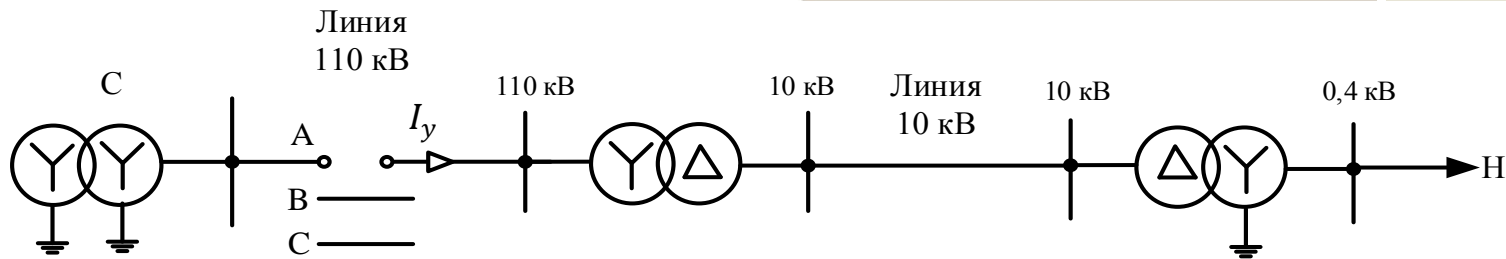
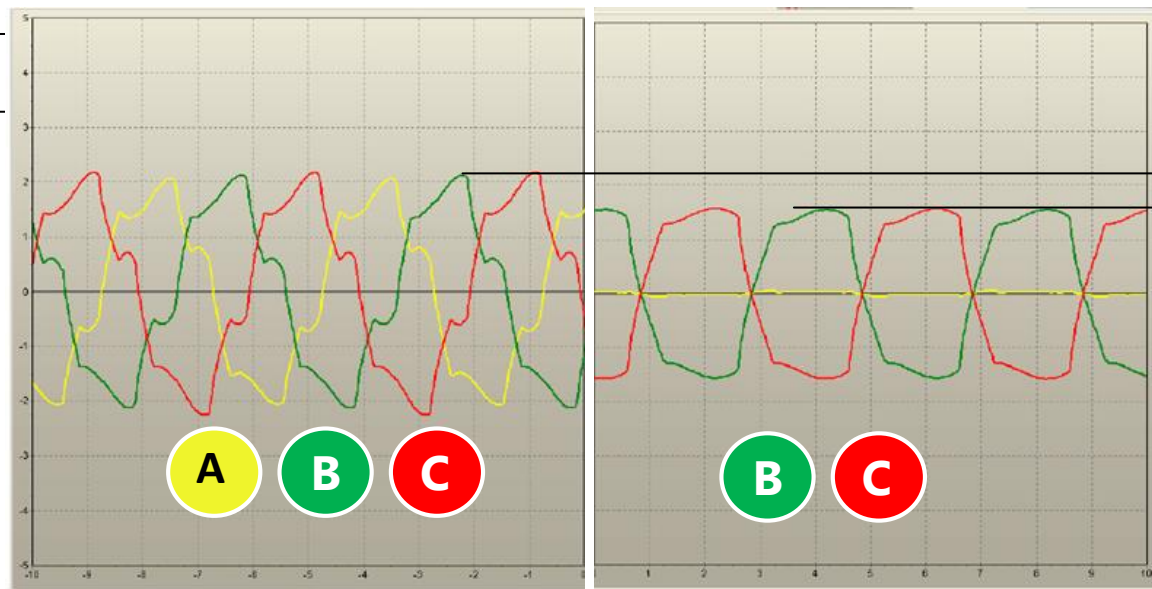
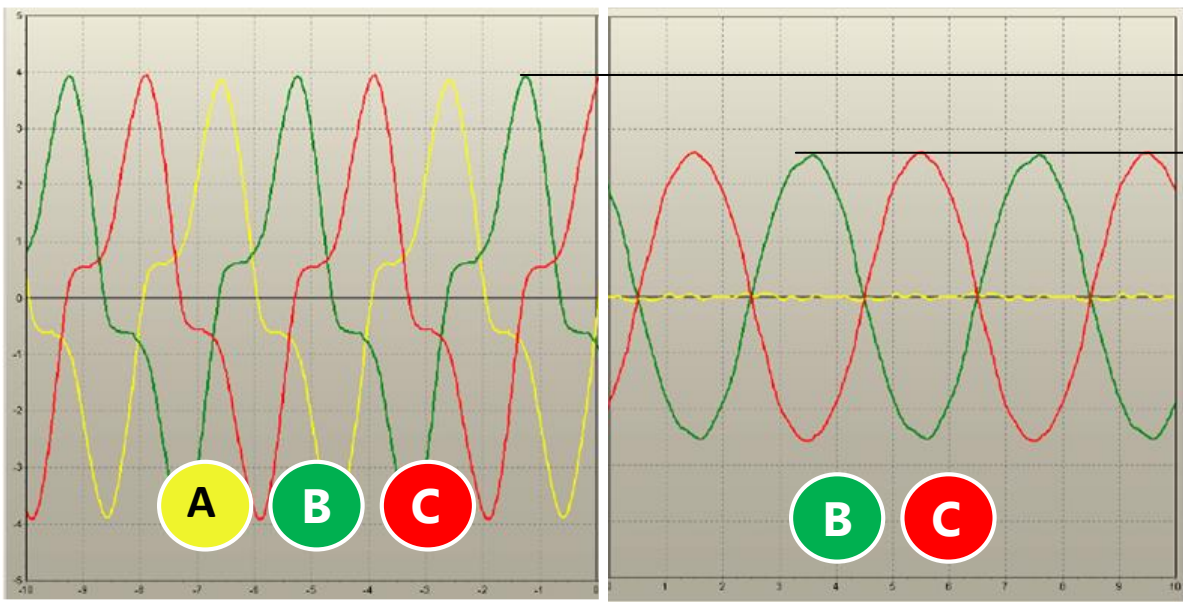
Линейные напряжения на стороне 10 кВ в нормальном режиме и при обрыве фазного проводника на стороне 110 кВ ПС 110/10 кВ

