НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ СОВЕТ
Единой энергетической системы

ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ 6-10 кВ ПРИ ПОВРЕЖДЕНИИ ФАЗНЫХ ПРОВОДНИКОВ

Докладчик

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

Пожидаев Семен Владимирович

Содокладчик

Докторант ВУНЦ СВ «ОВА ВС РФ»

кандидат технических наук, доцент Кочнев Сергей Сергеевич

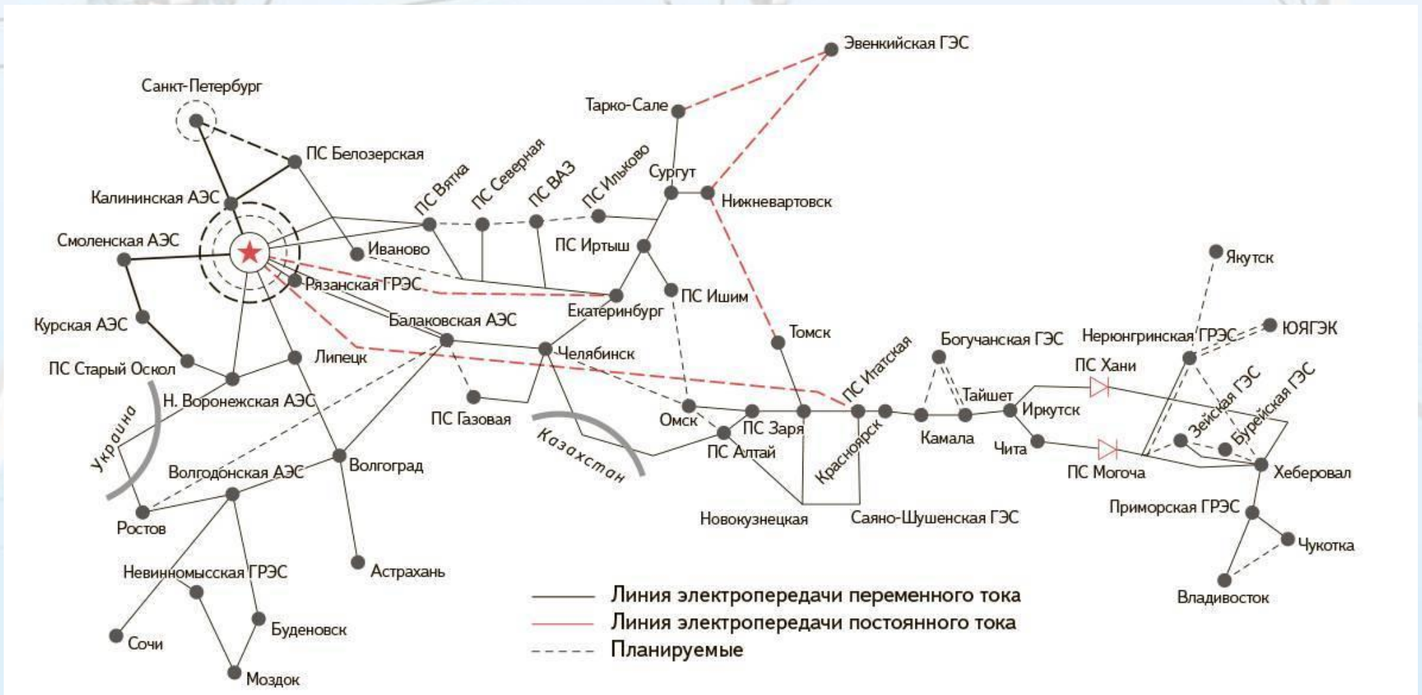
Научный консультант

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

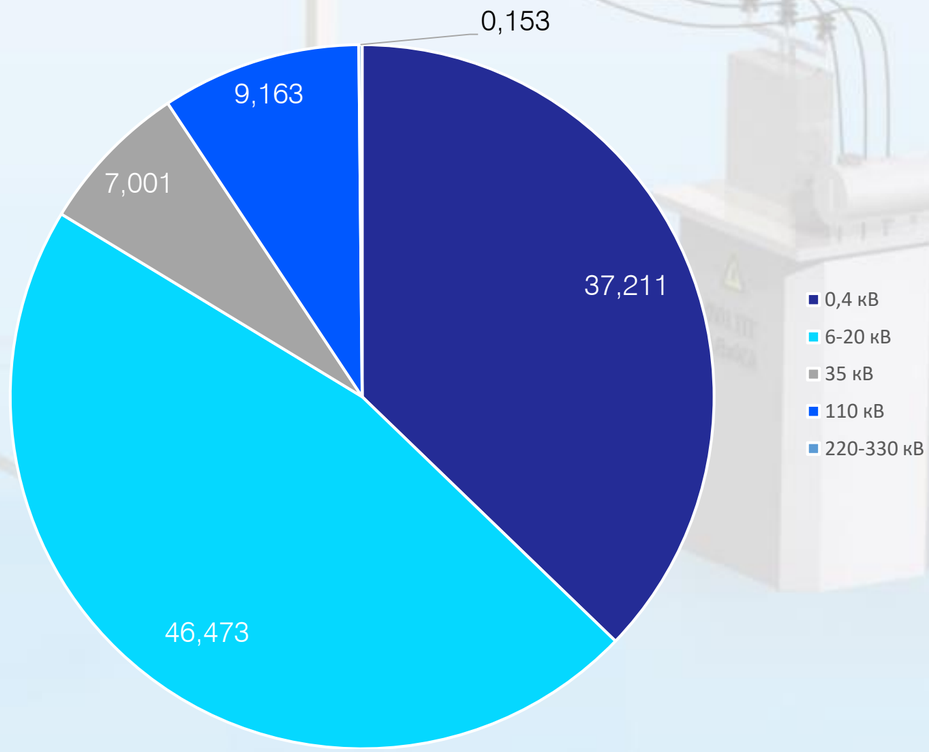
Удинцев Дмитрий Николаевич

КОНЦЕПЦИЯ ПОДДЕРЖАНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ В ПОСЛЕАВАРИЙНЫХ РЕЖИМАХ

Схема развития основной электрической сети Российской Федерации

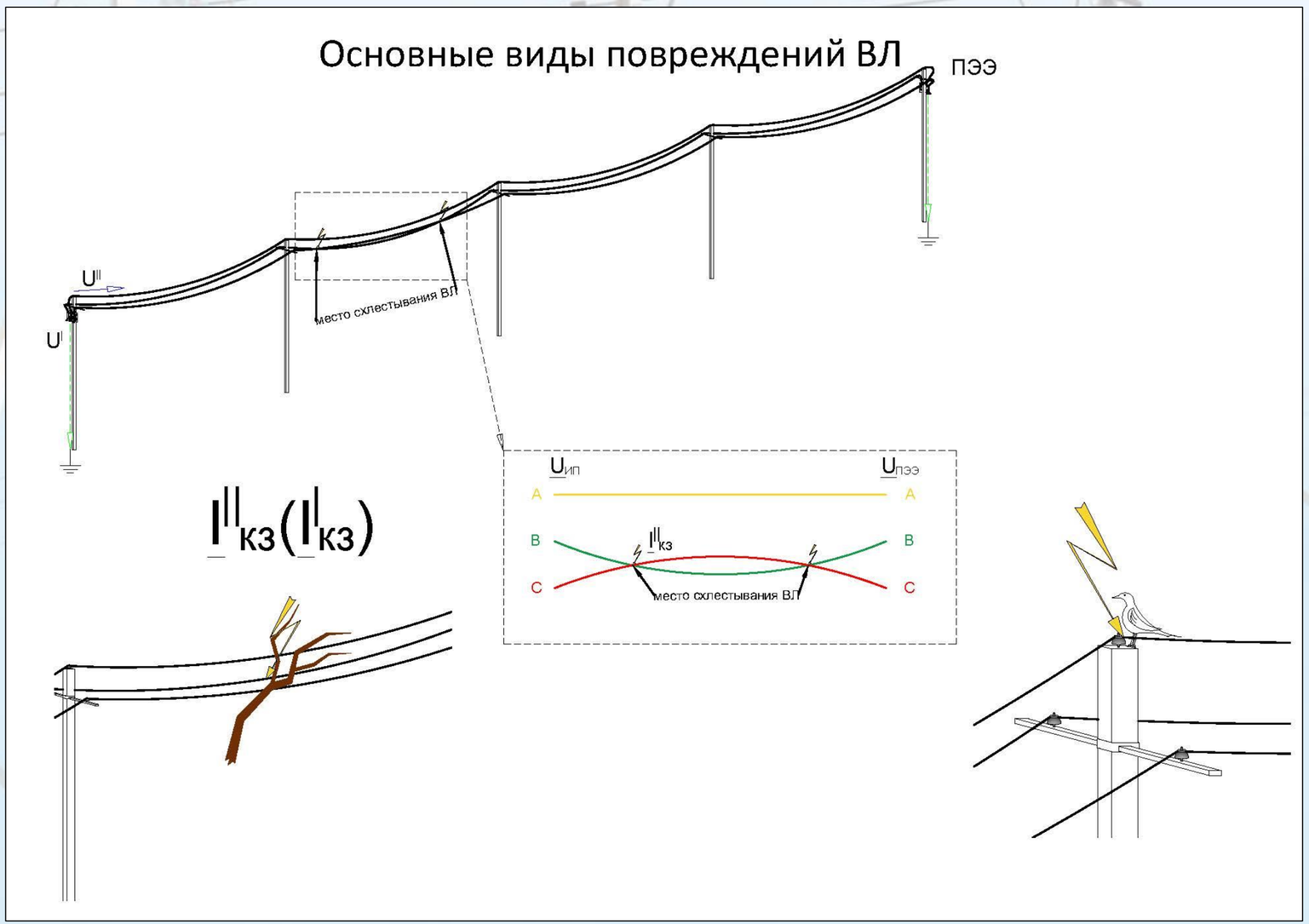


Протяженность линий электропередачи в Российской Федерации по классам напряжения, %

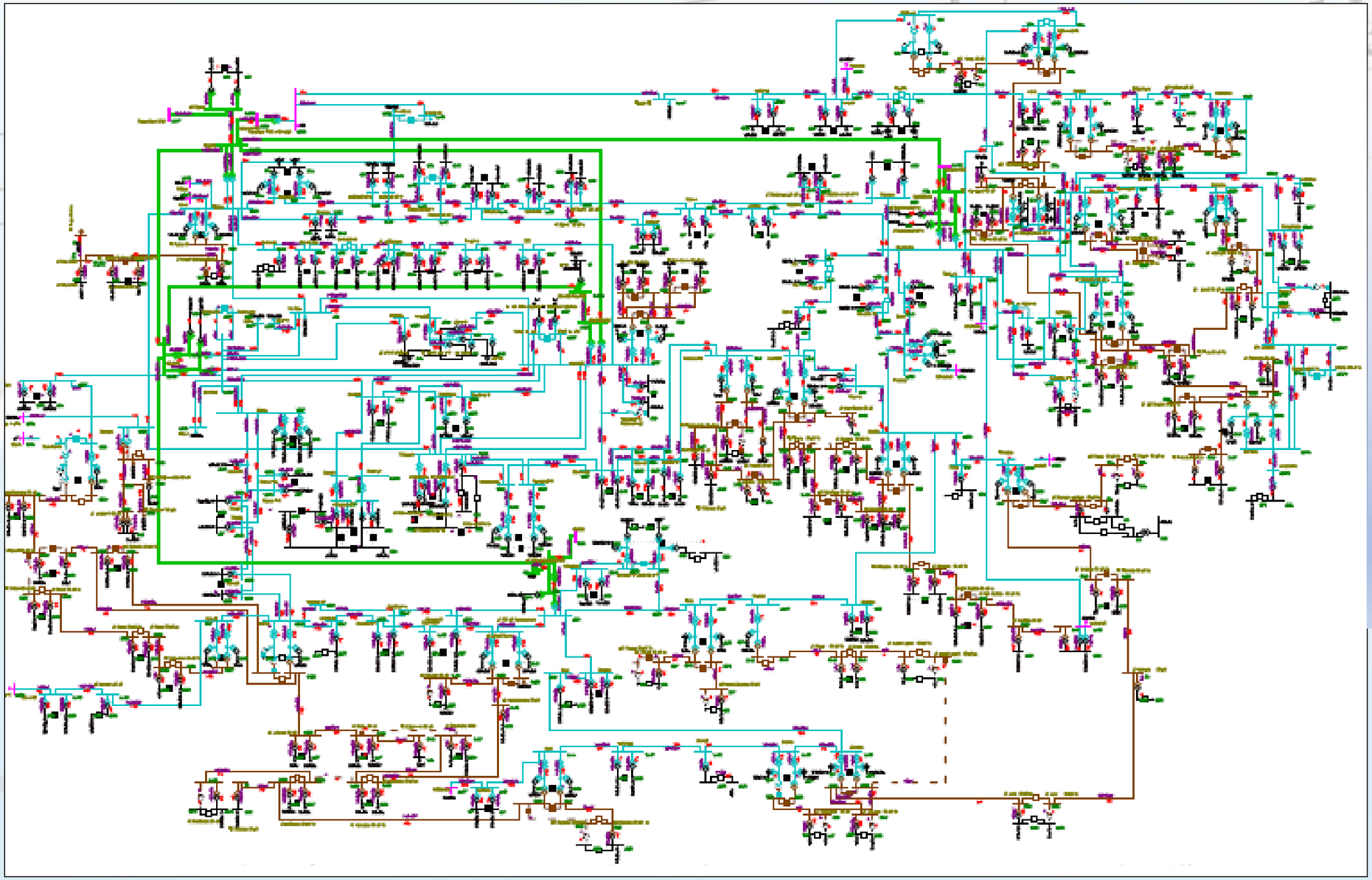


Наиболее протяжёнными являются электрические сети напряжением 6-10 кВ

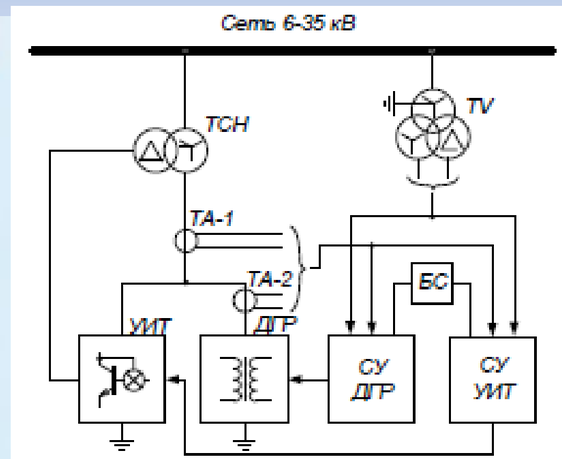
Сложная, обширная структура сети увеличивает долю нарушений работоспособности в сетях среднего напряжения, в особенности при чрезвычайных ситуациях, такая повреждаемость может значительно превосходить возможности персонала по ремонту



