

Авторы:
 к.т.н. Ефремов В.А.,
 к.т.н. Воронов П.И.,
 ООО «Релематика»,
 г. Чебоксары, Россия,
 Ластовкин В.Д.,
 ПАО «Магаданэнерго»,
 г. Магадан, Россия.

ЗАЩИТА ОТ ОДНОФАЗНЫХ ЗАМЫКАНИЙ В СЕТЯХ С МАЛЫМИ ТОКАМИ ЗАМЫКАНИЙ НА ЗЕМЛЮ. ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Аннотация: в статье представлены результаты испытаний терминала защиты от однофазных замыканий на землю в сетях с изолированной нейтралью. Испытания проведены в сетях ПАО «Магаданэнерго». Результаты показали применимость разработанного терминала в качестве селективной защиты от однофазных коротких замыканий.

Ключевые слова: релейная защита, однофазное замыкание на землю, определение места повреждения.



Ефремов Валерий Александрович
 Дата рождения: 02.01.1959 г.
 Окончил в 1981 г. электроэнергетический факультет Чувашского государственного университета им. И.Н. Ульянова.

В 1993 г. защитил кандидатскую диссертацию по теме «Адаптивный дистанционный принцип защиты и автоматики линий электропередачи и средства его реализации» в Санкт-Петербургском государственном техническом университете.
 Доцент кафедры ТОЭ и РЗА Чувашского государственного университета.
 Директор Центра применения продукции ООО «Релематика».

В 2012-2016 гг. в рамках научно-исследовательской опытно-конструкторской разработки (НИОКР), выполненной ООО «Релематика» по заказу ПАО «Магаданэнерго», был разработан и установлен в опытную эксплуатацию терминал защиты от однофазных замыканий на землю (ОЗЗ). Особенностью данного устройства является то, что он способен при практическом отсутствии токов замыкания для определения повреждённого фидера выдавать управляющие воздействия на кратковременный перевод ОЗЗ в искусственное двойное замыкание с целью дальнейшего определения места ОЗЗ [1].

Как известно, в сетях 6-35 кВ с изолированной нейтралью ОЗЗ являются основным видом повреждений [2]. Также известно, что допускается достаточно длительное время работы сетей с ОЗЗ [3]. Однако режим ОЗЗ сопровождается повышением напряжения на неповреждённых фазах, которое может вызвать пробой в местах с ослабленной изоляцией, что приводит либо к междуфазным, либо к множественным замыканиям на землю, тем самым значительно увеличивая ущерб от аварии. Также, например, в сетях ПАО «Магаданэнерго» длительное существование ОЗЗ приводит к возгоранию деревянных опор линий электропередачи, следствием чего являются длительные перебои в электроснабжении потребителей. С другой стороны, прямое отключение линии в режиме ОЗЗ электропередачи также нежелательно, так как это может привести к возникновению феррорезонансных явлений в измерительных трансформаторах напряжения и силовых трансформаторах, работающих в режимах, близких к холостому ходу [4].

Для устранения данных проблем было решено изменить подход к отключению ОЗЗ. Для исключения возгорания опор и устранения феррорезонансных явлений в ходе выполнения НИОКР разработано устройство, которое кратковременно переводит ОЗЗ в режим двойного замыкания на землю, после чего производит селективное отключение повреждённого присоединения [1].

Испытания разработанного устройства проведены на подстанции «Нера-Новая» в сети 35 кВ. Испытания были проведены в зимний и летний периоды. Схема сети распределительного устройства представлена на рис. 1. На время испытаний одна из воздушных линий электропередачи отключалась и переводилась на холостой ход. Терминалы защиты установлены на каждом присоединении. Все терминалы защиты воздействуют на двухполюсный заземляющий выключатель (ЗВ), уста-

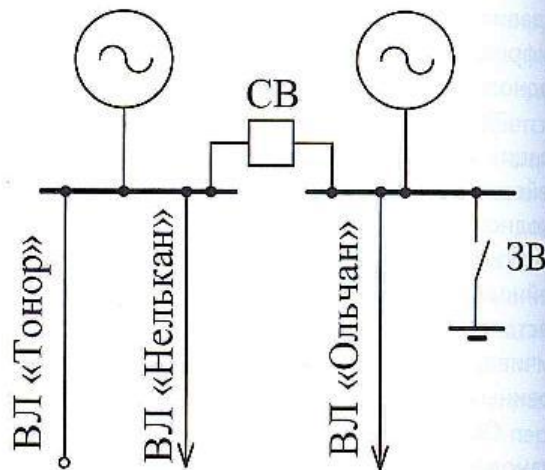


Рис. 1. Схема сети 35 кВ

новленный на шинах подстанции в фазах А и С.