Полнофазный режим

Обрыв фазы

Полнофазный режим

Обрыв фазы



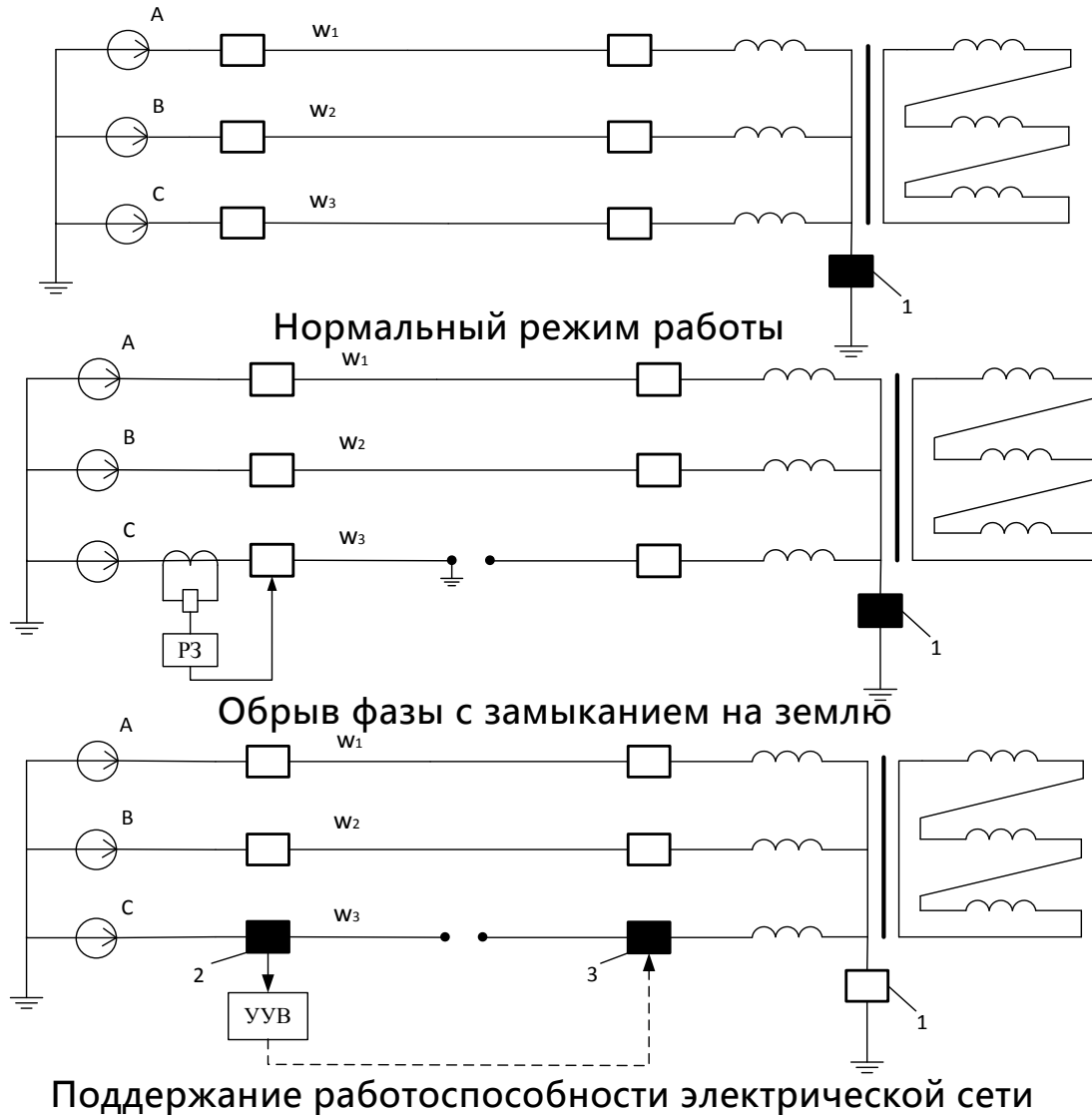
Поддержание работоспособности электрических сетей 110-220 кВ в послеаварийных режимах

Особенности протекания НПФ режимов.

