



Авторы:

Вайнштейн Р.А.,

Юдин С.М.,

Томский политехнический университет, г. Томск, Россия.

Доронин А.В.,

Наумов А.М.

ООО НИП «ЭКРА»,

г. Чебоксары, Россия

Vainshtein R.A., Judin S.M.

Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia

Doroin A.V., Naumov A.M.

The research-and-production enterprise EKRA, Ltd.,

Cheboksary, Russia

ЗАЩИТА ОТ ЗАМЫКАНИЙ НА ЗЕМЛЮ В ОБМОТКЕ СТАТОРА ГЕНЕРАТОРОВ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ПЕРВИЧНЫХ СХЕМАХ

GENERATOR STATOR GROUND FAULT PROTECTION FOR DIFFERENT PRIMARY CIRCUITS

Аннотация. В статье приведен анализ методов выполнения защит от замыкания на землю в обмотке статора генераторов при различных первичных схемах с учетом современных требований отсутствия зоны нечувствительности и селективности как при устойчивых, так и при перемежающихся дуговых замыканиях. Результаты анализа могут быть использованы для определения рациональной области применения известных методов выполнения защиты.

Ключевые слова, защита от замыканий на землю, обмотка статора генератора, устойчивые и перемежающиеся дуговые замыкания.

Abstract:

The paper analyzes the methods of the performance of protection against earth fault in the generator stator winding with different primary circuits. At the same time take into account modern requirements of selectivity and the lack of the dead zone as in the stable, and in intermittent arc faults. The analysis can be used to determine the rational application of known techniques in the implementation of protection.

Keywords: Earth fault protection, stator winding of the generator, stable and intermittent arc faults.

Защита от замыканий на землю в обмотке статора синхронных генераторов является одним из важнейших видов защит, поскольку замыкание на землю может быть начальной стадией более тяжелого повреждения обмотки, а именно виткового или междуфазного.

Защита от замыканий на землю в отличие от других видов защит имеет особенность, заключающуюся в том, что способ её выполнения и состав технических средств для реализации не поддается типизации, а зависит от схемы подключения генератора, параметров и режима заземления нейтрали сети, в которой работает генератор. Факторами, усложняющими выполнение защиты от замыканий на землю, является требование отсутствия зоны нечувствительности при замыканиях вблизи нейтрали обмотки статора и обеспечения правильной работы защиты, как при устойчивых, так и при дуговых перемежающихся замыканиях.

Названные требования должны выполняться как в схемах, в которых генератор работает в блоке с трансформатором и не имеет гальванической связи с другими генераторами и с внешней сетью, так и в схемах, где такая связь имеется. В последнем случае дополнительно должна обеспечиваться функция селективности по отношению к поврежденному генератору. Эта задача может быть решена только на основе измерения токов нулевой последовательности в первичных цепях генератора.

При этом для защиты мощных генераторов практически могут использоваться только фильтры токов нулевой последовательности (ФТНП), составленные из трех типовых фазных трансформаторов тока. Сравнительно большой ток небаланса таких фильтров не позволяет выполнить защиту достаточной чувствительности с использованием токов промышленной частоты. Поэтому единственной возможностью для выполнения защиты в таких условиях является использование естественных высших гармоник в токе нулевой последовательности или искусственно наложенных токов с частотой, отличающейся от промышленной, так как это дает возможность отстройки от тока небаланса по частоте.

При сравнении и оценке методов и средств защиты от замыкания на землю при различных первичных схемах определенным обстоятельством является то, что в схемах без гальванической связи генератора с другими генераторами или с внешней сетью функции отсутствия зоны нечувствительности и работоспособности при перемежающихся замыканиях на землю могут быть разделены. Это объясняется тем, что перемежающиеся замыкания могут иметь место при замыкании на землю в точках обмотки статора, удаленных от нейтрали, где напряжение достаточно высокое. Эта функция в блоках с одним генератором во всех случаях выполняется защитой, реагирующей на на-



пряжение нулевой последовательности промышленной частоты. Такая защита надежно работает как при устойчивых, так и при перемежающихся замыканиях.

Если зоны действия защиты, реагирующей на напряжения нулевой последовательности, и выполненной тем или иным способом защиты, работающей при замыкании вблизи нейтрали, перекрываются, то к последней может не предъявляться требование работоспособности при перемежающихся замыканиях.

