

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ СОВЕТ
Единой энергетической системы

КОНЦЕПЦИЯ ПОДДЕРЖАНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ В ПОСЛЕАВАРИЙНЫХ РЕЖИМАХ

Докторант ВУНЦ СВ «ОВА ВС РФ»

кандидат технических наук, доцент Кочнев Сергей Сергеевич

Содокладчик

Начальник службы РЗА АО «ОЭК», аспирант кафедры ЭЭС ИЭЭ НИУ «МЭИ»

Пожидаев Семен Владимирович

Научный консультант

профессор кафедры ЭЭС НИУ «МЭИ» доктор технических наук, доцент

Удинцев Дмитрий Николаевич



ОБЪЕДИНЕННАЯ
ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ
КОМПАНИЯ



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.

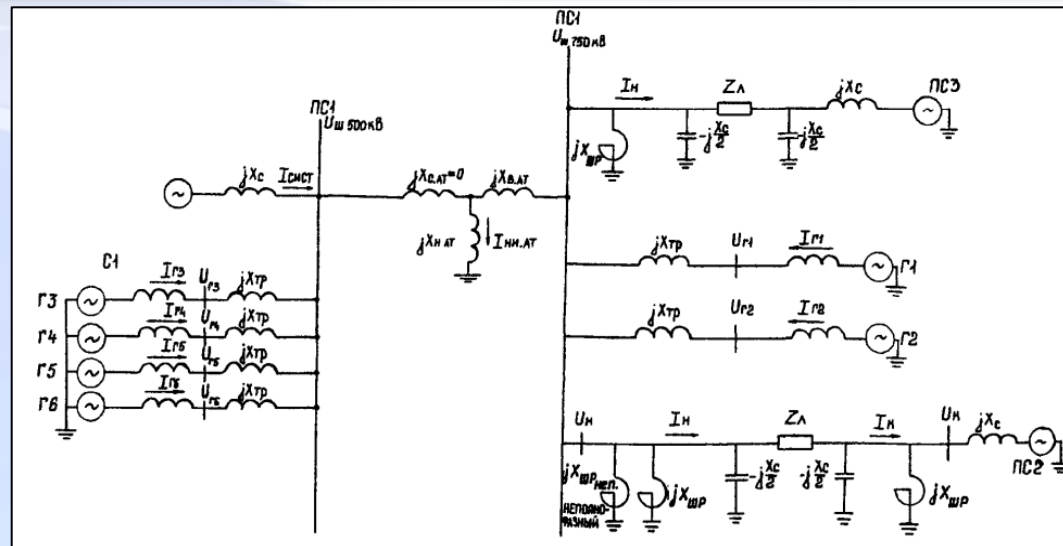


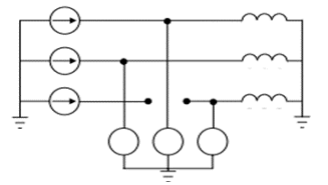
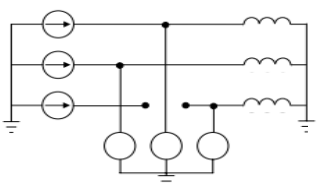
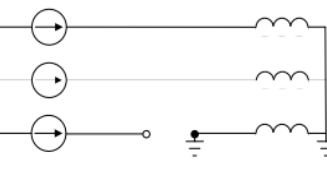
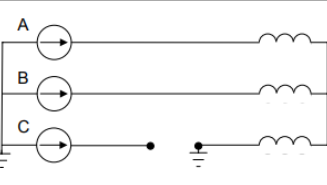
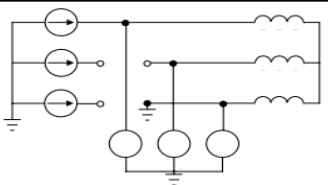
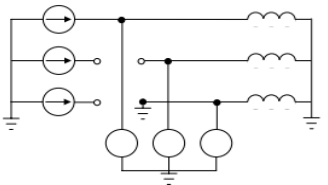
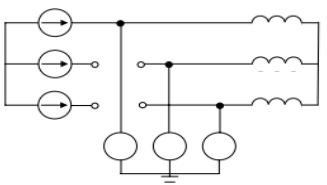
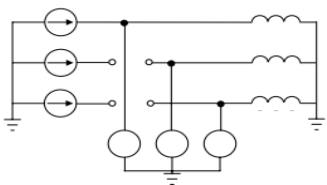
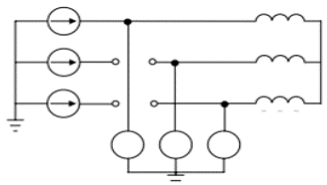
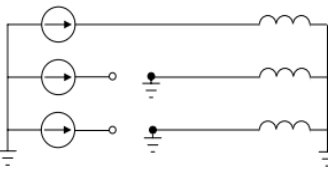
Схема замещения ВЛ 750 кВ «ПС1-ПС2» для исследования неполнофазного режима работы ШР 750 кВ на ПС1

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

4

 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 заземлена	 Обрыв одной фазы с замыканием на землю, нейтраль трансформатора изолирована	 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

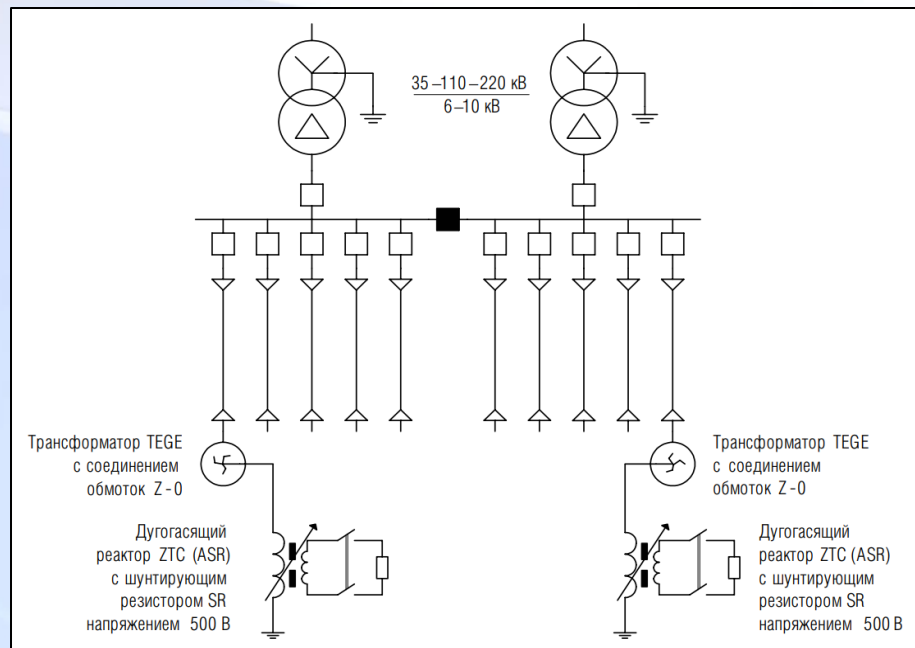
Выводы

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

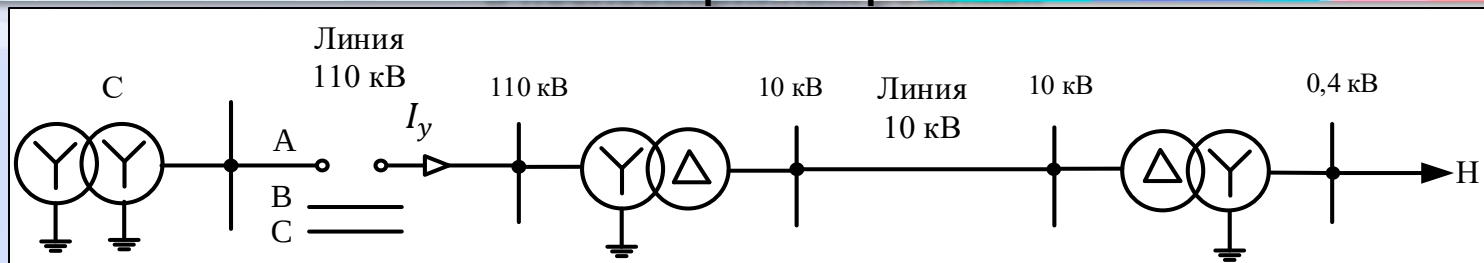
• М.Ш. Мисриханов, д-р техн.наук, Т.Е. Путова, инж., В.П.Гречин, канд.техн.наук, П.Г. Малюшицкий, инж. «Вестник ИГЭУ» Вып. 1. 2005 г. Особенности работы тупиковых подстанций 220-110 кВ при неполнофазных режимах по признаку заземления нейтрали трансформаторов