Структура сети среднего напряжения



В настоящее время большинство городских и областных распределительных сетей среднего напряжения в России являются консервативными и однонаправленными, выполняют функции пассивного транспорта и распределения электроэнергии. Они имеют большой износ оборудования, низкий процент автоматизации, устаревшую релейную защиту и автоматику, большие потери электроэнергии, и на ряду с этими проблемами при повреждениях ЛЭП возникает опасность поражения током людей, домашних и диких животных в местах замыкания на землю.



Структурная схема управляемого заземления нейтрали

Однофазные замыкания на землю (ОЗЗ) на воздушных линиях (ВЛ) напряжением 6-10 кВ могут возникать при падении провода на землю, пробое изоляции, при касании проводом посторонних предметов.

ВЛ, как правило, не имеет защиты от разрыва фазы и падения провода на землю и от ОЗЗ с действием на отключение. В ПУЭ отсутствует требование о необходимости выполнения **защиты от разрыва** фазы.

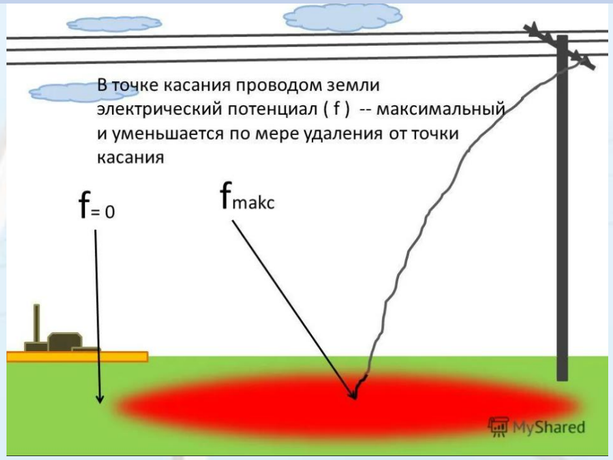
Поиск «земли» осуществляется путем поочередного отключения ВЛ, что является анахронизмом XX века. Действие защиты от ОЗЗ на сигнал может привести к возникновению опасных напряжений . Особенно это опасно в сельской местности и в густонаселенных районах города.