При наличии гальванической связи генераторов с внешними элементами и сохранения требования избирательности по отношению к поврежденному генератору, очевидно, что использование защиты напряжения нулевой последовательности, как основной, невозможно. Поэтому защита, выполняемая в таких случаях на базе использования естественных или искусственно создаваемых токов с частотой, отличающейся от промышленной, не должна иметь зоны нечувствительности и правильно функционировать при перемежающихся замыканиях.

В ряде случаев задача выполнения защиты может быть решена применением одного из нескольких возможных вариантов, удовлетворяющих основным требованиям по принципу действия. В таких условиях было бы неправильным придавать каким-либо методам и конкретным устройствам защиты свойства абсолютного преимущества.

Опыт разработки и эксплуатации защит от замыканий на землю, накопленный различными отечественными и зарубежными компаниями позволяет, в основном, достаточно обоснованно выделить области применения для устройств, выполненных на тех или иных принципах. Нередко, при прочих равных условиях, выбор конкретного решения определяется также и предпочтением заказчика – эксплуатационного персонала электростанции.

Для генераторов, работающих в

блоке с трансформатором и не имеющих гальванической связи с другими генераторами и внешней сетью, как уже упоминалось, очень эффективной является защита, основанная на использовании напряжения нулевой последовательности промышленной частоты. Напряжение срабатывания отстраивается от напряжения небаланса фильтра напряжения нулевой последовательности. При выполнении измерительного органа напряжения с фильтром основной частоты защита охватывает 90-95% витков обмотки статора. Большим достоинством данной защиты является её работоспособность при дуговых перемежающихся замыканиях.

Для устранения зоны нечувствительности при замыкании вблизи нейтрали в настоящее время нашли применение три метода. Метод, основанный на сравнении составляющих третьей гармоники в напряжении нулевой последовательности на выводах и в нейтрали генератора [1], метод наложения на первичные цепи генератора переменного тока с частотой, отличающейся от промышленной [2,3,4], и метод наложения постоянного тока [5].

Выбор устройства защиты с наложением постоянного тока при прочих равных условиях часто определяется фактором предпочтения персонала объекта, имеющего опыт эксплуатации такого вида защиты. Это объясняется тем, что кроме полноценного выполнения основных функций устройство защиты с наложением постоянного тока обладает свойством обнаружения некоторых повреждений в цепях статора генератора на ранней стадии [6]. В устройстве защиты с наложением постоянного тока может быть реализована функция непрерывного контроля эквивалентного сопротивления цепей статора генератора относительно земли с подачей сигнала при снижении этого сопротивления до установленного уровня. Для генераторов с непосредственным водяным охлаждением обмотки статора верх-

ний уровень измеряемого сопротивления устанавливается равным 1 МОм в соответствии с максимальным практически наблюдаемым значением, которое определяется в основном удельным сопротивлением охлаждающей воды. Для генераторов с газовым охлаждением верхний уровень измеряемого сопротивления определяется аппаратными ограничениями и составляет 100 МОм.

Для генераторов, работающих на сборные шины генераторного напряжения, в настоящее время практически применяются два варианта выполнения защиты. Один из этих вариантов – защита, использующая высшие гармоники в токе нулевой последовательности [7,8]. Полоса пропускания частотных фильтров такой защиты охватывает высшие гармоники, включая и гармоники, кратные трем. Благодаря тому, что последние образуют систему нулевой последовательности, защита не имеет зоны нечувствительности. При перемежающихся замыканиях ток нулевой последовательности содержит составляющие в широкой полосе частот. Поэтому защита на высших гармониках принципиально работоспособна и при таком виде замыкания. Методика и результаты исследования функционирования токовых защит при перемежающихся замыканиях, выполненные в Ивановском государственном энергетическом университете, приведены в [9].

Для защиты, использующей высшие гармоники, необходимо, чтобы емкостный ток внешней сети был не меньше некоторого определенного значения. Авторы одного из вариантов защиты определяют минимально необходимый емкостный ток внешней сети, как 0.5% от номинального тока используемых трансформаторов тока [7]. Так для применения защиты на генераторах ТВФ-63 при $U_{НОМ}=6,3$ кВ и ТВФ-120 при $U_{НОМ}=10,5$ кВ с трансформаторами тока, имеющими коэффициент трансформации 8000/5, емкостный ток сети должен быть не менее 40 А..