Режим заземления нейтрали в сети 6-10 кВ, обеспечивающий работу при однофазном замыкании на землю - через дугогасящий реактор

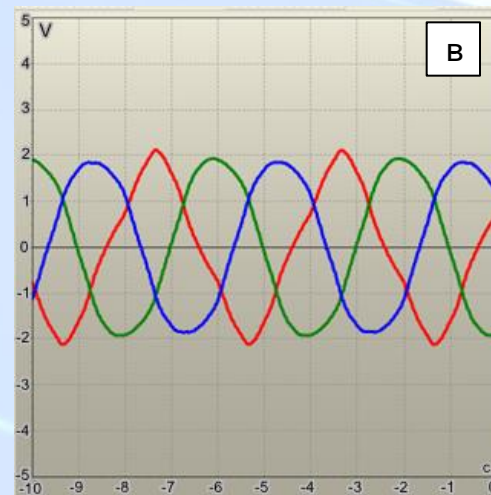
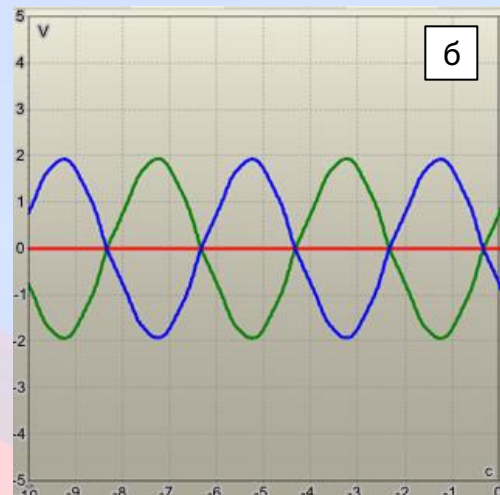
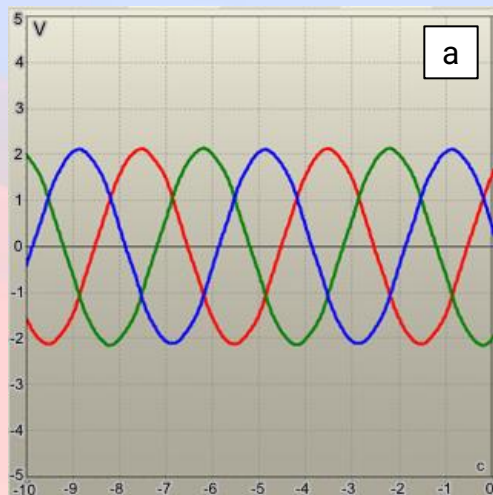
В этом режиме на секцию шин 6–10 кВ через специально выделенную ячейку подключается трансформатор вывода нейтрали (с соединением обмоток Y-0/D или Z-0) и дугогасящий реактор. При однофазном замыкании на землю в сети дугогасящий реактор создает в месте повреждения индуктивную составляющую тока, равную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



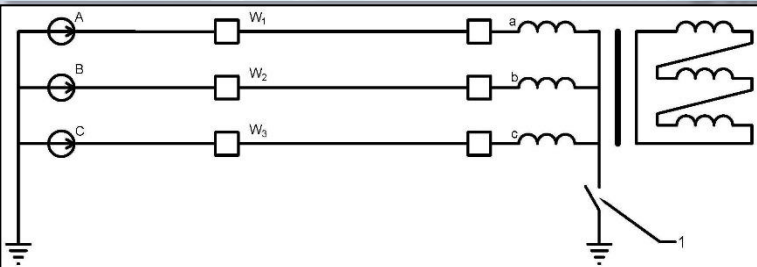
Понижающая подстанция с нейтралью на стороне 6-10 кВ заземленной через дугогасящий реактор



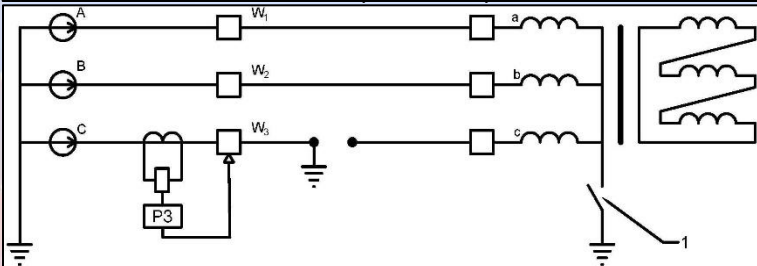
Принципиальная электрическая схема электрической сети
110-220 кВ с глухозаземленной нейтралью при обрыве фазного проводника



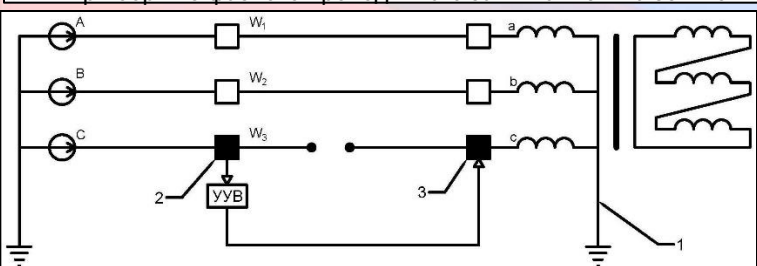
Осциллограмма фазных напряжений на стороне 0,4 кВ при обрыве фазного проводника на стороне 110кВ:
а – нормальный режим; б – обрыв фазного проводника при разземленной нейтрали на стороне 110кВ; в – Обрыв фазного проводника с глухозаземленной нейтралью на стороне 110 кВ



Структурно-функциональная схема электрической сети
110-220 кВ в нормальном режиме



Структурно-функциональная схема электрической сети 110-220
кВ при обрыве фазного проводника с замыканием на землю



Структурно-функциональная схема поддержания
работоспособности электрической сети 110-220 кВ

Особенности протекания неполнофазных режимов

Протекание неполнофазных режимов в электрических сетях 110-220 кВ сопровождается существенным увеличением силы тока, проходящей через нейтраль трансформатора.