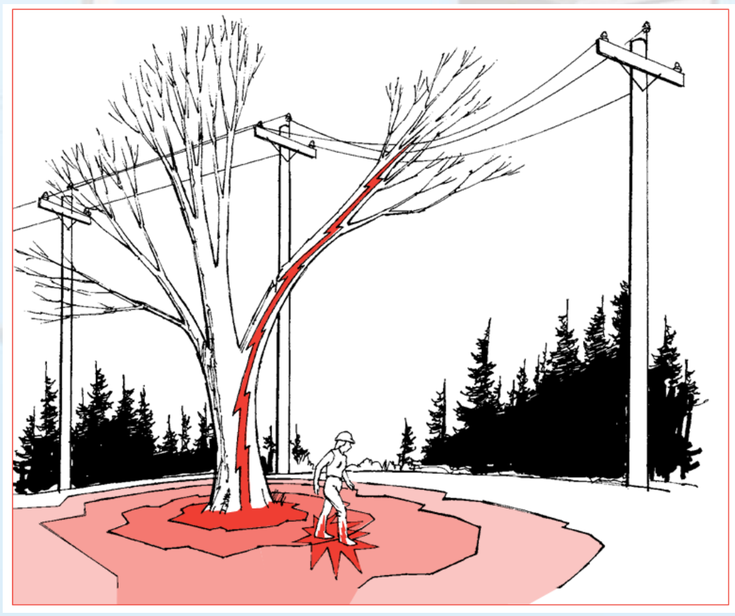
ОЗЗ может существовать неопределенно долгое время, повышая вероятность поражения людей и животных. Если ОЗЗ длительно не отключается, возникает опасность возникновения двойных и многоместных замыканий на землю (ДЗЗ и МЗЗ).

Существенно повышается вероятность возникновения пожаров, например, из-за возникновения высокотемпературной дуги в месте ОЗЗ.

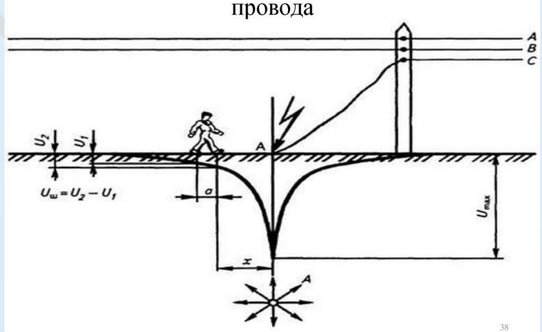
В результате длительного протекания тока ОЗЗ грунт возле опоры высыхает, растет его сопротивление, в результате чего увеличивается опасность поражения людей и животных напряжением прикосновения.

При ОЗЗ возникают переходные сопротивления порядка нескольких кОм. Напряжение и токи нулевой последовательности при этом сильно уменьшаются, причем степень снижения рабочих сигналов, на которые реагируют защиты, зависит от величины переходного сопротивления и основных характеристик сети (емкость относительно земли, сопротивление заземляющего устройства и т.д.).

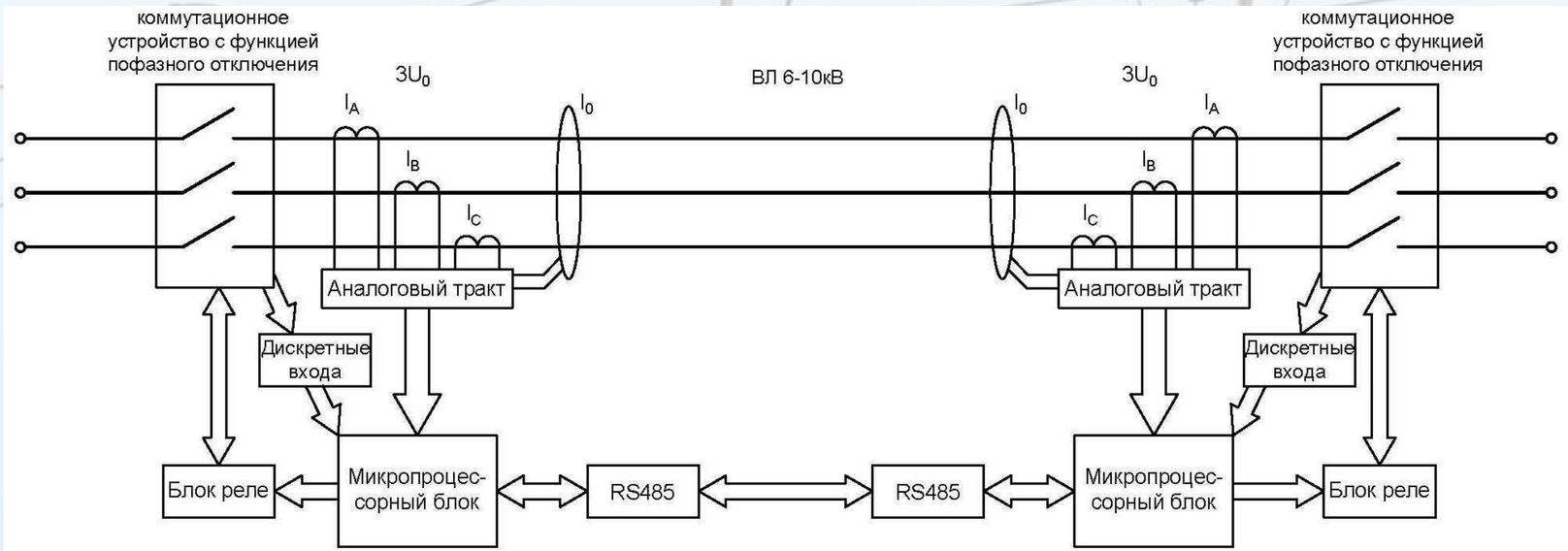




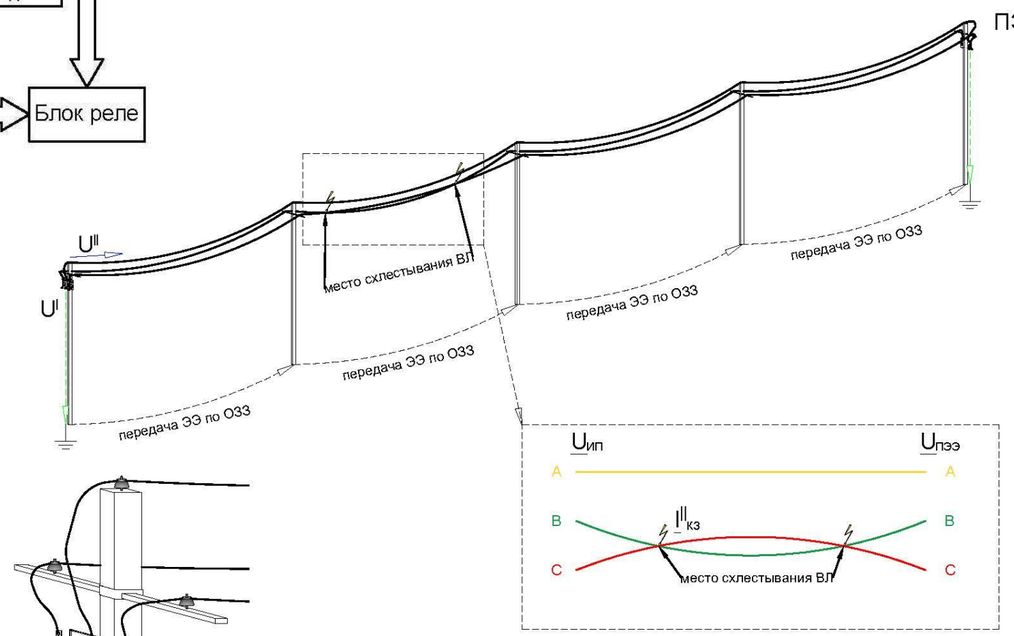
Напряжение шага в близи места падения провода



Концепция поддержания работоспособности электрических сетей в послеаварийных режимах в сети среднего напряжения