Для генераторов, работаю-



Вайнштейн Роберт Александрович

Дата рождения: 1.08.1937. В 1960 году окончил Томский политехнический институт по специальности «Электрические станции сети и системы». В 1965 году защитил кандидатскую диссертацию на тему: «Применение низкочастотных параметрических систем для защиты от замыканий на землю компенсированных сетей» в Томском политехническом институте. С 1985 по 2005 годы – заведующий кафедрой электрических станций Томского политехнического университета. Доцент кафедры электроэнергетических систем Томского политехнического университета

щих на сборные шины в сети с компенсацией емкостного тока, возможно применение защиты с наложением контрольного тока с частотой 25 Гц с помощью специальных источников, включаемых в цепь дугогасящих реакторов [10]. Такая защита не имеет зоны нечувствительности и в ней обеспечивается свойство работоспособности при устойчивых и перемежающихся замыканиях [11].

Возможность решения этой задачи объясняется, во-первых, тем, что при перемежающихся замыканиях в сети с компенсацией емкостного тока пробои идут с частотой ниже промышленной и, во-вторых, тем, что избыточные заряды, накопившиеся на стадии горения дуги практически полностью стекают через дугогасящий реактор после погасания дуги. При этом в повреждённом элементе сети токи от стадии горения дуги и на стадии стекания избыточных зарядов имеют одинаковые направления, а в неповреждённом – противоположные. Изменение зарядов может быть измерено формированием интеграла тока нулевой последовательности. Так как к моменту каждого очередного зажигания дуги избыточный заряд стекает практически полностью, то указанный интеграл при внешнем по отношению к генератору замыкании будет близок к нулю, а при замыкании в генераторе – к суммарному изменению заряда ёмкостей всей сети. Практически функцию интегрирования приближённо выполняет имеющийся в составе защиты фильтр низкой частоты.

Для генераторов, работающих на сборные шины, ранее применялась и сейчас находится в эксплуатации на ряде электростанций старой постройки защита, выполненная на базе специального шинного трансформатора нулевой последовательности с подмагничиванием (ТНПШ) [12]. Ток небаланса трансформатора ТНПШ таков, что возможно выполнить защиту с током срабатывания не более 5А на промышленной частоте. По принципу действия защита имеет зону нечувствительности, величина которой зависит от емкостного тока замыкания внешней сети и от настройки дугогасящих реакторов.

Однако, нельзя не отметить одно важное положительное свойство защиты с трансформатором ТНПШ – это возможность выполнения защиты от двойных замыканий на землю с высокой чувствительностью и без выдержки времени (первичный ток срабаты-

вания 100А) [12]. Это в какой-то степени компенсировало недостаток, связанный с наличием зоны нечувствительности, так как при возможном неконтролируемом замыкании в нейтрали и возникновении замыкания на фазе генератор гарантированно отключался без выдержки времени. Функцию защиты от двойных замыканий при применении упомянутых выше устройств выполняет дифференциальная защита генератора, которая имеет значительно меньшую чувствительность.

Возможна ли постановка вопроса о возврате к применению ТНПШ?

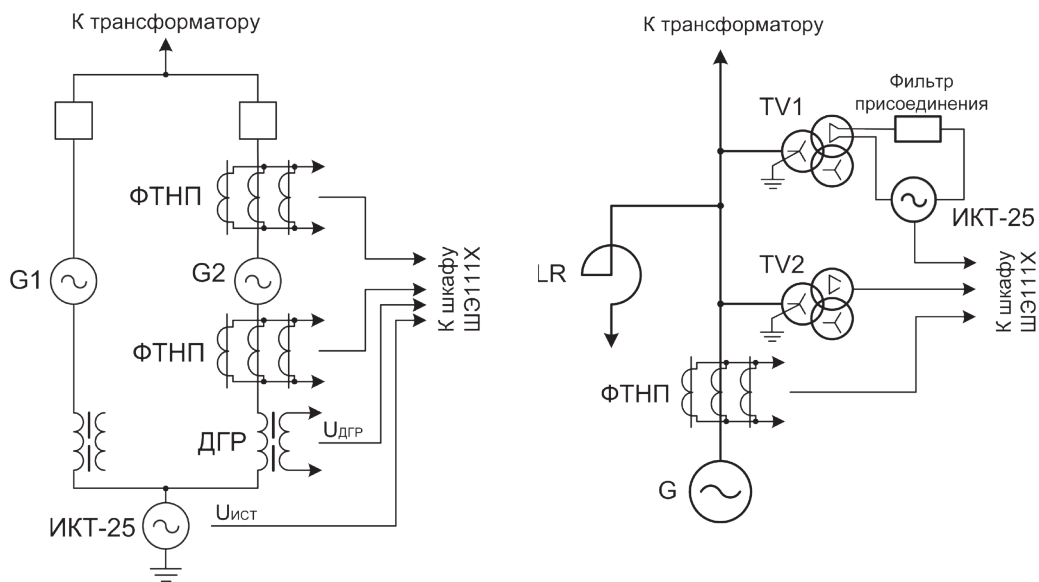
Главное препятствие для применения ТНПШ – это необходимость для его установки нарушения целостности шинпровода выводов генератора. Особенно большие трудности в осуществлении защиты с шинным трансформатором нулевой последовательности имели место при включении на шины генераторного напряжения генераторов ТВФ-63-2 и ТВФ-120-2, соответственно с номинальным напряжением 6,3 и 10,5 кВ. Для таких генераторов институтом электродинамики АН УССР в 70-е годы прошлого века был разработан трансформатор нулевой последовательности типа ТНПШ-ЗУ с номинальным током 7500 А. С помощью специальных мер по снижению тока небаланса и компенсацией собственного емкостного тока генератора во вторичных цепях удалось сохранить первичный ток срабатывания на уровне 5 А. Однако, при номинальном токе генератора изолированные шинные вставки ТНПШ сильно перегревались, поэтому этот трансформатор мог работать только при непрерывном принудительном охлаждении. С 1985 года выпуск шинных трансформаторов тока нулевой последовательности прекращен.