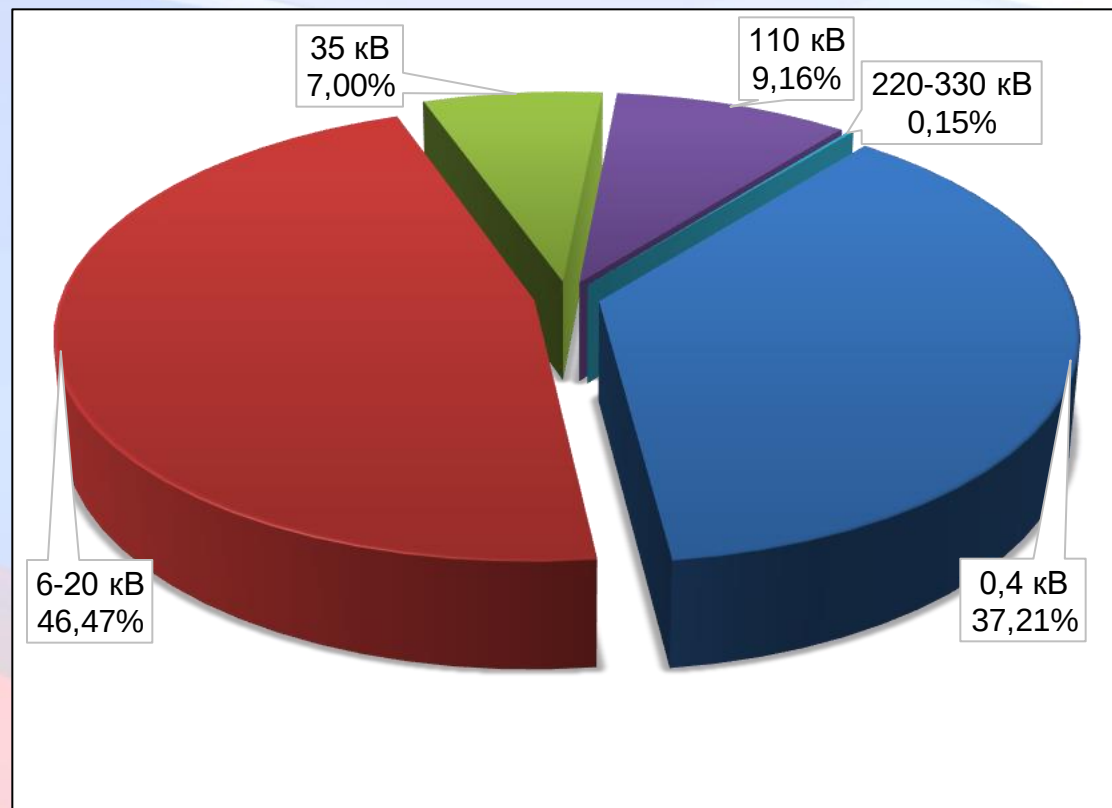
Необходимым условием сохранения стабильности системы является сеть с глухозаземленной нейтралью, при которой сохраняется симметрия напряжений на стороне потребителя

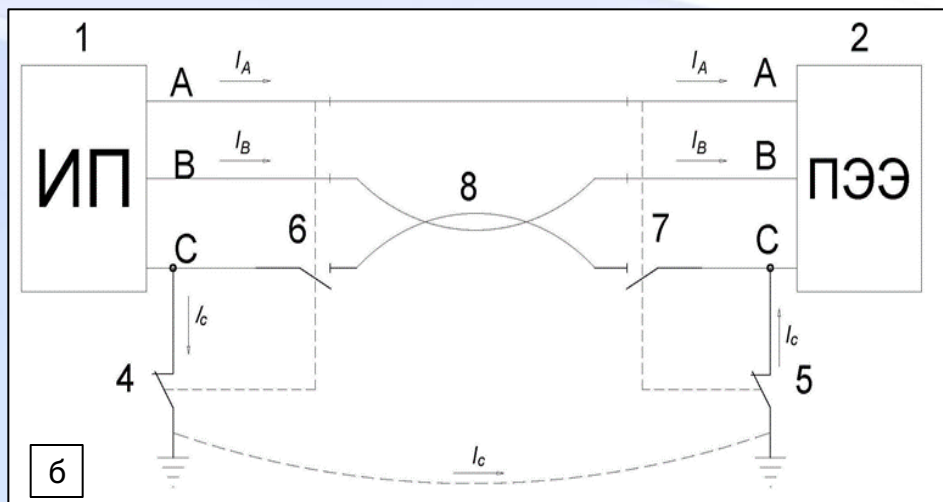
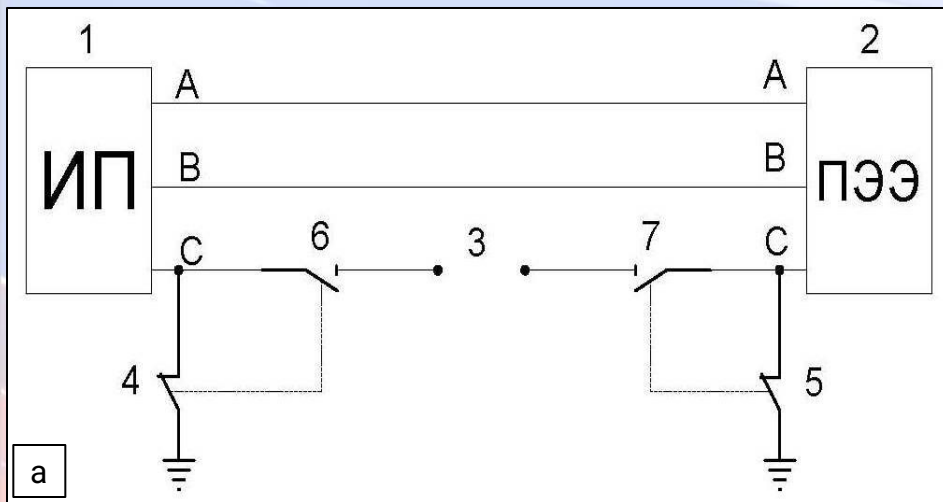
Поддержания работоспособности электрических сетей 110-220 кВ при отсутствии возможности осуществления полноценного резервирования предлагается за счет:

1. Внедрения пофазного управления для перевода линии в неполнофазный режим работы.
2. Обеспечения глухого заземления нейтрали на стороне 110 кВ, а при разземленной нейтрали на стороне 10 кВ, временный перевод в режим глухозаземленной.

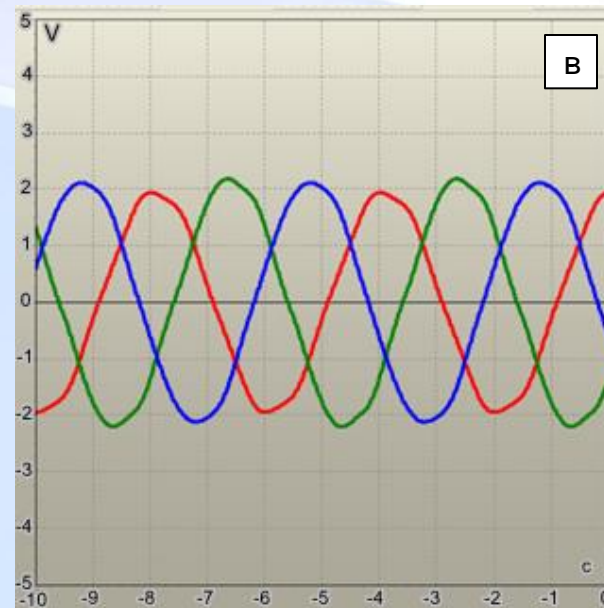
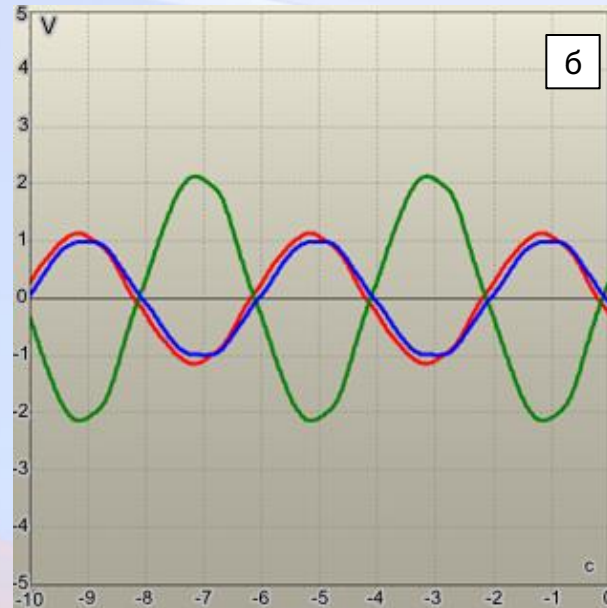
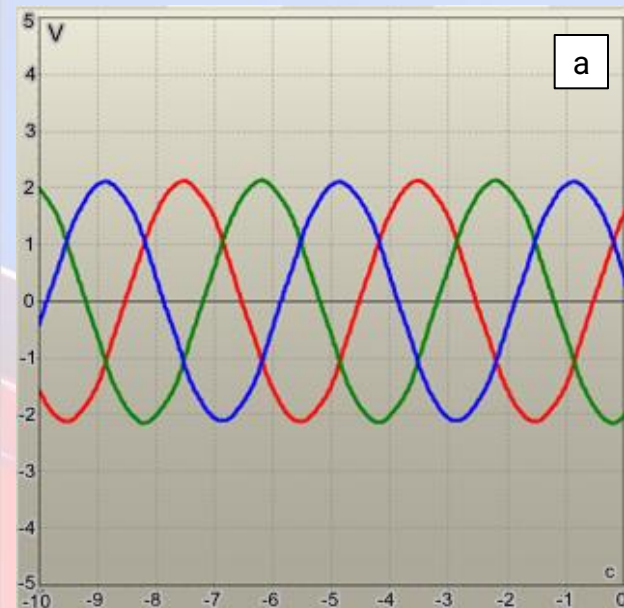