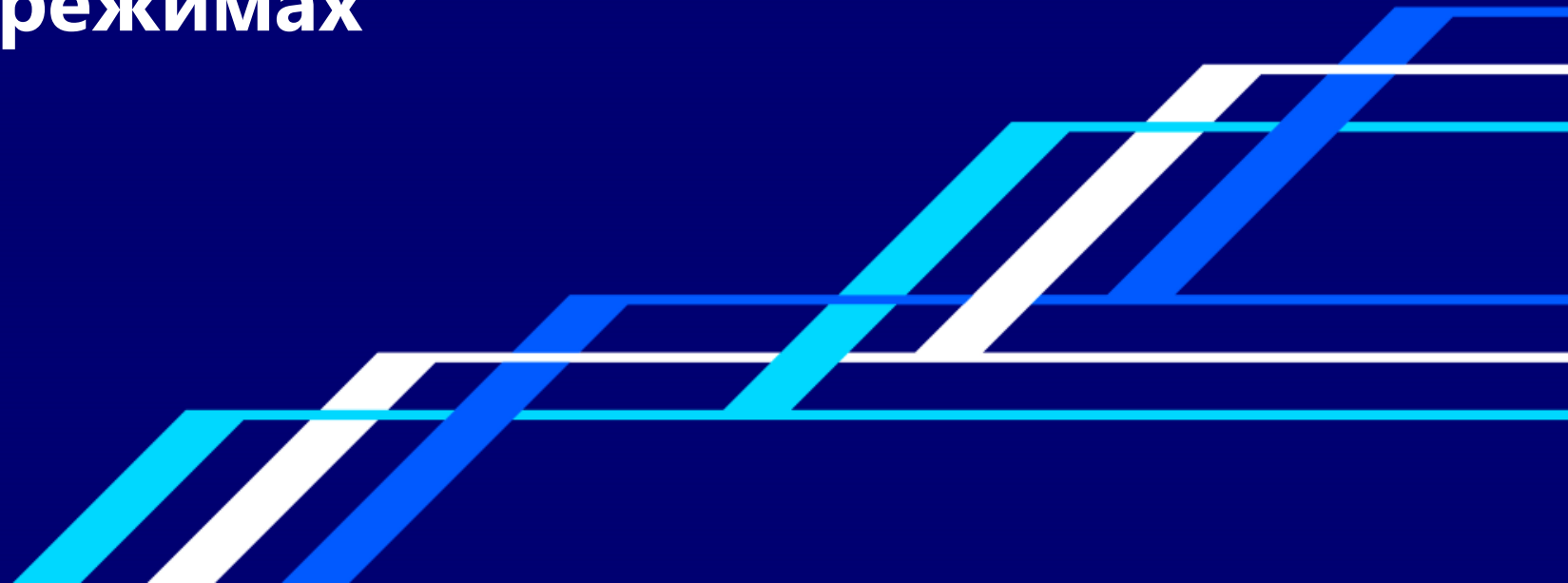
1. Ток через нейтраль трансформатора приемной подстанции может увеличиваться до величины $1,732$ фазного тока в нормальном режиме.
2. Необходимое условие существования неполнофазного режима – сеть с глухозаземленной нейтралью.
3. В неполнофазном режиме в сети с глухозаземленной нейтралью сохраняется симметрия напряжений на шинах потребителя.
4. Необходима установка выключателя и разъединителя в нейтралиразземленного трансформатора питающей подстанции.

Способ поддержания работоспособности электрических сетей напряжением 110-220 кВ

1. Определение поврежденного фазного проводника при ОЗЗ, обрыв, двухфазное КЗ без замыкания на землю.
2. Подача сигнала на запрет отключения выключателей двух неповрежденных фаз.
3. Подача сигнала на двухстороннее отключение поврежденной фазы и переход на режим с глухозаземленной нейтралью на стороне потребителя при разземленной (изолированной) нейтрали трансформатора потребителя.
4. Переключение отпаяк устройства регулирующего напряжения для восстановления значений напряжения в нормальном режиме.
5. Включение линии на режим передачи по двум фазам для временного послеаварийного поддержания работоспособности электрической сети.



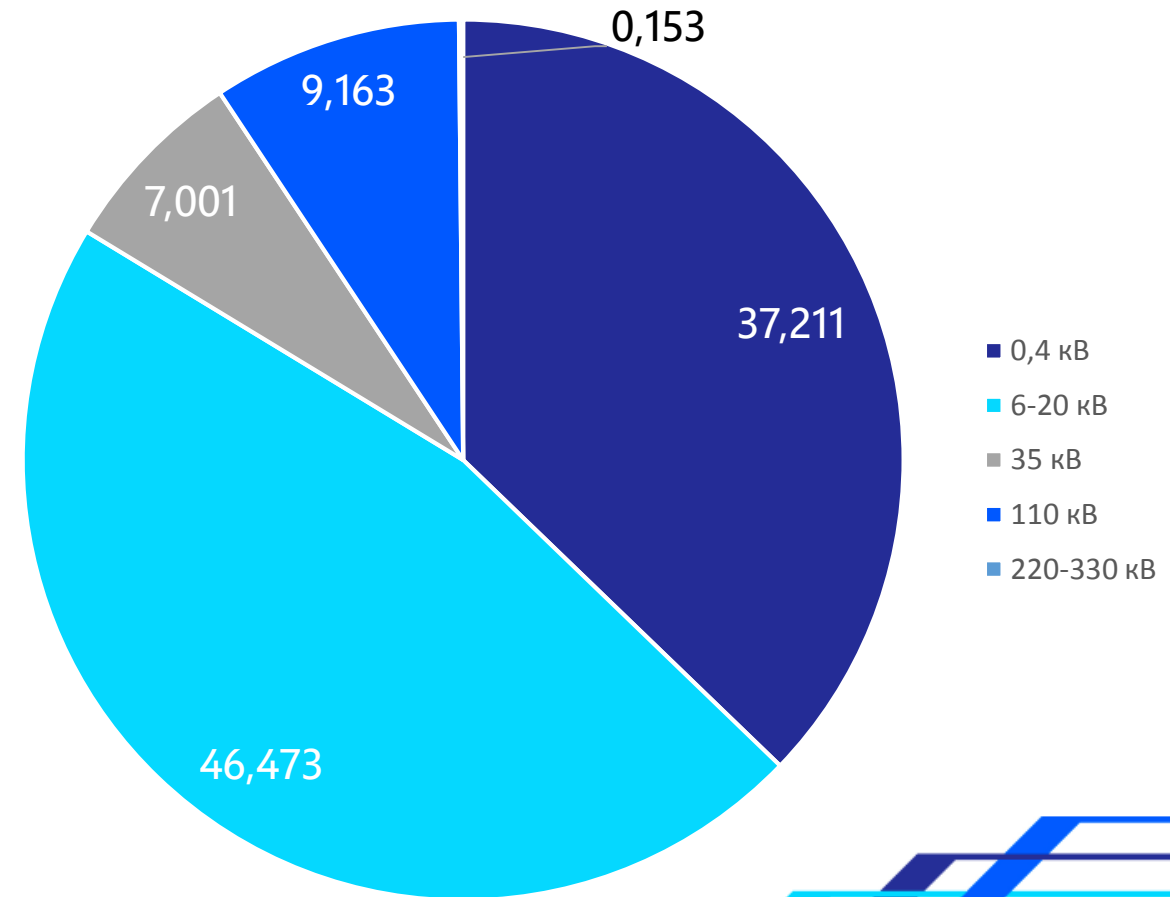
2. Поддержание работоспособности электрических сетей 6-10 кВ в послеаварийных режимах