В настоящее время довольно часто при реконструкции электростанций и в частности при установке на ТЭЦ новых генераторов сравнительно небольшой мощности (до 30 МВт) они присоединяются к сборным шинам пучком кабелей. Для генераторов такой мощности отсутствие зоны нечувствительности не является нормативным требованием. Поэтому сохранение высокочувствительной защиты от двойных замыканий на землю здесь весьма желательно. Для выполнения защиты в таких случаях разработан специальный тороидальный трансформатор тока нулевой последовательности (ТНПУ-3), через окно которого пропускается пучок кабелей.



Юдин Святослав Михайлович

Дата рождения: 30.03.1949. В 1971 году окончил Томский политехнический институт по специальности «Кибернетика электрических систем». В 1982 году защитил кандидатскую диссертацию на тему: «Исследование способов наложения контрольного тока частотой 25 Гц для защит от замыкания на землю» в Новосибирском электротехническом институте. Доцент кафедры электроэнергетических систем Томского политехнического университета.



а) б)
Рис. 1. Схема включения элементов защиты: а) гидрогенераторов укрупненного блока; б) генератора блока с реактивной отпайкой

Диаметр окна трансформатора в зависимости от мощности генератора, а, следовательно, от числа и площади поперечного сечения параллельных кабелей составляет от 250 до 400 мм. Применение высококачественных магнитопроводов с однородными пространственными магнитными свойствами, равномерным распределением вторичной обмотки и внутренним ферромагнитным экраном обеспечивает весьма низкое значение тока небаланса. Первичный ток срабатывания защиты от однофазных замыканий устанавливается в пределах 2-3А, а от двойных замыканий 80-100А.

Наряду с рассмотренными выше схемами включения генераторов, когда возможно применение одного из нескольких возможных вариантов выполнения защиты, имеются объекты, для которых, насколько нам известно, достаточно полноценное решение обеспечивается только устройствами защиты, примененными в составе шкафов комплексов цифровых защит ООО НПП «ЭКРА».

Таковыми объектами являются:

- укрупненные блоки гидроэлектростанций, в которых генераторы работают параллельно на одну обмотку низкого напряжения повышающего трансформатора, а их нейтрали заземлены через дугогасящие реакторы;

- блоки генератор-трансформатор с питанием сети собственных нужд, а в ряде случаев и некоторой местной нагрузки через реактивные отпайки.

Защита от замыканий на землю генераторов укрупненных блоков выполняется путем наложения контрольного тока с частотой 25 Гц. Источник контрольного тока включается в объединенные со стороны нейтрали заземляемые выводы дугогасящих реакторов (рис.1, а) [13].