Протяженность линий электропередачи
в Российской Федерации по классам напряжения, %





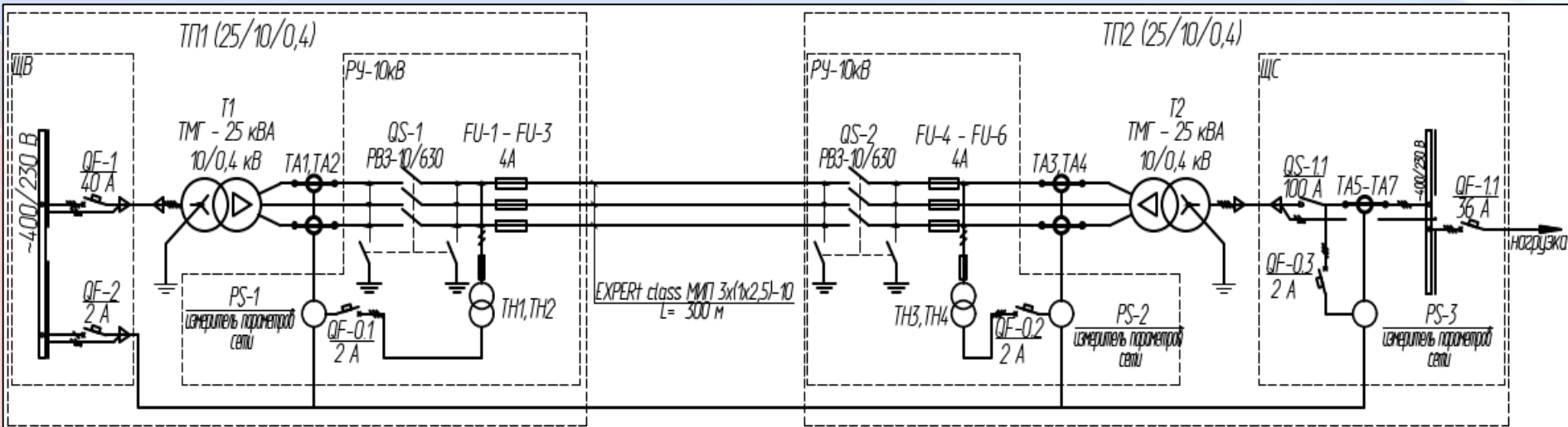
Структурно-функциональная схема принудительного, двухстороннего заземления в электрических сетях 6-10 кВ с изолированной нейтралью: а - при обрыве фазного проводника; б - при схлестывании двух фазных проводников: 1 – источник питания; 2 – потребитель электрической энергии; 3 – аварийный фазный проводник; 4 – однофазные заземляющие ножи со стороны источника питания; 5 – однофазные заземляющие ножи со стороны потребителя электрической энергии; 6 – однофазный разъединитель со стороны источника питания; 7 – однофазный разъединитель со стороны потребителя электрической энергии; 8 – участок схлестывания проводников



Осциллограммы фазных напряжений на стороне 0,4 кВ:
а - нормальный режим; б - обрыв фазного проводника на стороне 6-10 кВ; в - двухстороннее заземление оборванного фазного проводника на стороне 6-10 кВ

Целью экспериментального исследования являлась проверка возможности обеспечения нормального режима работы потребителей электрической энергии при обрыве фазного проводника и однофазном коротком замыкании на землю в электрической сети 10 кВ.

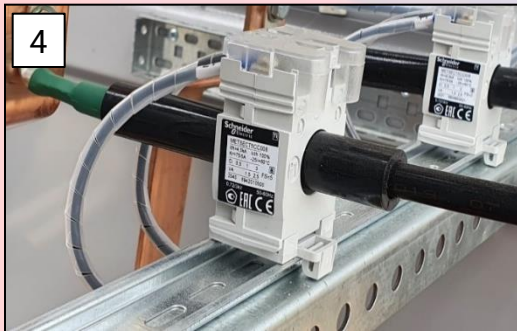
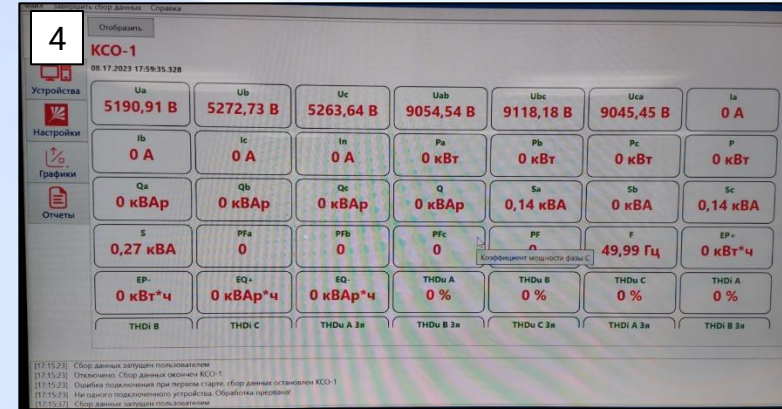
Задачей экспериментального исследования являлось получение статистических данных показателей качества электрической энергии на потребителе с применением неполнофазного режима работы при обрыве фазного проводника и однофазном коротком замыкании на землю в электрической сети 10 кВ за счет двухстороннего заземления поврежденного фазного проводника и перевода однофазного короткого замыкания в контролируемую зону.

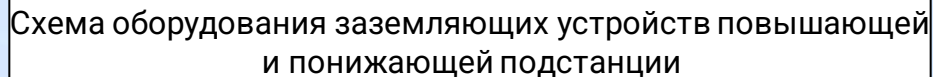
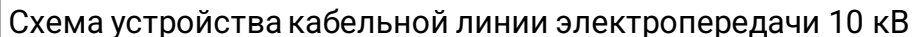


Принципиальная электрическая схема экспериментальной установки при подключении к воздушной линии электропередачи 0,4 кВ