Поддержание работоспособности электрических сетей 6-10 кВ в послеаварийных режимах



Протяженность линий электропередачи в
Российской Федерации по классам напряжения, %



Поддержание работоспособности электрических сетей 6-10 кВ в послеаварийных режимах



При возникновении аварийной ситуации на ВЛ в том числе: схлестывание; падение дерева; замыкание линии в следствии попадания под действие ЭЭ птиц и т.д. Производится отключение трех полюсов ВЛ, с последующим вводом в работу уцелевших фазных проводников и принудительным замыканием поврежденного проводника на ЗУ в начале линии и в конце линии.

Поддержание работоспособности электрических сетей 6-10 кВ в послеаварийных режимах

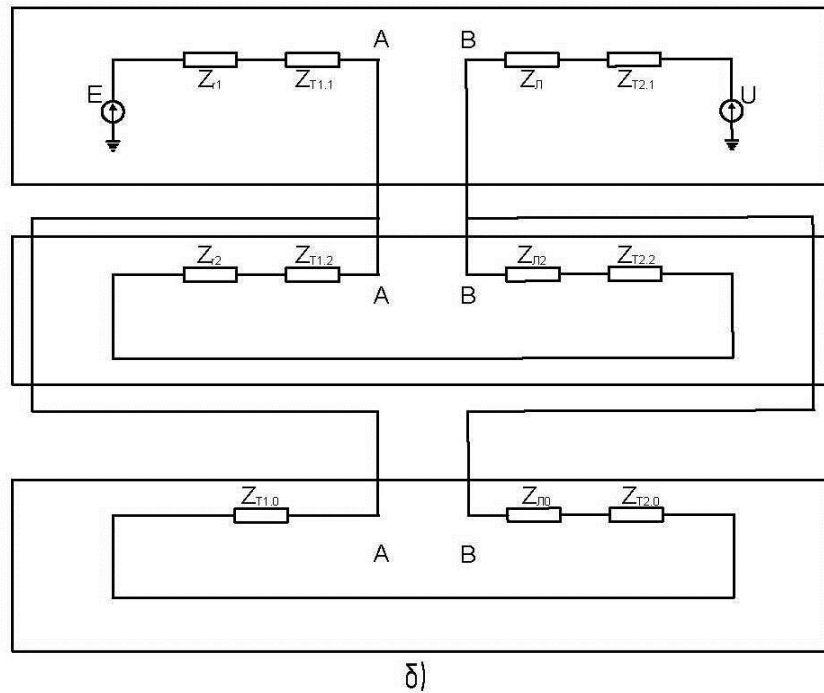
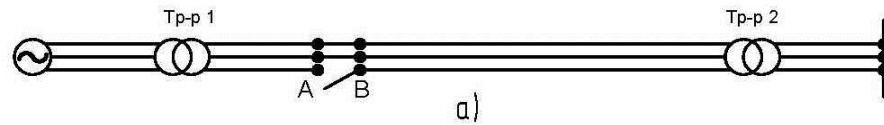
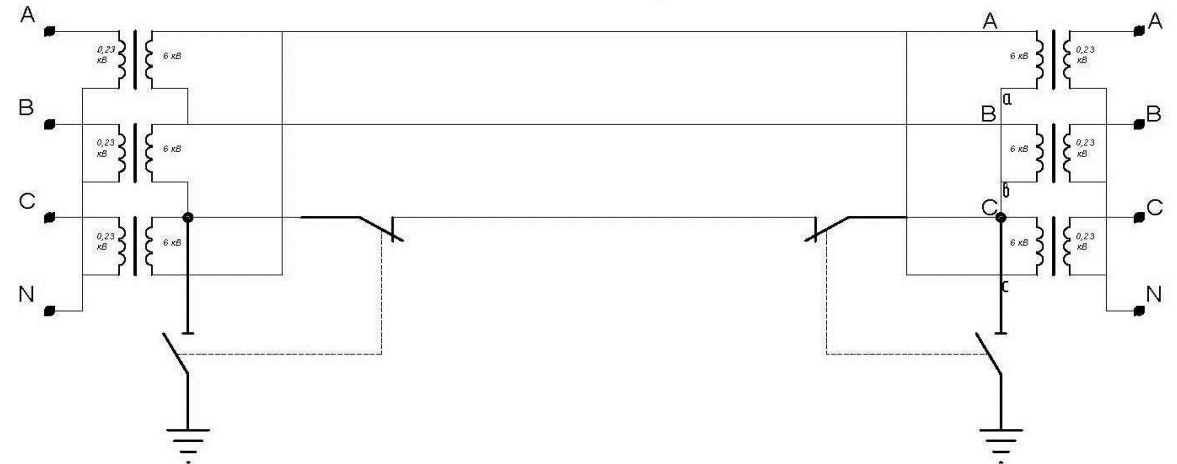
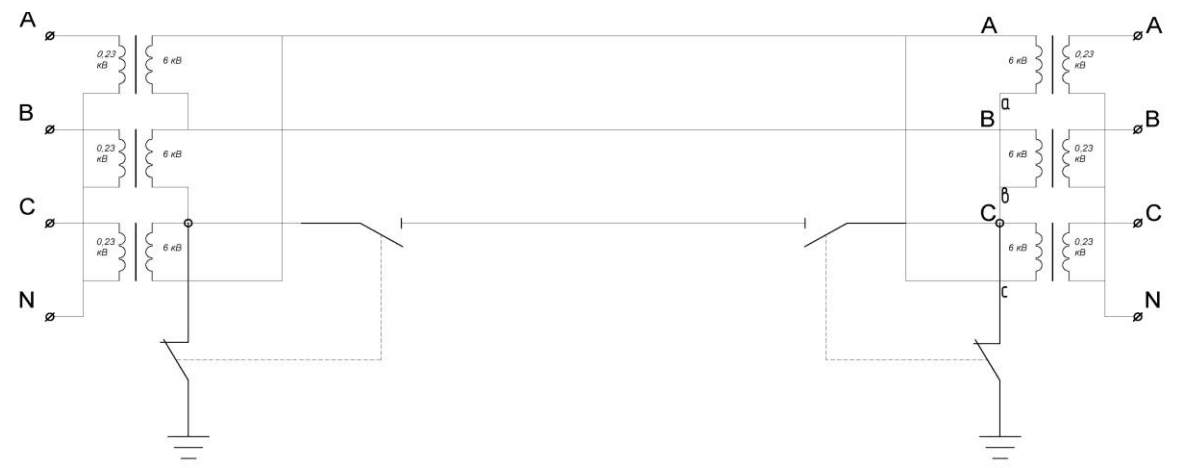