При устойчивых замыканиях избирательность защиты обеспечивается за счет того, что токи с частотой 25 Гц, протекающие через ФТНП на выводах генераторов и в нейтрали, имеют взаимно противоположные направления в поврежденном и неповрежденном генераторах. При дуговом перемежающемся замыкании на стадии горения дуги токи, связанные с изменением зарядов емкостей фаз сети, протекают по выводам поврежденного и неповрежденного генераторов в противоположных направлениях, а в бестоковую паузу токи стекания избыточных зарядов, накопленных за время горения дуги, протекают со стороны нейтрали у всех генераторов в одинаковом направлении. Поэтому в области низких частот, выделяемых частотными фильтрами, условие работы за-



Доронин Александр Викторович

Дата рождения: 7.02.1976 г.;
В 1998 году окончил Чувашский государственный университет по специальности «Автоматизация электроэнергетических систем». Заведующий сектором проектирования ООО НПП «ЭКРА».

щиты при перемежающихся дуговых замыканиях совпадает с условиями работы защиты при устойчивых замыканиях [14].

В схемах блоков с реактированной отпайкой выполнение защиты от замыканий на землю в обмотке статора генератора при условии сохранения требований селективности и отсутствия зоны нечувствительности сильно затрудняется.

Защита от замыканий на землю, применяемая в схемах блоков без реактированной отпайки, основанная на использовании напряжения нулевой последовательности основной частоты и третьей гармоники, в рассматриваемом случае будет срабатывать при каждом замыкании на землю в сети, питающейся через реактор. Защита, использующая высшие гармоники тока нулевой последовательности, по принципу действия обладает свойством селективности, однако в данном случае она неприменима, так как емкостный ток сети, питающейся через реактор, как правило, не более 10А, чего недостаточно для обеспечения ее чувствительности. Невозможно также и применение защиты с наложением тока через дугогасящий реактор, так как сеть, связанная с генератором, имеет изолированную нейтраль.

Задача решена путем включения источника контрольного тока с частотой 25 Гц в цепь разомкнутого треугольника трансформатора напряжения [15]. Поясняющая схема приведена на рис. 1,б.

Наложение контрольного тока через трансформатор напряжения известно и используется для устранения зоны нечувствительности защиты генераторов, работающих в блоке с трансформатором без гальванической связи с внешней сетью [2, 3].

Существенное отличие задачи выполнения защиты для генератора с отпайкой от задачи, решаемой устройствами по [2, 3] заключается в том, что в последнем случае электрические величины с частотой контрольного тока измеряются во вторичных цепях трансформатора напряжения и поэтому контрольный ток может быть малым.

В данном случае значение наложенного тока должно быть достаточным для его надежного измерения в первичных ветвях генератора с использованием фильтров тока нулевой последовательности, составленных из типовых трансформаторов тока.

Для наложения контрольного тока вы-

деляется группа из трех однофазных заземляемых трансформаторов напряжения TV1, подключаемых в каком-либо месте, удобном в конструктивном отношении, но обязательно за трансформаторами тока, с помощью которых измеряется ток нулевой последовательности в цепи генератора (Рис.1,б). Причем используются основные вторичные обмотки, поскольку это позволяет при прочих равных условиях получить больший контрольный ток. Источник включается через частотный фильтр, имеющий малое сопротивление на частоте 25 Гц и ограничивающий ток с частотой 50 Гц в цепи разомкнутого треугольника при замыкании на землю.

Основным фактором, который ограничивает максимально возможный контрольный ток, является допустимое действующее значение тока в обмотках трансформатора напряжения. Последний определяется по максимальной мощности трансформатора напряжения. При включении источника контрольного тока через основные обмотки группы из трех трансформаторов напряжения типа ЗНОЛ.09-6 первичный контрольный ток, при учете указанного выше ограничения, составляет около 0,3 А. По имеющемуся опыту применения защиты с наложением тока с частотой 25Гц такое значение тока является достаточным для выполнения защиты.

Принцип действия защиты при устойчивом замыкании очевиден: при замыкании на землю в обмотке статора генератора доля тока с частотой 25 Гц, ответвляющаяся в цепь генератора, увеличивается, а составляющая с частотой 25 Гц в напряжении нулевой последовательности уменьшается. Это позволяет выполнить защиту, реагирующую на сопротивление или проводимость в месте замыкания, формируемые как отношения упомянутых электрических величин.

В отличие от сети с компенсацией емкостного тока, где пробой изоляции следуют с частотой ниже промышленной, в сети с изолированной нейтралью наименьшая частота следования пробоев равна удвоенной промышленной частоте, когда пробой происходит на каждом полупериоде напряжения. Если дуга гаснет при одном из прохождений через ноль переходного емкостного тока, то цепь источника контрольного тока оказывается замкнутой на время, составляющее малую долю периода контрольного тока.