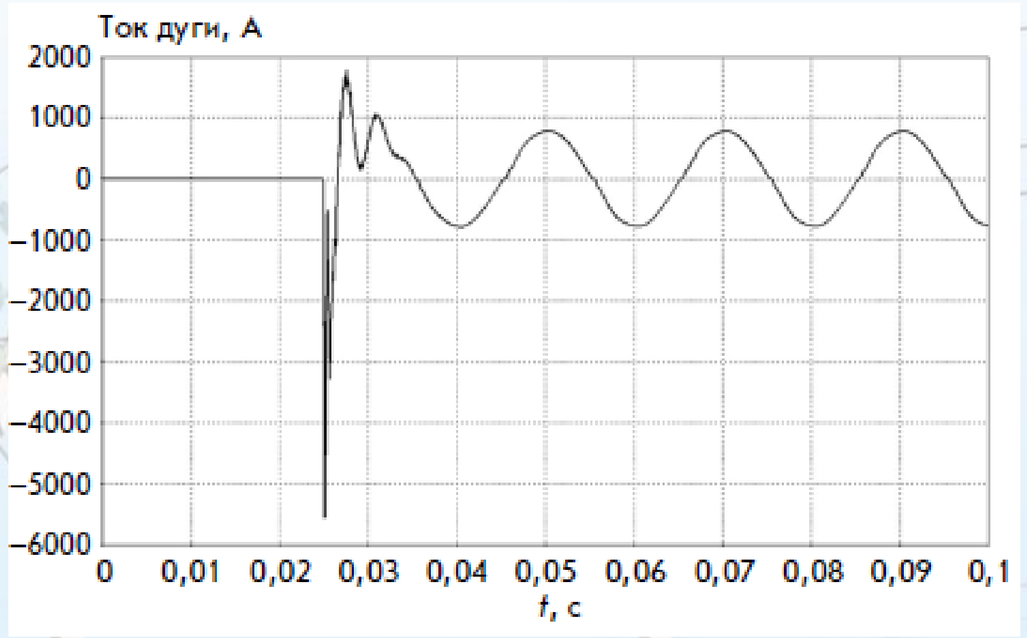


На первом этапе производится определение поврежденной фазы с последующим ее шунтированием. Это необходимо для переноса возникшего замыкания на землю в предусмотренные санитарные зоны с обеспечением условий безопасности, а так обеспечения условий для гашения дуги в месте повреждения в том случае, если ОЗЗ имеет дуговой характер.

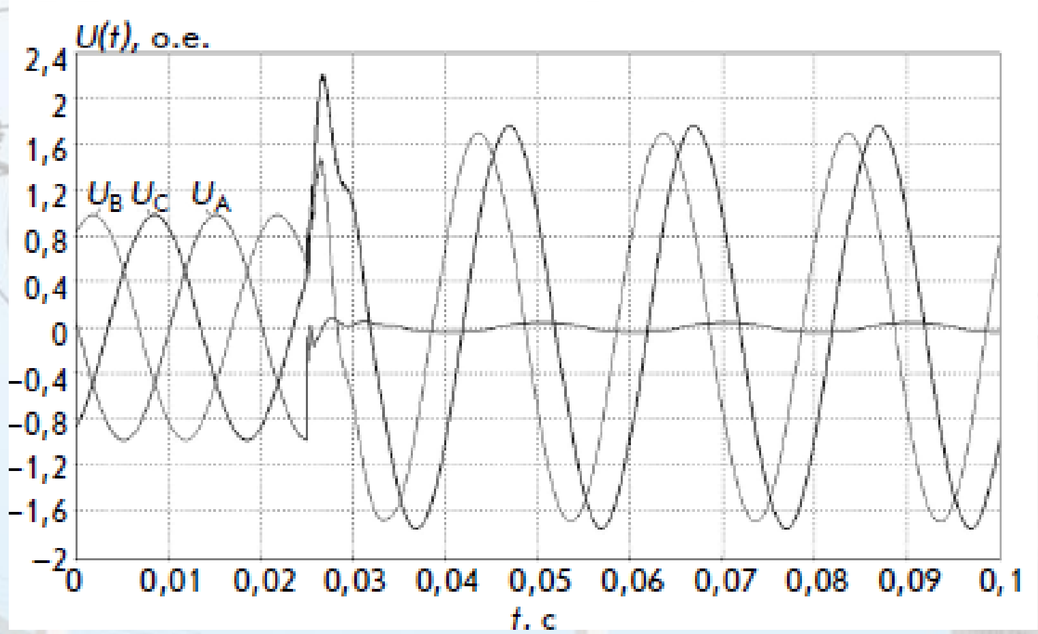


При возникновении аварийной ситуации на ВЛ в том числе: схлестывание; падение дерева; замыкание линии в следствии попадания под действие ЭЭ птиц и т.д. Производиться отключение трех полюсов ВЛ, с последующим вводом в работу уцелевших фазных проводников и принудительным замыканием поврежденного проводника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

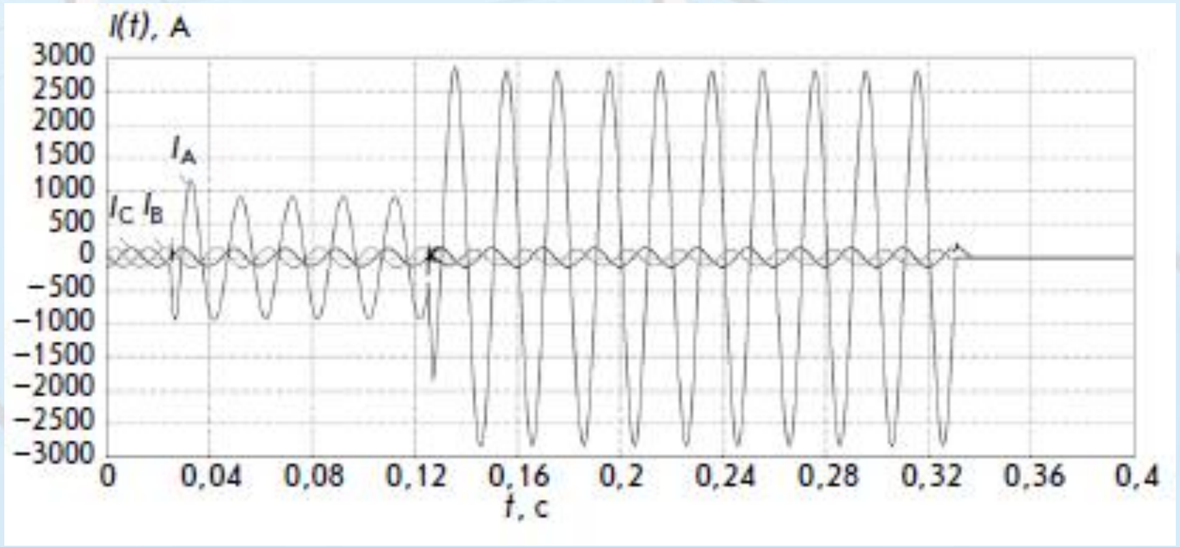
Разработана система для обеспечения безопасности при ОЗЗ за счет переноса потенциала в санитарную зону с сохранением электроснабжения потребителей. Получен патент на изобретение № 2807318.



Ток дуги (А) при ОЗЗ



Напряжение на шинах центра питания, о. е.