Схема замещения электрической сети при обрыве одного фазного проводника без замыкания на землю

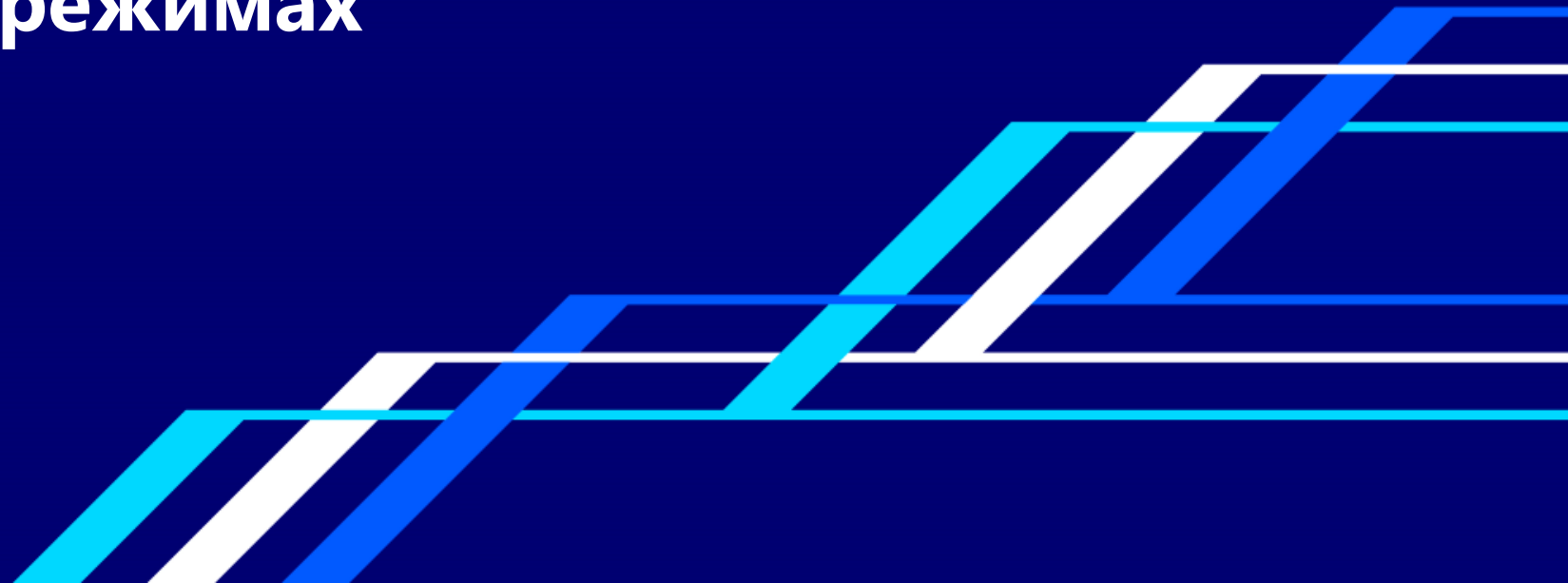


Нормальный режим работы



Поддержание работоспособности электрической сети

3. Поддержание работоспособности электрических сетей 0,4 кВ в послеаварийных режимах