На рис. 2 приведена осциллограмма токов и напряжений в ходе зимних испытаний на ВЛ «Нелькан». ВЛ «Нелькан» была включена на ОЗЗ, после чего терминал защиты воздействовал на перевод в искусственное двойное замыкание. На рис. 3 приведены векторные диаграммы напряжений в режиме ОЗЗ и в режиме двойного замыкания на землю.

При включении линии на ОЗЗ напряжение в повреждённой фазе практически не отличается от номинального. Это объясняется тем, что ПС «Нера-Новая» располагается в зоне вечной мерзлоты со скальными грунтами, следствием чего в месте повреждения при ОЗЗ является большое переходное сопротивление. Во время прогревания грунта в месте ОЗЗ наблюдалось постепенное увеличение напряжения нулевой последовательности.

Из-за слабого изменения фазного напряжения в режиме ОЗЗ использовать критерий определения повреждённой фазы по минимальному напряжению оказалось невозможным. По этой причине в ходе испытаний было решено доработать избиратель повреждённой фазы и использовать фазовые соотношения между фазными напряжениями и напряжением нулевой последовательности [5].

Кроме того, в ходе проведённых зимних испытаний было обнаружено (рис. 2), что ЗВ на подстанции был установлен в фазы А и В вместо фаз А и С, что в дальнейшем было учтено в программе защиты.

По причине ошибочного определения ОЗЗ на фазе В из-за применения упрощённых критериев избирателя повреждённой фазы и включения ЗВ на фазе В вместо фазы С из-за ошибки, допущенной персоналом сетей при фазировке ЗВ, терминал защиты не выявил появления режима двойного замыкания и не подействовал на отключение повреж-