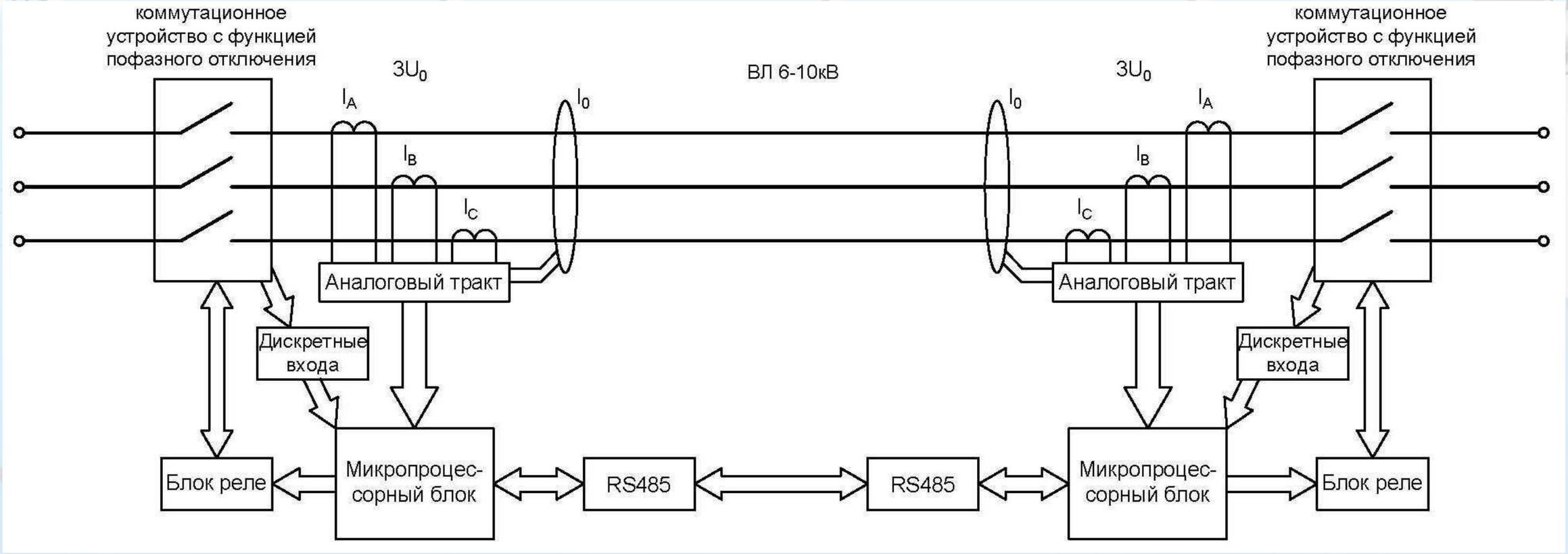


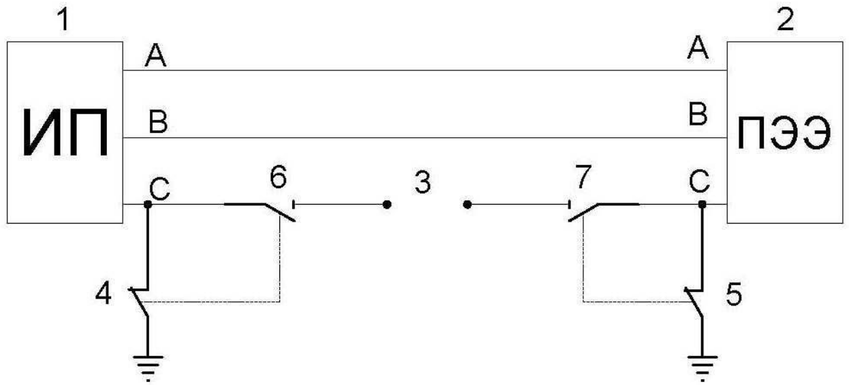
Токи фаз (А) поврежденного присоединения при ОЗЗ, удаленном от шин центра питания, искусственно переводимом в двойное замыкание с последующим отключением присоединения

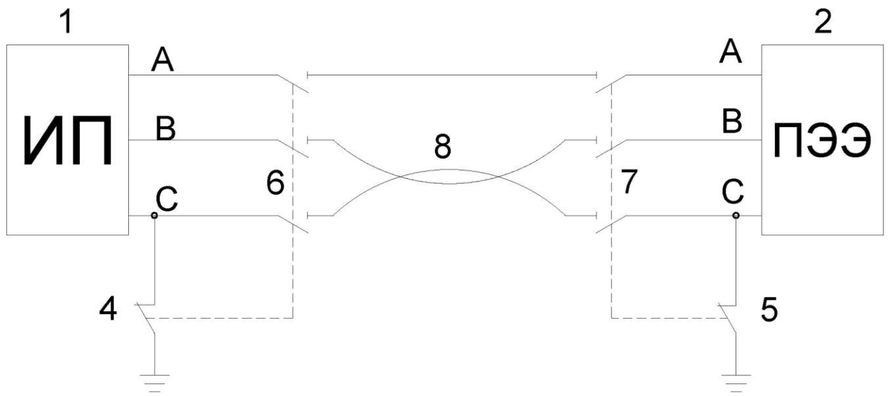
Одна из дополнительных функций шунтирования поврежденной фазы заключается также в том, чтобы исключить возможность появления перемежающегося характера ее горения, поскольку известно, что именно перемежающаяся дуга в сетях с изолированной нейтралью является источником существенных перенапряжений. Однако, поскольку рассматривается случай сети со значительным емкостным током, горение дуги будет иметь устойчивый характер, благодаря чему перенапряжения кратностью более 2 будут возникать только в первый полупериод после зажигания дуги. Расчетные осциллограммы тока дуги и напряжений на шинах ЦП при возникновении ОЗЗ вблизи шин ЦП приведены на рисунках

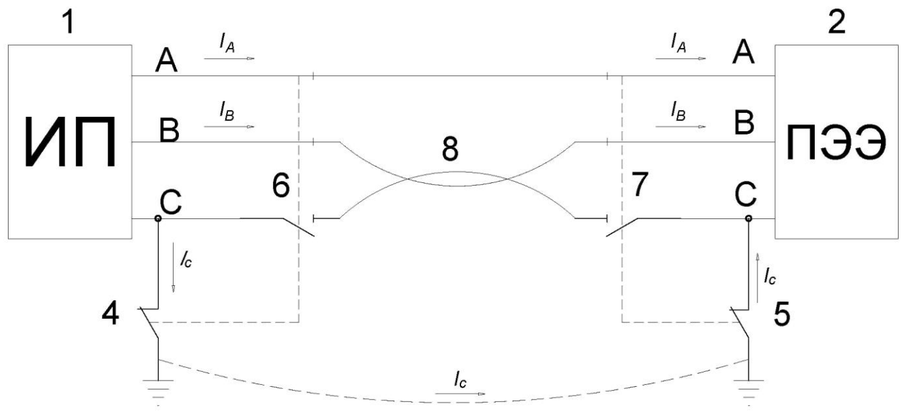
Возможность применения релейной защиты для организации описываемого метода

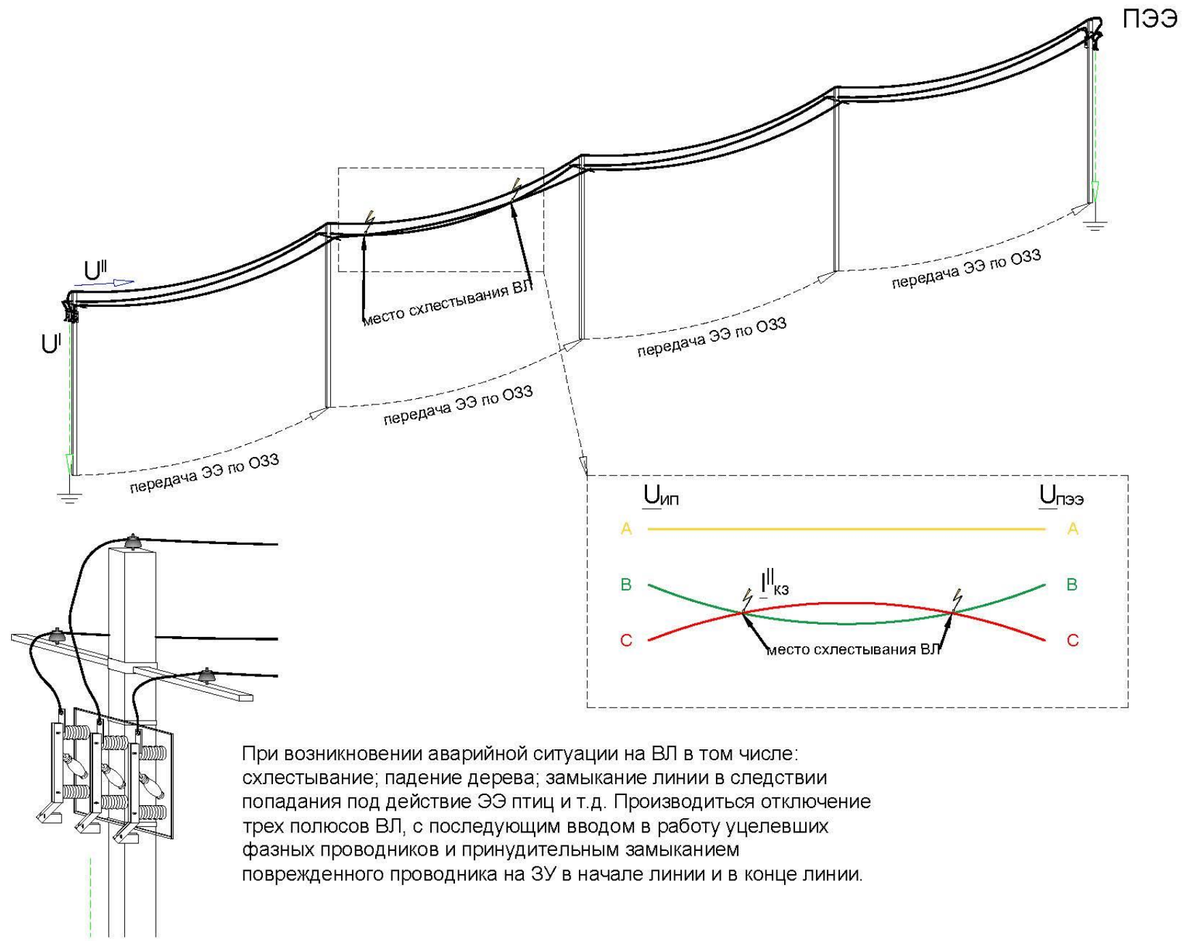
Релейная защита на многих центрах питания, распределительных пунктах и трансформаторных подстанциях реализована с использованием электромеханических реле. Защиты, реализованные с их использованием, как правило, обладают меньшей чувствительностью по сравнению с современными микропроцессорными защитами, однако, из-за их большей надежности во многих случаях отказ от них не предполагается в ближайшем будущем. Актуальным является вопрос в том, возможно ли организовать селективное отключение поврежденного присоединения после шунтирования неповрежденной фазы.