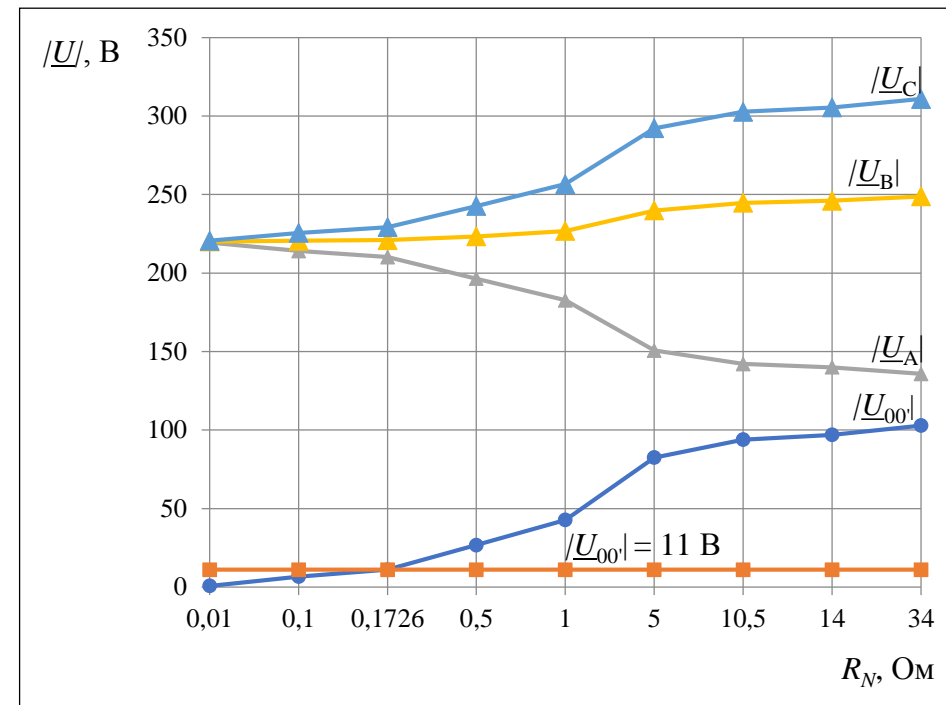


Поддержание работоспособности электрических сетей 0,4 кВ в послеаварийных режимах

Результаты расчета фазных напряжений и напряжения смещения нейтрали в зависимости от суммарного сопротивления PEN-проводника

$R_N, \text{ Ом}$	$\underline{Y}_N, \text{ См}$	$ \underline{U}_{00'} , \text{ В}$	$ \underline{U}_A , \text{ В}$	$ \underline{U}_B , \text{ В}$	$ \underline{U}_C , \text{ В}$
0,01	100	0,7	219,4	220,0	220,6
0,1	10	6,7	214,1	220,5	225,6
0,17	5,8	11,0	210,2	221,0	229,2
0,5	2	26,7	196,4	223,3	242,7
1	1	42,7	182,7	226,8	256,7
5	0,2	82,5	150,6	239,8	292,2
10,5	0,095	93,9	142,1	244,7	302,6
14	0,07	96,9	139,9	246,0	305,4
34	0,03	102,8	135,7	248,7	310,8

Зависимость фазных напряжений и напряжения смещения нейтрали от суммарного сопротивления PEN-проводника



Рекомендуемые показатели качества электроэнергии (в рассматриваемой задаче они обеспечиваются при $|\underline{U}_{00'}| \leq 11 \text{ В}$) будут достигаться при эквивалентном сопротивлении PEN-проводника $R_{PEN} \leq 0,17 \text{ Ом}$

Поддержание работоспособности электрических сетей 0,4 кВ в послеаварийных режимах

В качестве повторного заземлителя допускается применение естественных заземлителей, что обеспечит указанные выше параметры заземления для временного поддержания работоспособности сетей 0,4 кВ при обрывах нулевого совмещенного проводника