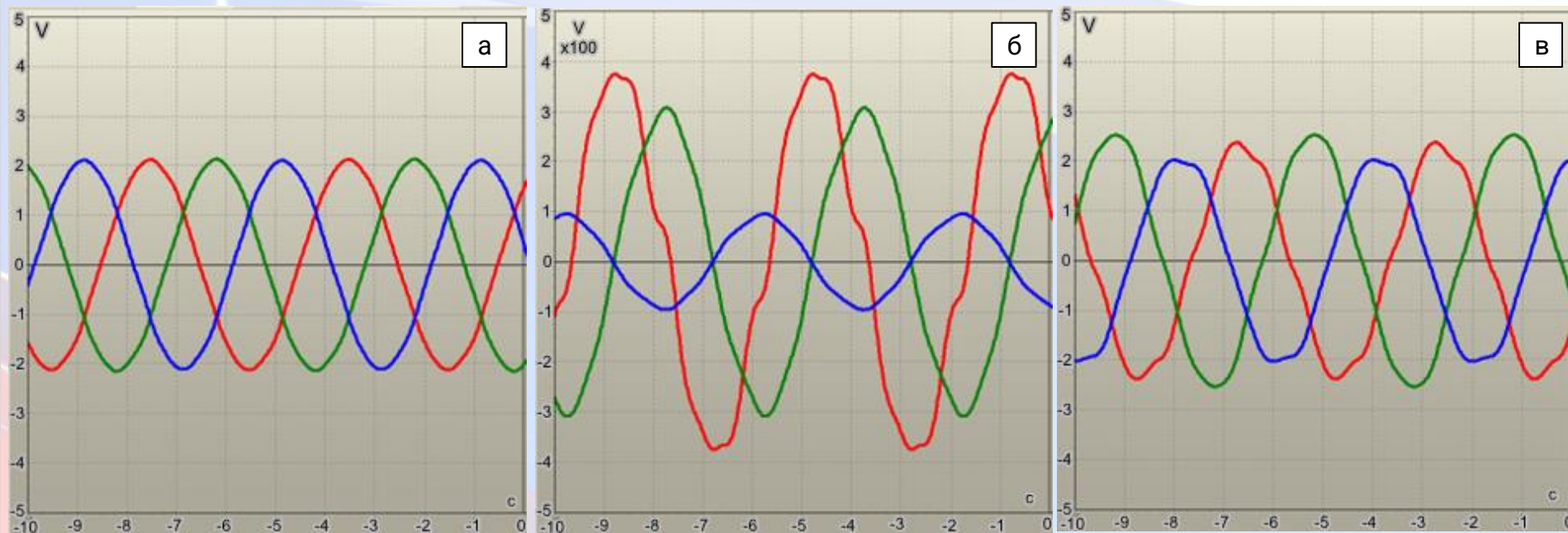
Состав полевой экспериментальной установки:

1. Повышающая подстанция на стороне источника питания.
2. Кабельная сеть.
3. Понижающая подстанция со стороны потребителя.
4. Измерительные приборы.





В результате проведенного экспериментального исследования получены статистические данные показателей качества электрической энергии на потребителе с применением неполнофазного режима работы при обрыве фазного проводника и однофазном коротком замыкании на землю в электрической сети 10 кВ за счет двухстороннего заземления поврежденного фазного проводника и перевода однофазного короткого замыкания в контролируемую зону, **соответствующие** требованиям ГОСТ 32144-2013 «Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения».

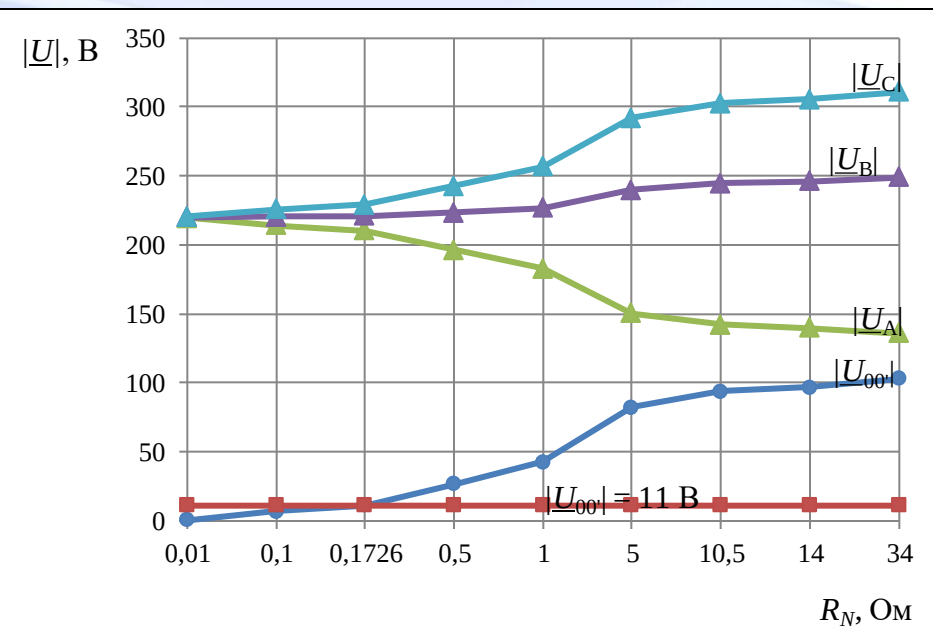


Осциллограмма фазных напряжений на стороне 0,4 кВ при обрыве нулевого проводника :
а - нормальный режим; б - обрыв нулевого проводника; в – снижение сопротивления заземляющего устройства за счет повторного заземления

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 $R_{PEN} \leq 0,17 \text{ Ом}$

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

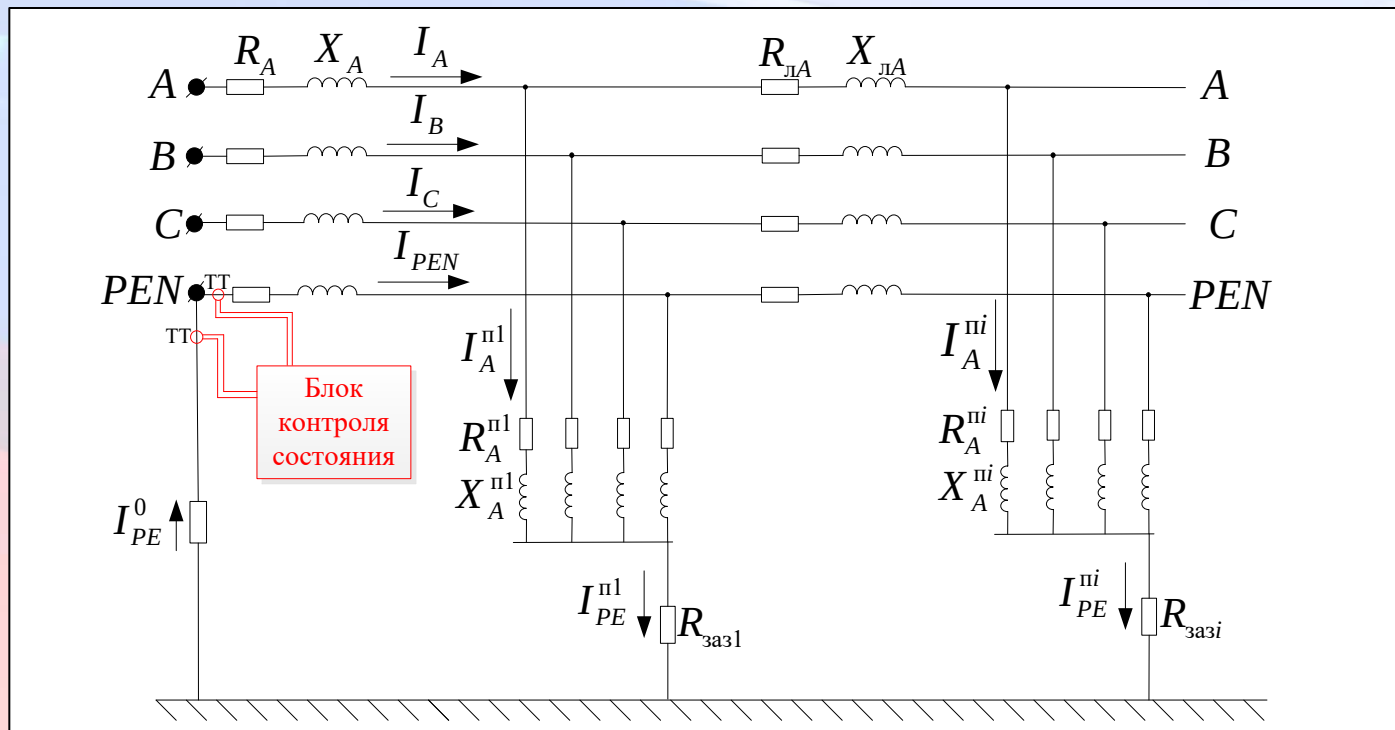


Схема замещения электрической сети 0,4 кВ с системой заземления TN-C

Поддержание работоспособности электрических сетей 0,4 кВ в послеаварийных режимах

17

Для временного поддержания работоспособности электрических сетей 0,4 кВ при обрыве фазного проводника 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 режима предлагается использование реле выбора фаз, контактора, источника бесперебойного питания, реле контроля напряжения отечественного производства.