При возникновении аварийной ситуации на ВЛ в том числе: схлестывание; падение дерева; замыкание линии в следствии попадания под действие ЭЭ птиц и т.д. Производиться 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.

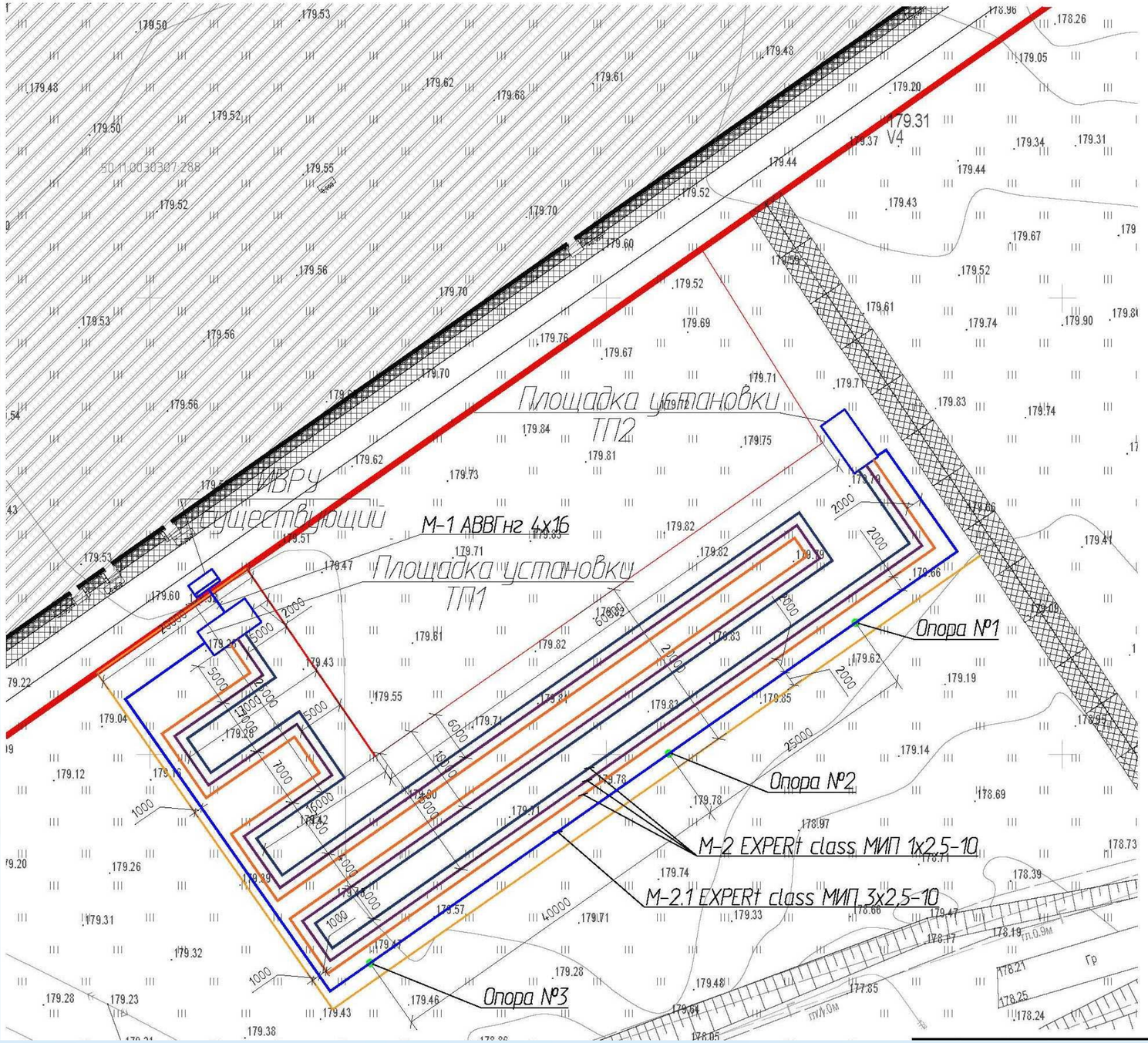
Управляемое заземление позволяет снять потенциальную угрозу поражения электрическим током случайных людей или животных, обеспечить гашения электрической дуги в месте однофазного замыкания на землю и обеспечивающее повышение надежности системы, за счет сохранения передачи ЭЭ по земле

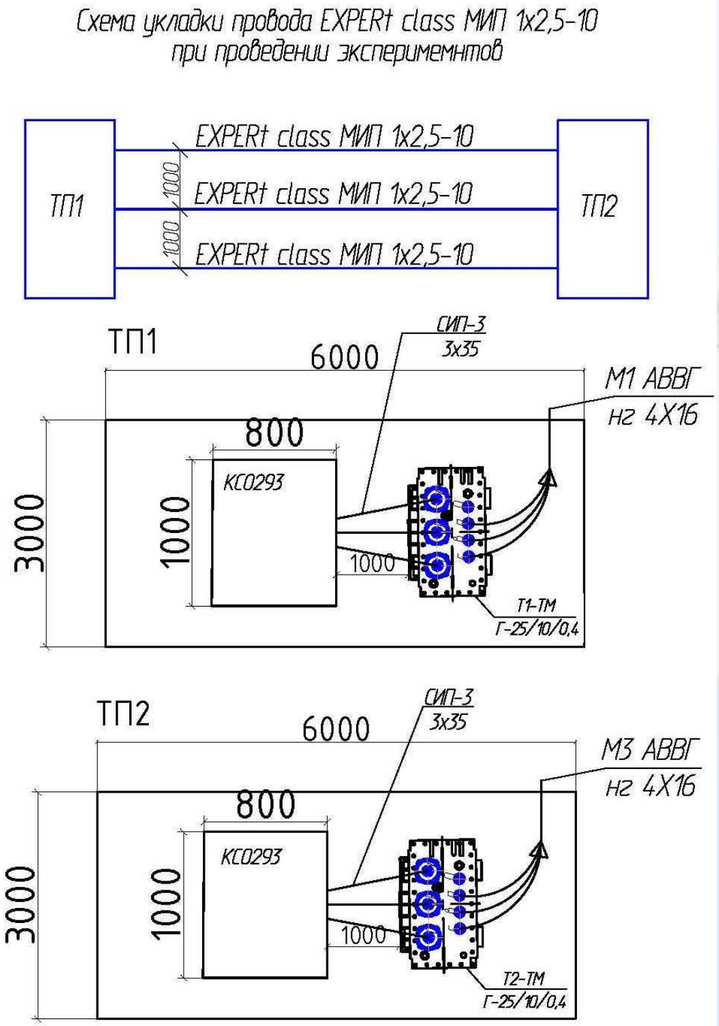
Проведены испытания на полигоне

Задачами испытаний установить состоятельность принципа переноса передачи ЭС по ОЗЗ:
- соответствие оборудования системы электроснабжения
- правильности функционирования устройств в составе системы электроснабжения;
- работоспособности устройств системы электроснабжения при предельных значениях электрических параметров в различных режимах (опытах).