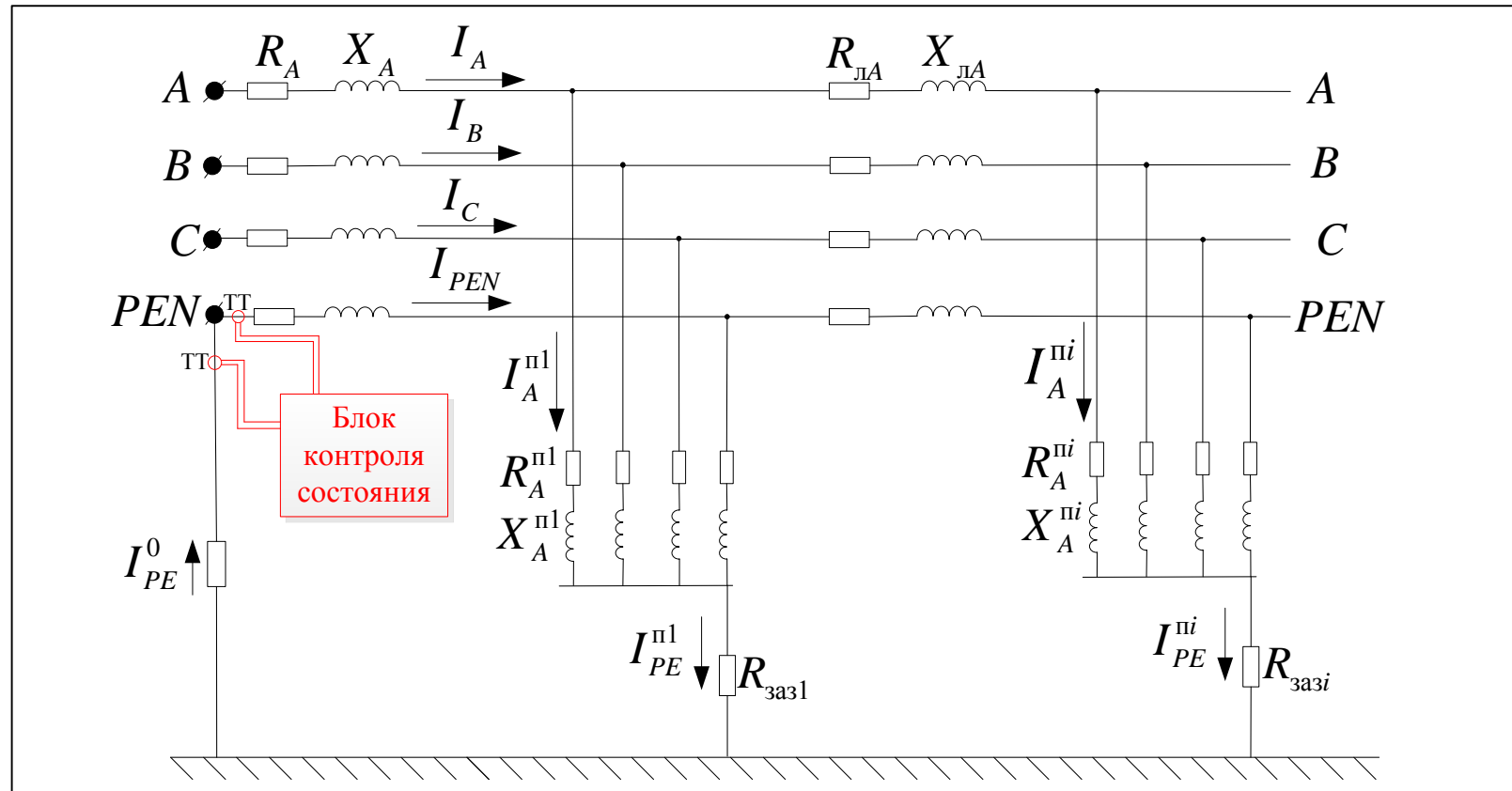


Схема замещения электрической сети 0,4 кВ с системой заземления TN-C

Поддержание работоспособности электрических сетей 0,4 кВ в послеаварийных режимах

Для временного послеаварийного поддержания работоспособности электрических сетей 0,4 кВ предлагается использование на стороне НН ТП 6-10/0,4 кВ однополюсных выключателей, обеспечивающих отключение поврежденных фаз по отдельности, при обеспечении защиты трехфазных двигателей и других трехфазных потребителей. На стороне потребителя для обеспечения неполнофазного ежима предлагается использование реле выбора фаз, контактора, источника бесперебойного питания, реле контроля напряжения отечественного производства.