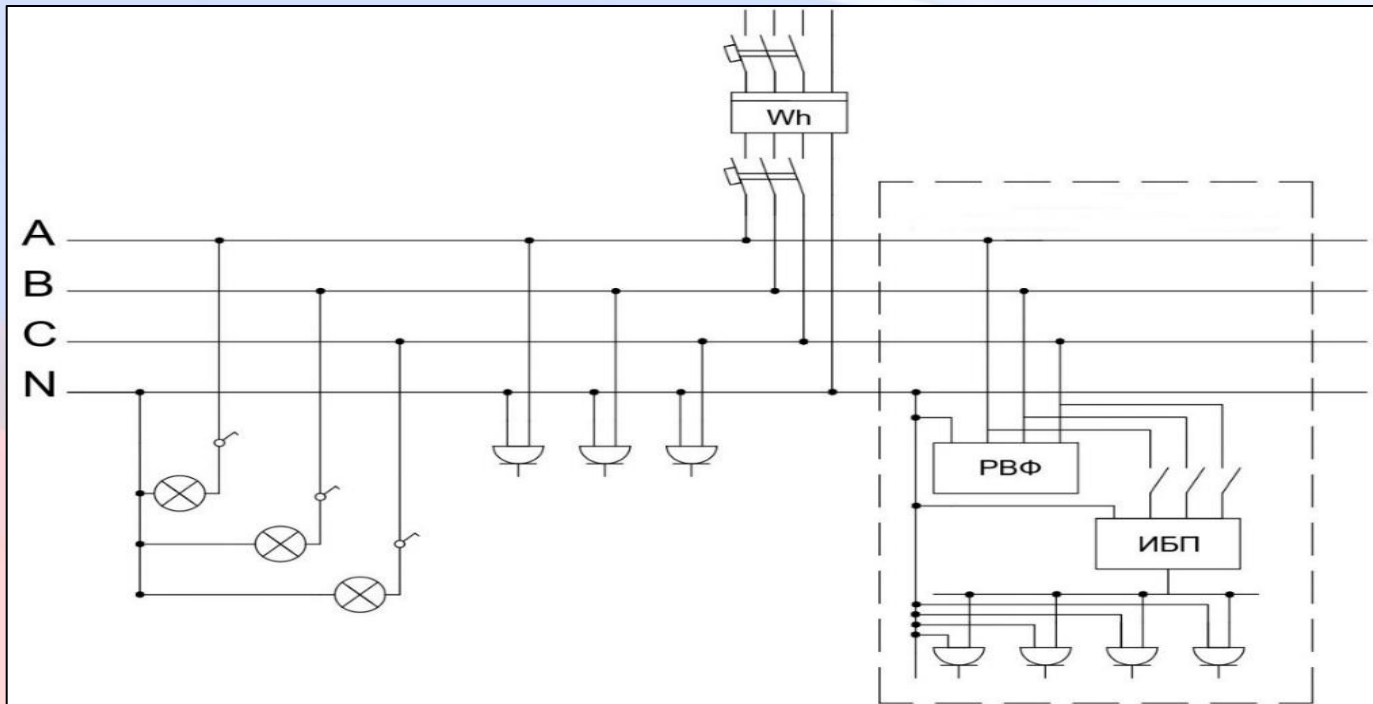


Схема замещения варианта реализации неполнофазного режима в электрических сетях 0,4 кВ

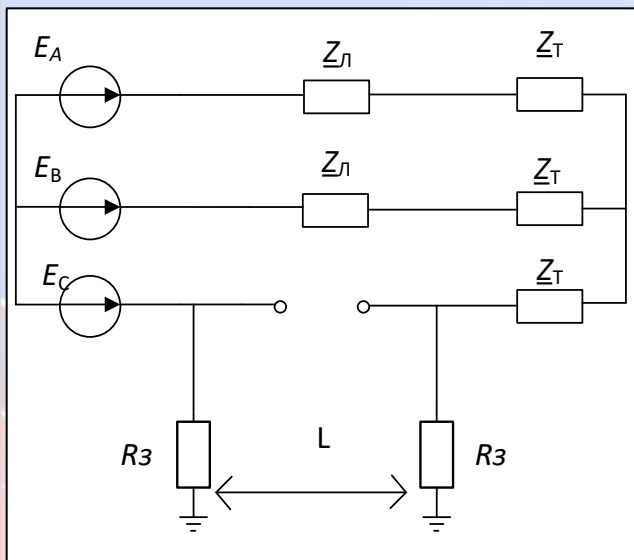


Схема замещения электрической сети при замыкании поврежденной фазы на землю

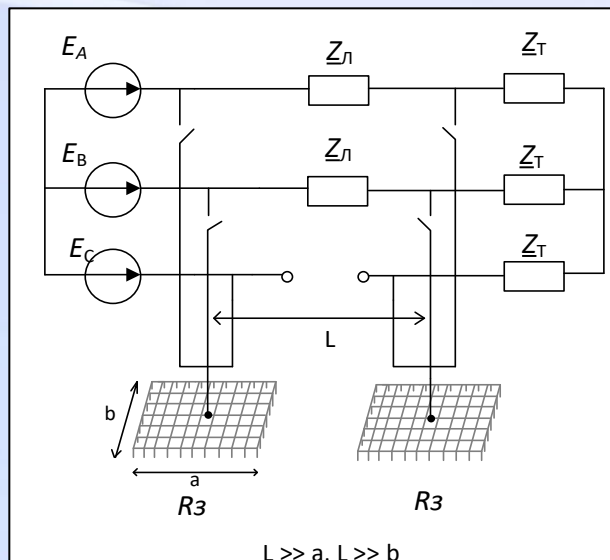


Схема замещения электрической сети с заземляющими устройствами решетчатой конструкции

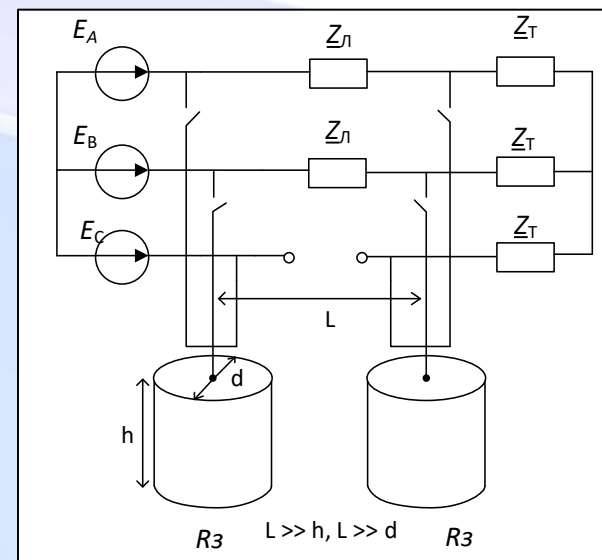


Схема замещения электрической сети с заземляющими устройствами в виде вертикальных цилиндрических электродов

Элемент $R_{3\Sigma}$ характеризует сопротивление между заземляющими устройствами, обеспечивающими применение режима двухстороннего однофазного замыкания на землю.