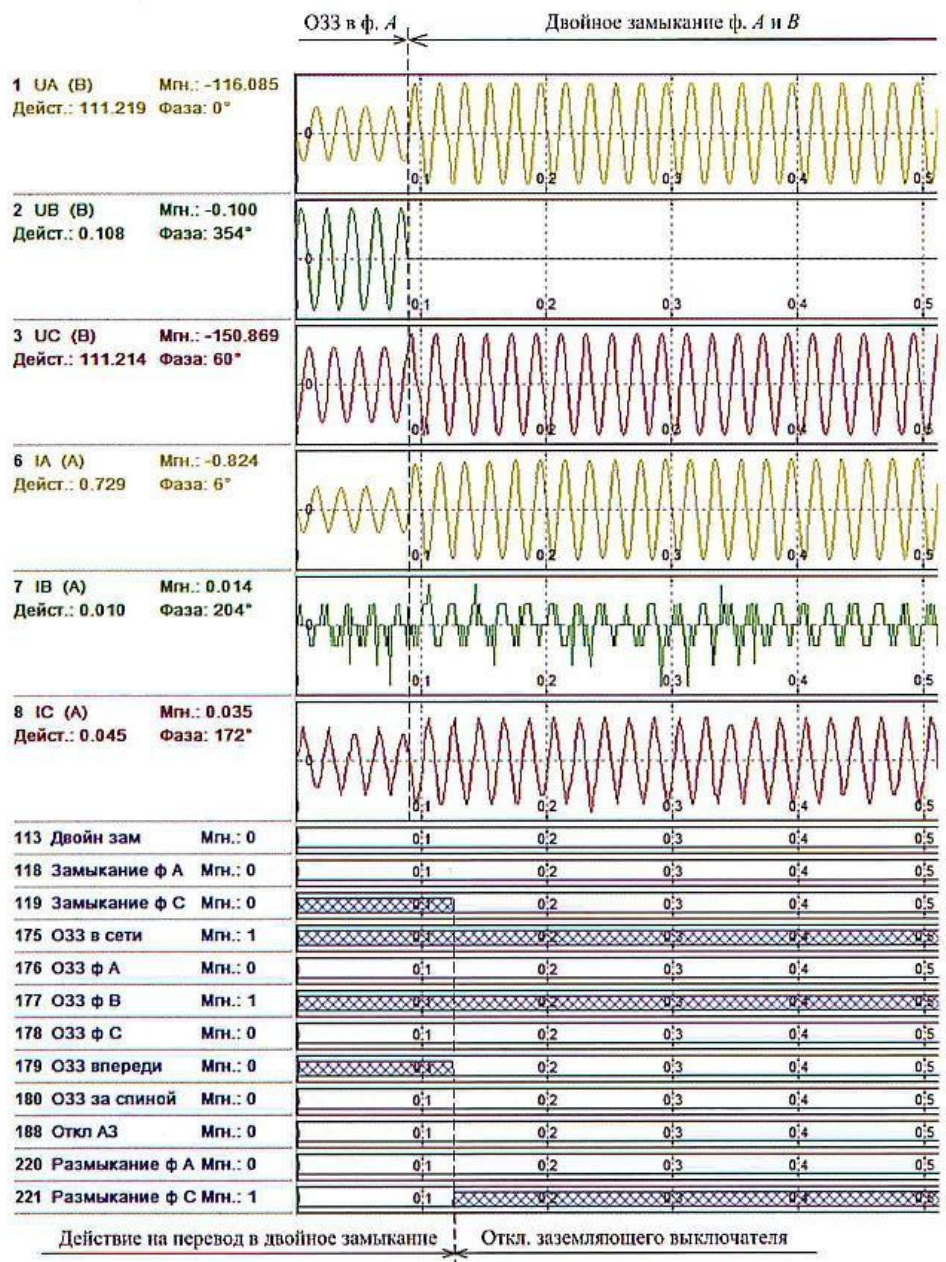


Рис. 2. Осциллограмма опыта ОЗЗ в ф. А с переводом в двойное замыкание, записанная терминалом защиты ВЛ «Нелькан»

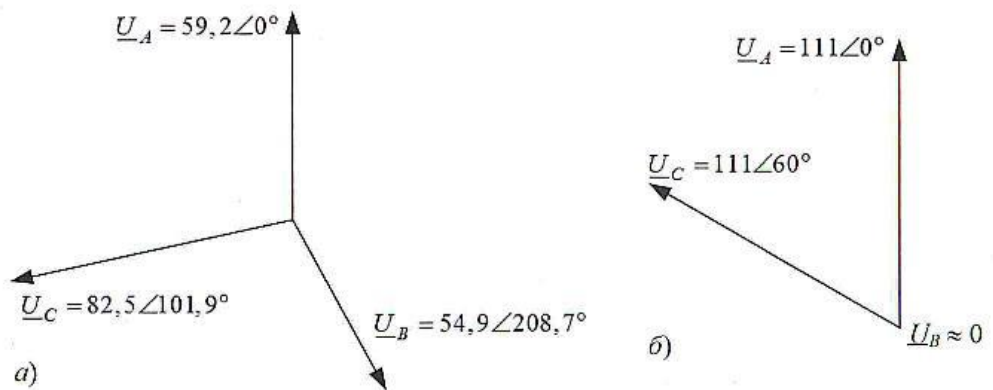


Рис. 3. Векторные диаграммы напряжений: а) в режиме ОЗЗ; б) в режиме двойного замыкания на землю