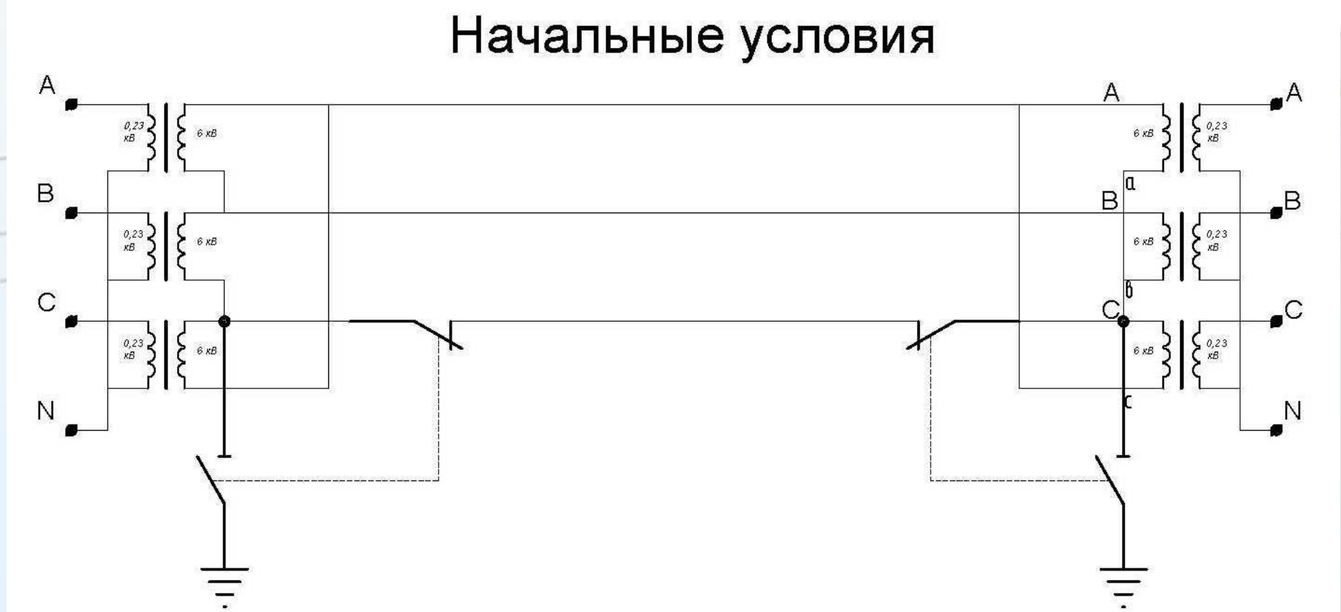
Результаты полученные по итогу проведенных экспериментов, подтверждают возможности метода:
- Успешно удалось произвести гашение дуги в месте замыкания;
- Снизить уровень шагового напряжения до нулевого значения в месте ОЗЗ;
- Передать мощность потребителю по трем фазам;
- Сохранить устойчивость системы.

План-схема экспериментальной полевой установки Нахабино



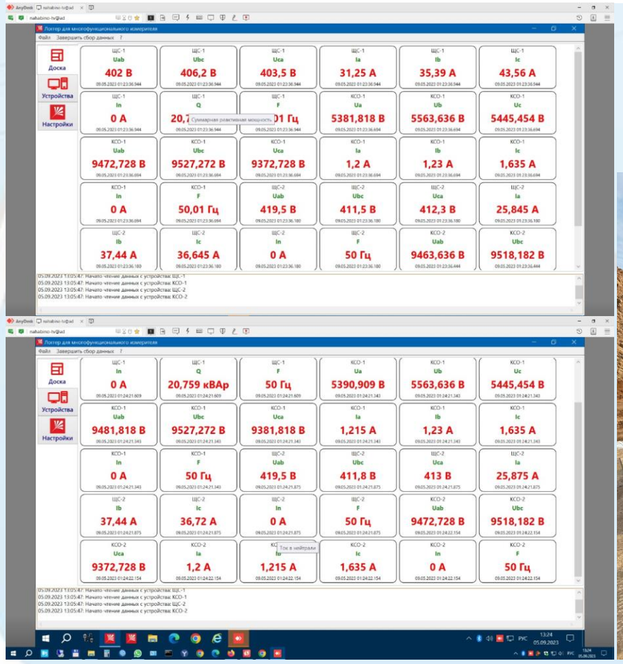


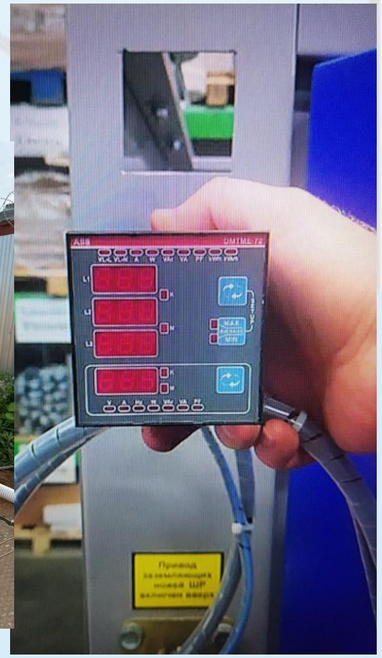
Принципиальная схема экспериментальной полевой установки Нахабино



Целью производимых экспериментов служит практически показать способ бесперебойного электроснабжения потребителей при обрыве проводника, в котором производят выявление ОЗЗ с последующим отключением поврежденной линии, отличающийся тем, что передают сообщение о наличии повреждения фазного проводника, обеспечивают двухстороннее заземление поврежденного фазного проводника со стороны источника питания и со стороны потребителя электрической энергии, при этом используют однофазные заземляющие ножи со стороны источника электроэнергии и со стороны потребителя электроэнергии, выравнивают напряжения на всех трех фазах в режиме короткого замыкания, нивелируют перенапряжение на потребителе с помощью регулирования под нагрузкой в сетях большего напряжения, включают линию в работу.

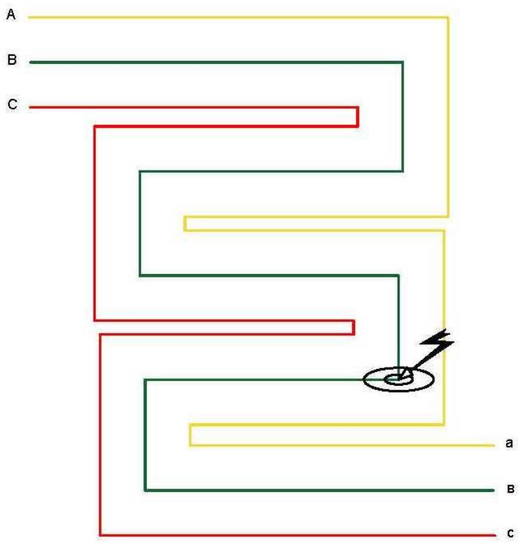
Параметры экспериментальной установки:
Uвход=400В
Входное напряжение трансформируется на уровень 10кВ
Uначало линии=10кВ
Uконец линии=10кВ
Uвыходное=400В
Сопротивление контура в пределах 4 Ом





На представленном ролике демонстрируется дуговое замыкание заведомо поврежденного фазного проводника в середине линии

План-схема места повреждения проводника на линии



Место повреждение проводника

Демонстрация дугового замыкания

Расчетный ток ОЗЗ для представленной системы составляет 0,3А
(0,3 км*10 кВ)/10=0, 3 А

Уровень напряжения порядка 2,1В

$$U_ш = \varphi_1 - \varphi_2 = \frac{I_з \rho}{2\pi}\left(\frac{1}{x} - \frac{1}{x+a}\right) = \frac{I_з \rho}{2\pi} \cdot \frac{a}{x(x+a)}$$

G 100 Ом*м.
(0,3*100/6,28)(0,8/(1(1+0.8)=4,77707006*...=2.1 В.

Измерения производятся токовыми клещами Fluke 374 FC

Дата:	14.09.2023		Время:	12 ч	49 мин		20 сек			
Климатические условия при проведении испытания:										
Температура воздуха:		19,3	Атм. Давление, мм,рт.ст:		751	Влажность воздуха:		49,9		
Название эксперимента: Замыкание проводника по ОЗЗ с замыканием поврежденной фазы к заземляющему устройству										
Описание: имитируется пробой изоляции полюса L2 в конце линии, изоляция преднамеренно повреждена, создано условие по ОЗЗ, в начале и конце линии установлено заземление L2 к заземляющему устройству.										
эксперимент (а): в конце линии имитируется повреждение изоляции с ОЗЗ, на линии L2. В начале и в конце линии установлено заземление поврежденной фазы, поврежденная линия не отделена. (по условиям эксперимента (а) поврежденная фаза получила пробой изоляции, нагрузка "0")										
эксперимент (б): в конце линии имитируется повреждение изоляции с ОЗЗ, на линия L2. В начале и в конце линии установлено заземление поврежденной фазы, поврежденная линия отделена. (по условию эксперимента (б) поврежденная фаза получила пробой изоляции, подключена нагрузка 70% от ном. (20кВт))										