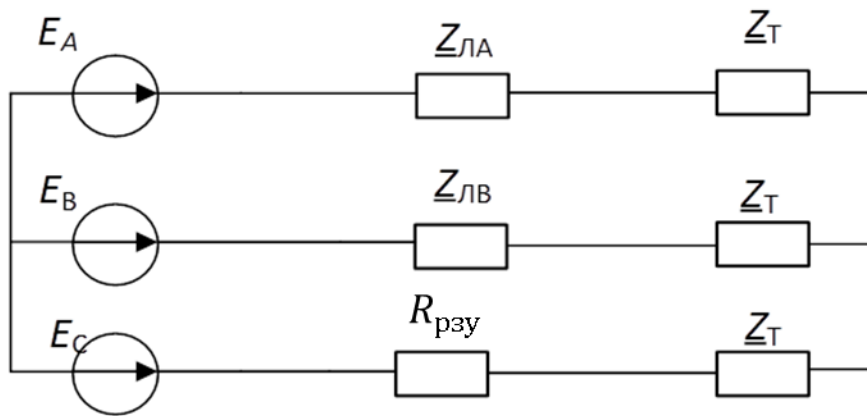


Схема замещения электрической сети при замыкании поврежденной фазы С на землю с учетом суммарного сопротивления распределенных заземляющих устройств

Сопротивление заземляющего устройства решетчатой конструкции, аппроксимированного до расчета заземляющего устройства в виде вертикального цилиндрического электрода R_3 , Ом, рассчитывается по зависимости:

$$R_3 = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \left(\frac{1,73l}{r} \right),$$

где ρ - удельное сопротивление грунта, Ом·м;

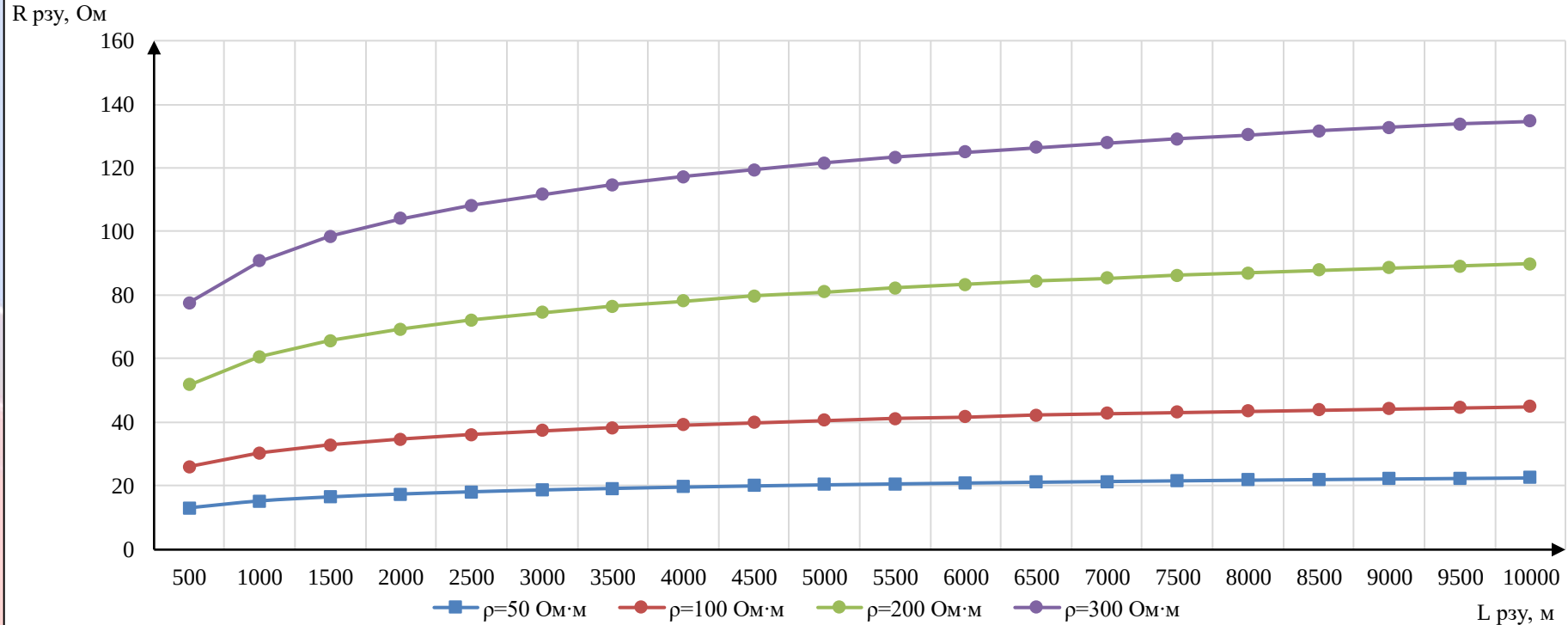
l - длина электрода, м;

r - радиус электрода, м.

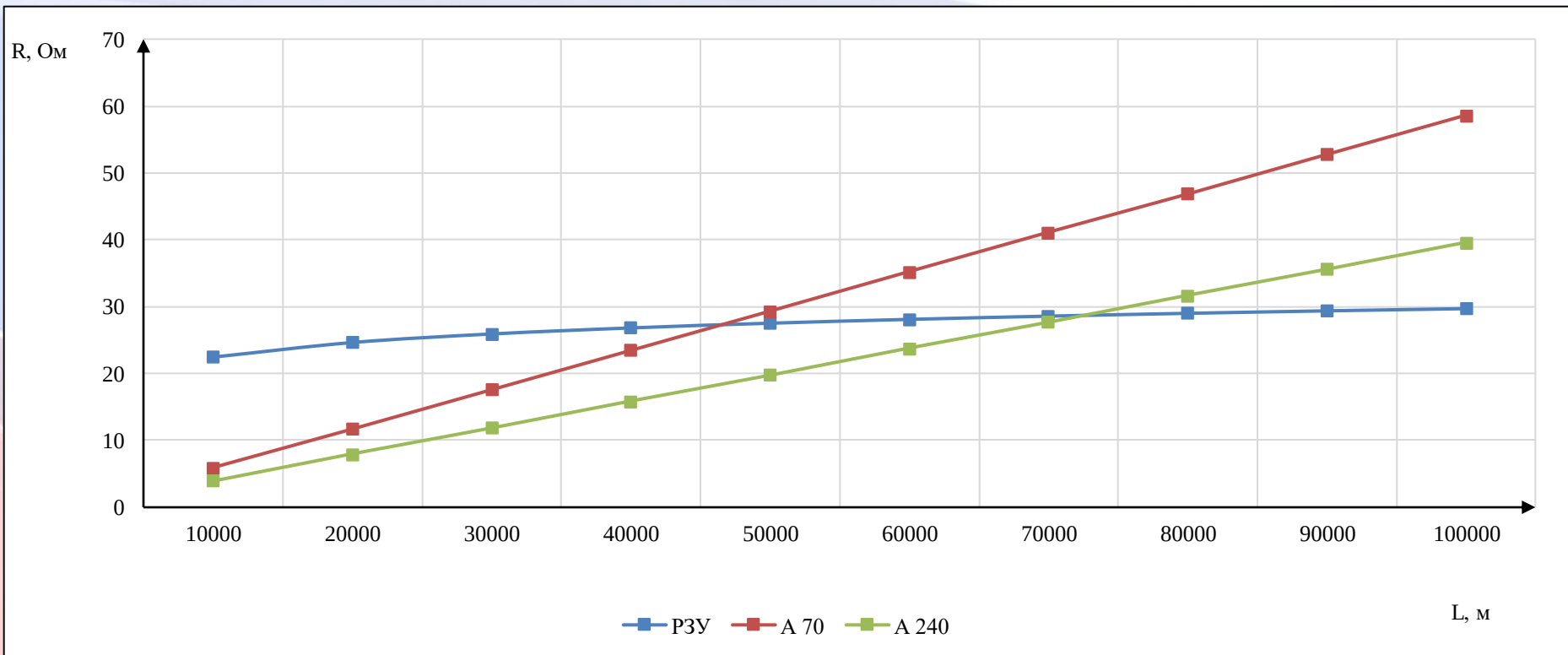
Зависимость для определения сопротивления распределенных заземляющих устройств $R_{рзу}$, Ом, обеспечивающими применение режима двухстороннего однофазного замыкания на землю:

$$R_{рзу} = \frac{\rho}{\pi \cdot l} \cdot \left(\ln \frac{L_{рзу}}{1,73l} + R_3 \cdot \frac{2\pi l}{\rho} \right),$$

где $L_{рзу}$ - расстояние между распределенными заземляющими устройствами, м.