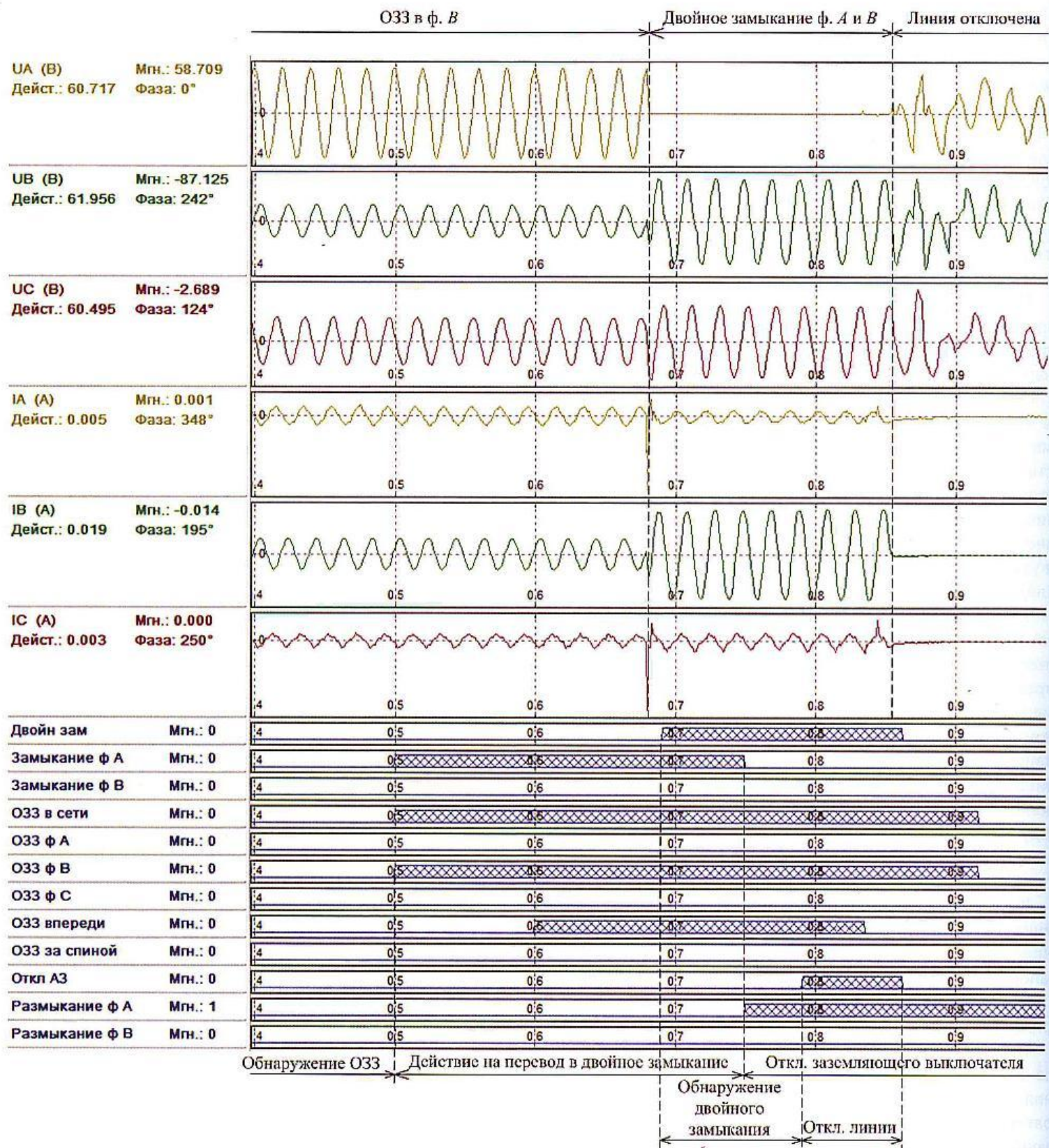


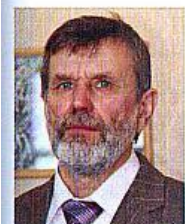
Рис. 4. Осциллограмма опыта ОЗЗ в ф. В с переводом в двойное замыкание, записанная терминалом защиты ВЛ «Тонор»

дённому присоединения. Отключение 3В не произошло автоматически по причине отказа привода выключате-

ля, и было произведено вручную.

На рис. 4 представлена осциллограмма токов и напряжений, записан-

ная терминалом защиты в ходе испытаний, проведённых в летний период с доработанным алгоритмом защиты. На



Ластовкин Виктор Дмитриевич
Дата рождения: 04.03.1949 г.
Почётный энергетик РФ,
почётный работник ТЭК.
Начальник СРЗАиМ
ПАО «Магаданэнерго».



Воронов Павел Ильич
Дата рождения 28.08.1991 г.
Окончил в 2014 г. факультет
энергетики и электротехники
Чувашского государственного
университета (ЧГУ) им. И.Н.
Ульянова. В 2015 г.
в ЧГУ защитил кандидатскую
диссертацию на тему
«Информационные аспекты
защиты и локализации поврежденной
электрической сети».
Инженер-исследователь
ООО «Релематика».