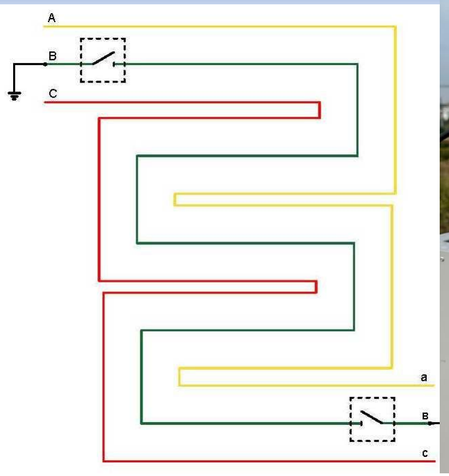
Параметры эксперимент (а):	Время:	12 ч	49 мин	20 сек
	начало линии		конец линии	нагрузка:
	L1	L2	L3	L1	L2	L3	XX
Uном.в/н [V]	9600	0	9600				
Uном.н/н [V]	232	237	236				
I на ст. в/н[A]		1,2	1,67				
I на ст. н/н[A]		37,65	42,19				
R [Ω]	-	-	-		0,5		
l до места повреждения[m]	-	312,8	-	-	-7,2	-	
	L шага-1м						
	без сопротивления		сопротивление 1кОм				
Uш[V]	0,1		0,5				
Iш[A]	0		0				

Параметры эксперимент (б):	Время:	13 ч	18 мин	52 сек
	начало линии		конец линии	нагрузка:
	L1	L2	L3	L1	L2	L3	70%
Uном.в/н [V]	9530	0	9536				
Uном.н/н [V]	231	235	236				
I на ст. в/н[A]	1,2	1,26	1,68	1,2	1,26	1,68	
I на ст. н/н[A]	31	35	45	31	35	45	
R [Ω]					0,5		
l до места повреждения[m]	-	312,8	-	-	-7,2	-	
	L шага-1м						
	без сопротивления		сопротивление 1кОм				
Uш[V]	0,1		0,7				
Iш[A]	0		0				

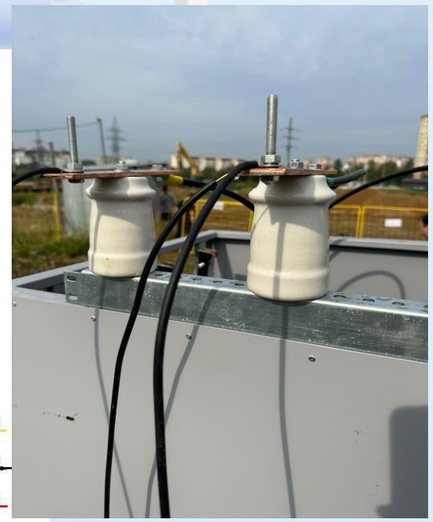
В результате эксперимента удалось погасить дуговое ОЗЗ, снизить потенциал шагового напряжения но нулевого значения, выровнять напряжения по всем трем фазам на стороне потребителя, сохранив рабочее состояние электроснабжения.

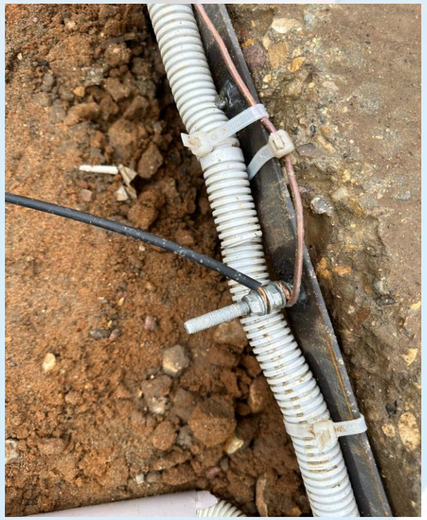
Демонстрация результата шунтирования линии в начале и в конце на контур с сопротивлением до 4 Ом.: дуга погашена , шаговое напряжения составляет нулевое значение.

План-схема места повреждения проводника на линии



Шунтирования поврежденной линии в начале и в конце линии на контур с сопротивлением до 4 Ом.





Проведен ряд опытов на действующем оборудовании ПАО «РОССЕТИ» под рабочим напряжением 10кВ

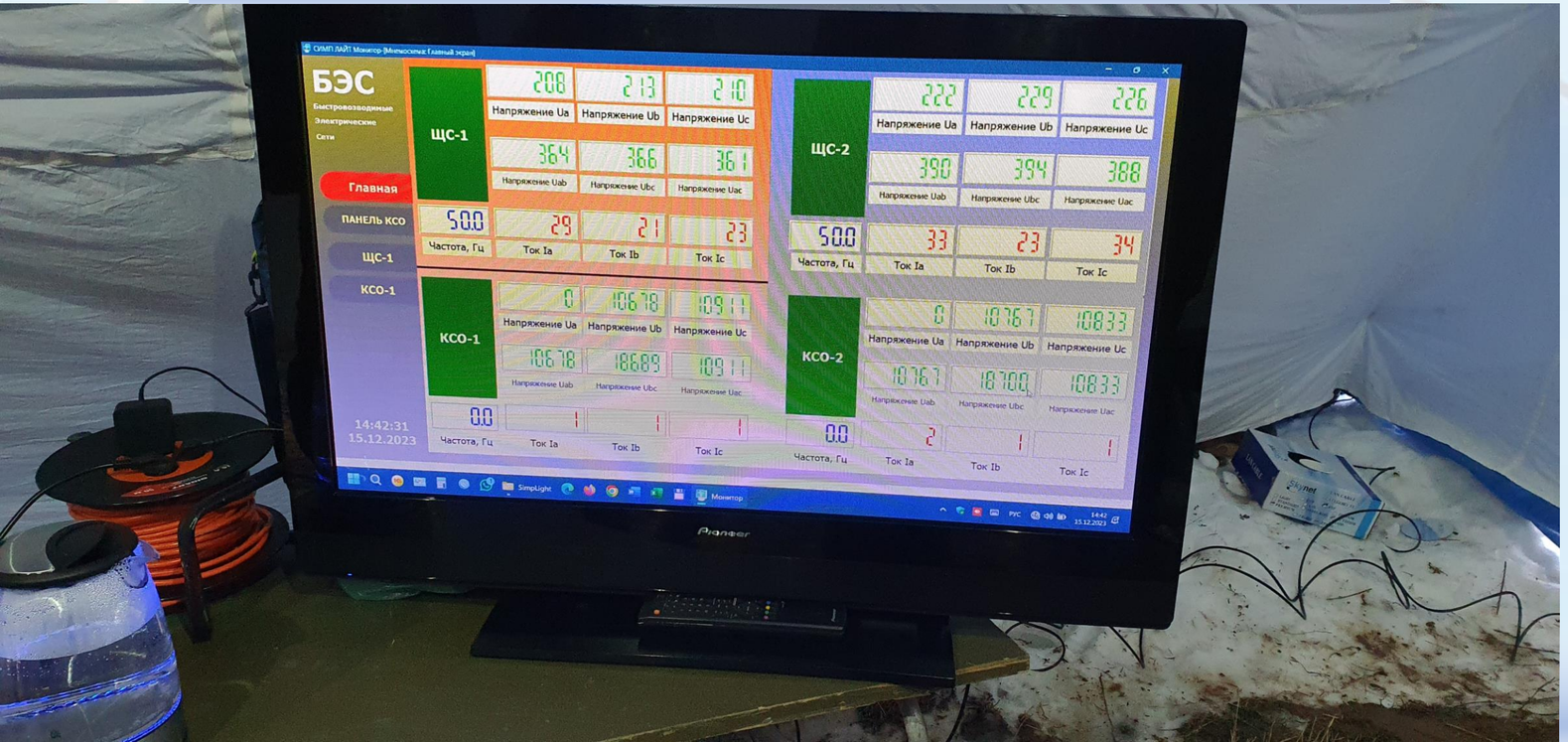
В результате проведённых опытов удалось:

- **Произвести гашение дуги при ОЗЗ, ток КЗ не превысил расчетный и составил порядка 14А;**
- **Сохранить рабочее состояние электроснабжения потребителя,**
- **Характеристики уровня напряжения на стороне 0,4кВ в пределах нормы.**

Показания с регистраторов представлены на слайде.

Устройство мониторинга сетевых показателей, как и система жизнеобеспечения полевого лагеря производилась по средству экспериментальной линии, все системы работали штатно, уровень потребления тока как видно на слайде составляет 30А на стороне потребителя.

Показания системы мониторинга при шунтировании повреждённого проводника в начале и конце линии



Сопротивления контура 10 Ом.
Шаговое напряжение в месте поврежденного участка фазного проводника 0В.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ СОВЕТ
Единой энергетической системы

ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ 6-10 кВ ПРИ ПОВРЕЖДЕНИИ ФАЗНЫХ ПРОВОДНИКОВ

Докладчик

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

Пожидаев Семен Владимирович

Содокладчик

Докторант ВУНЦ СВ «ОВА ВС РФ»

кандидат технических наук, доцент Кочнев Сергей Сергеевич

Научный консультант

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

Удинцев Дмитрий Николаевич