Зависимость сопротивления распределенных заземляющих устройств от расстояния между ними



Зависимость сопротивления распределенных заземляющих устройств и неповрежденной фазы от расстояния и длины

Оценка параметров безопасности предлагаемых решений по поддержанию работоспособности электрических сетей в послеаварийных режимах

22

При значениях силы тока, протекающего через заземляющее устройство до **50 А** опасный потенциал будет находиться в зоне радиусом **8 метров**, при значениях более **50 А** необходимо проводить мероприятия по его ограничению, либо расширению охранной зоны.

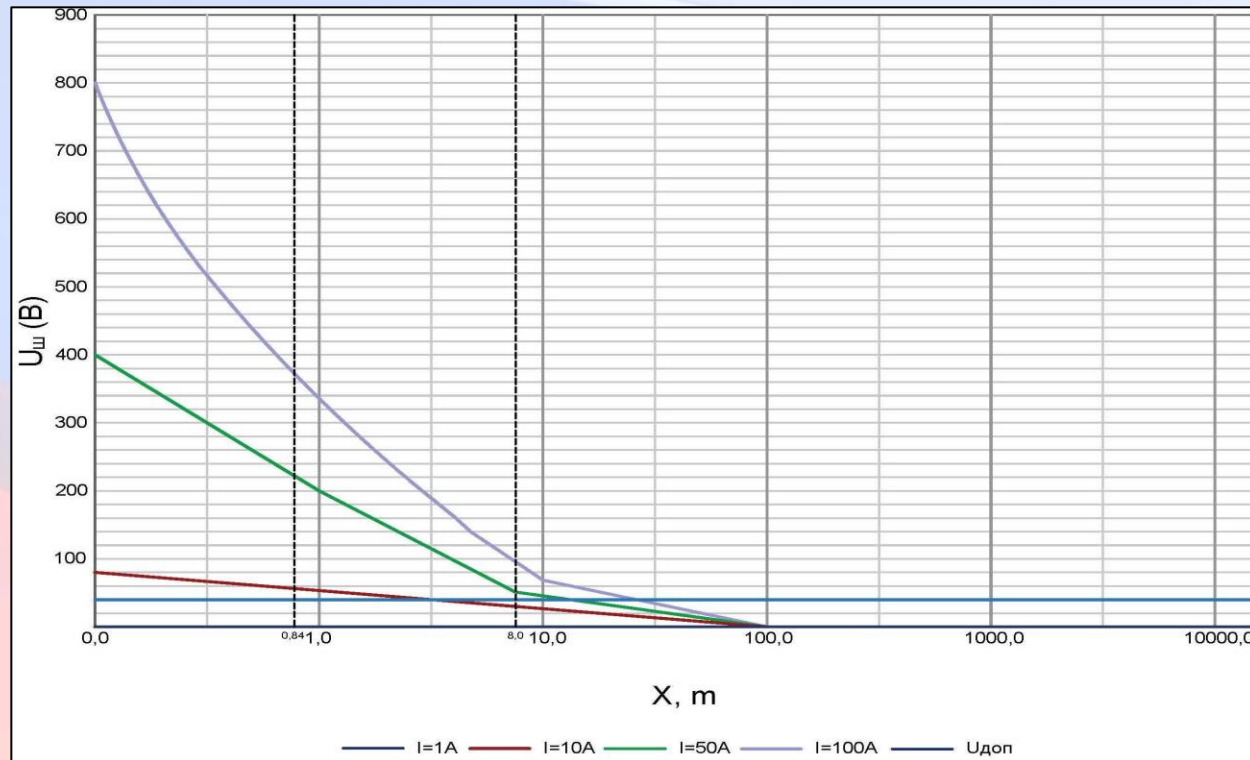


График зависимости шагового напряжения от расстояния до места замыкания при разных значениях тока нагрузки

Практическая реализация предлагаемых решений по поддержанию работоспособности электрических сетей в послеаварийных режимах 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 счет ограничения передаваемой мощности, увеличения безопасного радиуса вокруг заземляющих устройств.
5. Совершенствованием РЗА для обеспечения применения неполнофазных режимов работы и функционированию в условиях изменения параметров сети и режимов нейтрали.

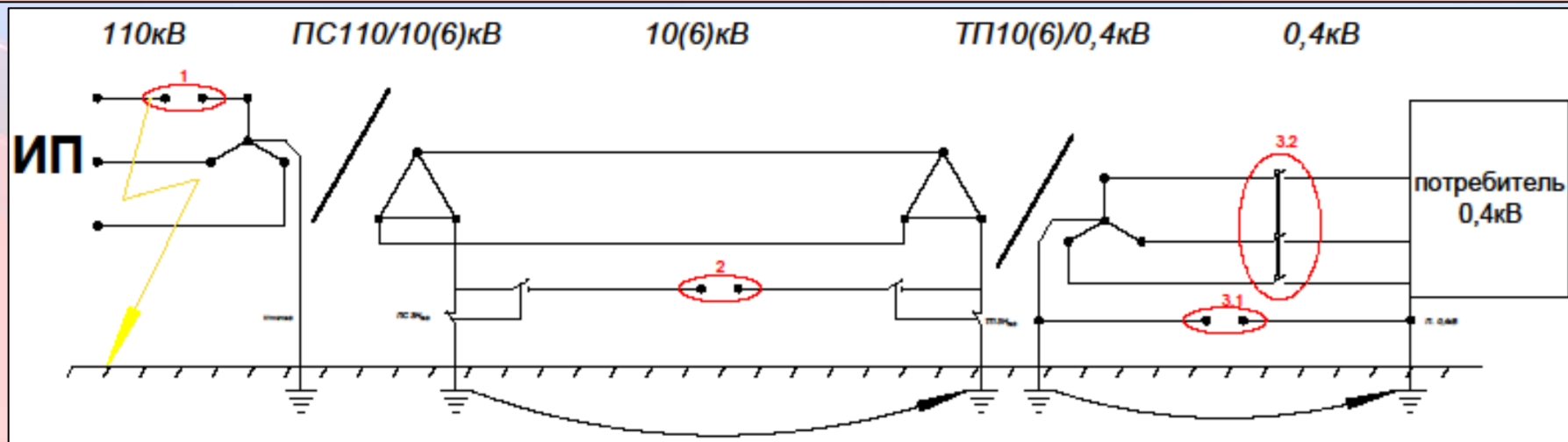
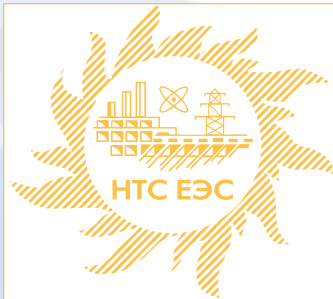


Схема построения электрической сети для поддержания работоспособности при обрыве фазного проводника



НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ СОВЕТ
Единой энергетической системы

КОНЦЕПЦИЯ ПОДДЕРЖАНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ В ПОСЛЕАВАРИЙНЫХ РЕЖИМАХ

Докторант ВУНЦ СВ «ОВА ВС РФ»

кандидат технических наук, доцент Кочнев Сергей Сергеевич

Содокладчик

Начальник службы РЗА АО «ОЭК», аспирант кафедры ЭЭС ИЭЭ НИУ «МЭИ»

Пожидаев Семен Владимирович

Научный консультант

профессор кафедры ЭЭС НИУ «МЭИ» доктор технических наук, доцент

Удинцев Дмитрий Николаевич



ОБЪЕДИНЕННАЯ
ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ
КОМПАНИЯ