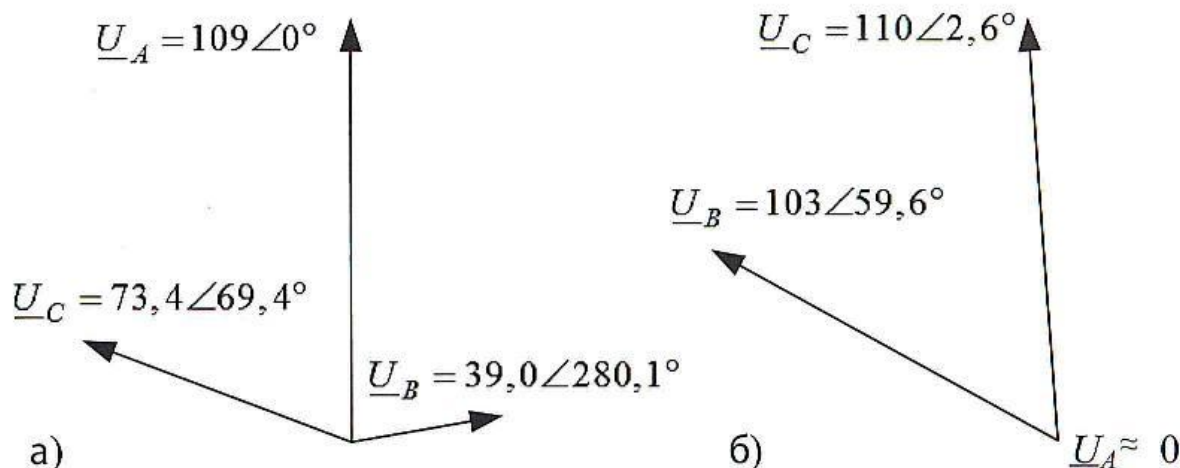


Рис. 5. Векторные диаграммы напряжений: а) в режиме ОЗЗ; б) в режиме двойного замыкания на землю

рис. 5 приведены векторные диаграммы напряжений в режиме ОЗЗ (рис. 5, а) и двойного замыкания на землю (рис. 5, б). В ходе испытаний в конце ВЛ «Тонор» была заземлена ф. В, после чего производилось включение линии электропередачи на ОЗЗ.

При включении ВЛ «Тонор» на ОЗЗ наблюдается снижение напряжения в ф. В с одновременным повышением напряжения ф. А до линейного значения и небольшим повышением напряжения ф. С (рис. 5, а). Такое соотношение напряжений свидетельствует о достаточно большом переходном сопротивлении в месте повреждения. После обнаружения поврежденной фазы (ф. В) терминал выдал управляющее воздействие на кратковременный перевод режима ОЗЗ в режим двойного замыкания. Терминал защиты при определении ОЗЗ в ф. В и в ф. С воздействует на включение ЗВ в ф. А, при определении ОЗЗ в ф. А – на включение ЗВ в ф. В.

При возникновении режима искусственно-двойного замыкания наблюдается снижение до нуля напряжения в ф. А (напряжения на той фазе, в которой происходит замыкание ЗВ), при этом повышаются напряжения в двух других фазах. Увеличение тока в ф. В свидетельствует о появлении пути для протекания тока двойного замыкания. Ток двойного замыкания составляет всего 2,7 А (во вторичных величинах, в первичных величинах 108 А). После возникновения режима двойного замыкания производится отключение ЗВ и отключение поврежденного присоединения. Отключение поврежденного присоединения производится при наличии сигнала «ОЗЗ впереди», определяемого с помощью реле направления мощности нулевой последовательности [6], и идентификации появления режима двойного замыкания.

Таким образом, защита правильно опреде-

лила поврежденное присоединение и подействовала на его отключение.

За счёт малой величины токов в режиме двойного замыкания реализовать функцию определения места повреждения (ОМП) по параметрам аварийного режима [7] не представляется возможным. Эффективность ОМП по параметрам аварийного режима может быть показана только при малых переходных сопротивлениях в месте ОЗЗ.

Выводы

Разработанная в ходе совместной работы ООО «Релематика» и ПАО «Магаданэнерго» защита позволяет сократить время существования ОЗЗ в сети, практически исключая появления режима естественного двойного замыкания на землю. Защита позволяет селективно определять поврежденное присоединение.

Литература:

1. Ефремов В.А., Воронов П.И., Алексенко С.А., Ластовкин В.Д. Реализация защиты от двойных замыканий на землю в сетях с изолированной нейтралью // Релейная защита и автоматика энергосистем. Сборник докладов XXII конференции. – Москва, 2014. – С. 116-118.
2. Шуин В.А., Гусенков А.В. Защиты от замыканий на землю в электрических сетях 6-10 кВ. – М.: НТФ Энергопрогресс, 2001. – 104 с. Библиотечка электротехника, приложение к журналу Энергетик, Вып. 4 (112).
3. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). – 7-е изд. – СПб.: УВСИЗ, 2005.
4. Лихачев Ф.А. Замыкания на землю в сетях с изолированной нейтралью и с компенсацией емкостных токов. – М.: Энергия, 1971. – 152 с.
5. Чернобровов Н.В., Семенов В.А. Релейная защита энергетических систем: Учеб. пособие для техникумов. – М.: Энергоатомиздат, 1998. – 800 с.
6. Попов И.Н., Лачугин В.Ф., Соколова Г.В. Релейная защита, основанная на контроле переходных процессов. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 248 с.
7. Лямец Ю.Я., Ильин В.А., Подшивалин Н.В. Программный комплекс анализа аварийных процессов и определения места повреждения линии электропередачи. // Электричество. – 1996. – №12. – С. 2-7.