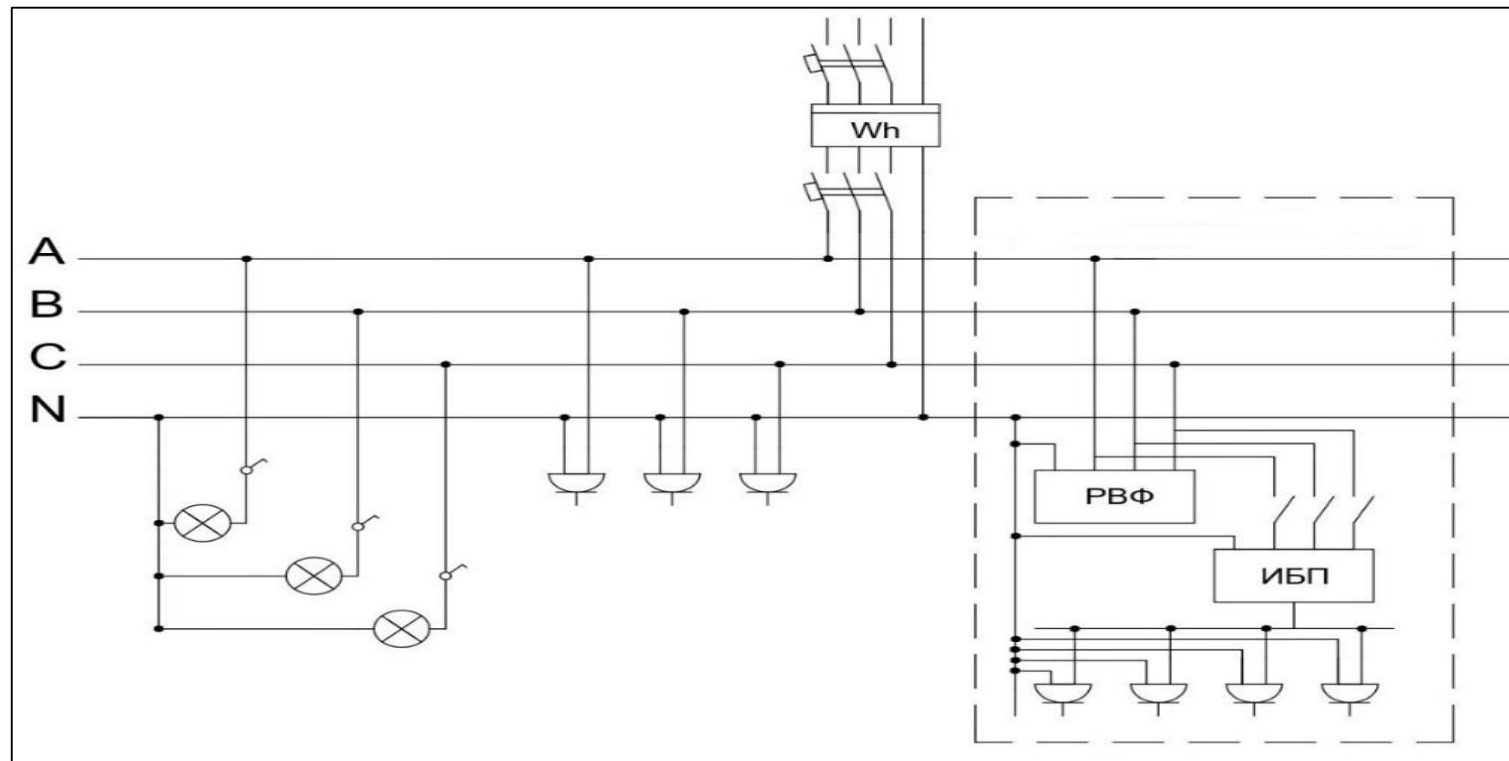


Схема варианта реализации неполнофазного режима в электрических сетях 0,4 кВ

Поддержание работоспособности электрических сетей в послеаварийных режимах

Для реализации предлагаемой Концепции поддержания работоспособности электрических сетей в послеаварийных режимах имеются теоретические и практические предпосылки.

Практическая реализация предлагаемой концепции может быть достигнута за счет:

1. Пофазного управления в электрических сетях 0,4-220 кВ с разработкой и совершенствованием коммутационных аппаратов.
2. Расширения практики использования земли (грунта) в качестве рабочего фазного или нулевого проводника.
3. Управления режимами нейтрали.
4. Разработки комплекса мероприятий по обеспечению техники безопасности при реализации предлагаемых решений в том числе за счёт ограничения передаваемой мощности, увеличения безопасного радиуса вокруг заземляющих устройств.
5. Совершенствованием РЗА для обеспечения неполнофазных режимов и работе в условиях изменения параметров сети и режимов нейтрали.

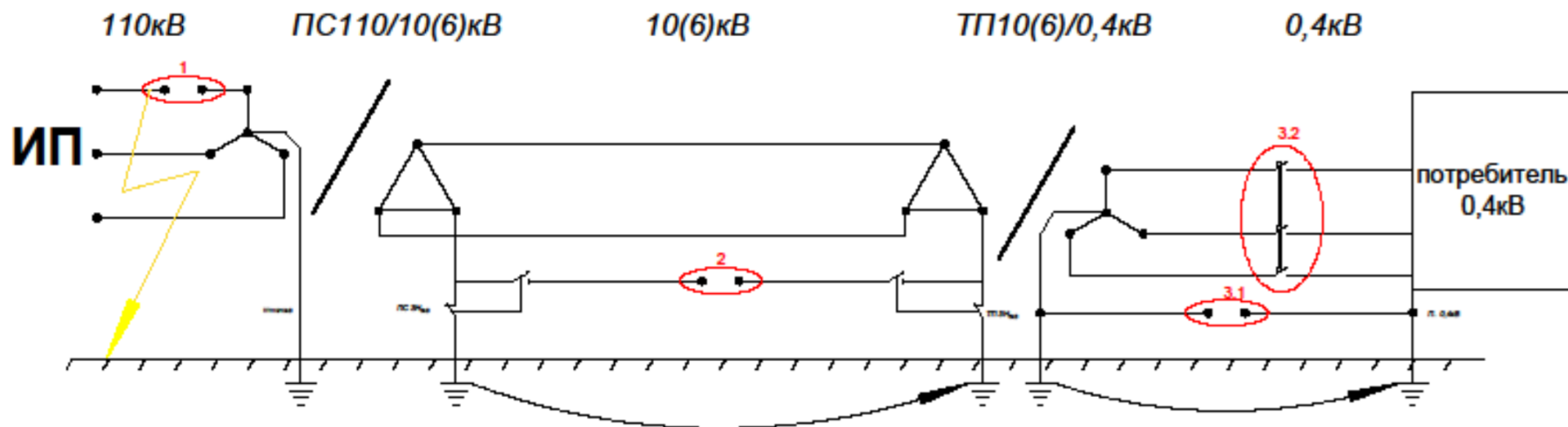


Схема построения электрической сети для временного послеаварийного поддержания работоспособности при обрыве фазного проводника

Спасибо за внимание!