Таким образом, естественные низко-



Наумов Александр Михайлович

Дата рождения: 29.11.1949 г. В 1973 году окончил Чувашский государственный университет по специальности инженер-электромеханик. В 1985 году защитил кандидатскую диссертацию на тему: «Исследование и разработка быстродействующих фильтровых направленных высокочастотных защит ВЛ». Технический директор ООО НПП «ЭКРА».

частотные составляющие в токах нулевой последовательности, обусловленные действием рабочего напряжения, при перемежающихся замыканиях в сети с изолированной нейтралью отсутствуют. Однако и в этих условиях в токе замыкания появляется составляющая с частотой 25 Гц. Механизм формирования составляющей с частотой 25 Гц в токе замыкания при перемежающихся замыканиях, когда дуга горит в течение очень малого времени, заключается в следующем. Перед каждым очередным пробоем изоляции емкости фаз сети приобретают составляющую заряда, пропорциональную мгновенному значению напряжения источника контрольного тока в момент пробоя. При пробое изоляции образуется контур разряда с малой постоянной времени. Поэтому даже при очень малом времени горения дуги ёмкость сети успевает разрядиться и вся энергия, запасённая к моменту пробоя, передаётся в контур цепи замыкания. В токе замыкания при этом появляются импульсы тока большой амплитуды, промодулированные частотой 25 Гц.

При перемежающемся замыкании, характеризующемся наибольшим отличием процессов от процессов при устойчивом замыкании, а именно, когда имеет место один пробой изоляции на каждом полупериоде и дуга гаснет при первом переходе через ноль переходной высокочастотной составляющей тока, составляющая с частотой 25 Гц в токе замыкания при ёмкостном токе внешней сети 5-8А равна примерно 30% от тока при устойчивом замыкании.

В процессе развития повреждения изоляции из-за снижения пробивного напряжения может иметь место два и более пробоя за полупериод напряжения промышленной частоты. При этом составляющая тока с частотой 25 Гц в токе замыкания увеличивается и приближается к значению при устойчивом замыкании.

Литература

1. Кискачи В.М. Использование гармоник ЭДС генераторов энергоблоков при выполнении защиты от замыканий на землю // Электричество. – 1974. – №2. – С. 24-29.
2. Шнеерсон Э.М. Цифровая релейная защита. - М.: Издательство Энергоатомиздат. – 2007. – 549 с.
3. ABB. Auxiliary unit for REG216/316*4 for 100% stator and rotor earth fault protection. REX010/011. 1MRB520123-Ben // [Электронный ресурс]. March 2003. – Режим доступа: [http://www05.abb.com/global/scot/scot296.nsf/veritydisplay/505001dc3db1ac1bc125745700428f69/\\$file/1MRB520123-BEN_A_en_REX010_011_Auxiliary_unit_for_REG216_316_4_for_100__stator_and_rotor_earth-fault-](http://www05.abb.com/global/scot/scot296.nsf/veritydisplay/505001dc3db1ac1bc125745700428f69/$file/1MRB520123-BEN_A_en_REX010_011_Auxiliary_unit_for_REG216_316_4_for_100__stator_and_rotor_earth-fault-protection.pdf)

protection.pdf

4. Вайнштейн Р.А., Гетманов В.Т., Шмойлов А.В., Пушков А.П. Стопроцентная защита от замыканий на землю обмотки статора гидрогенераторов Красноярской ГЭС // Электрические станции. – 1972. – №2. С. 41-44.
5. Вайнштейн Р.А., Доронин А.В., Наумов А.М., Юдин С.М. Опыт разработки и применения защиты от замыканий на землю обмотки статора на основе наложения постоянного тока в составе комплексной цифровой защиты генераторов // Известия ВУЗов. Проблемы энергетики. – 2010. – №3-4/1 – С.135-139
6. Коберник Е.Д. Стопроцентная земляная защита статора генератора на принципе наложения постоянного тока // Электрические станции. – 1995. – № 4.
7. Кискачи В.В. Защита без зоны нечувствительности от однофазных замыканий на землю в обмотке статора генераторов, работающих на сборные шины / Учебно-методическое пособие. – М.: ИПКГосслужбы. – 2002. – 68 с.
8. Алексеев В.Г., Евдокимов С.А., Левиуш А.И. Повышение надежности заземления вала турбоагрегата и защита от замыканий на землю обмотки статора турбогенератора, работающего на сборные шины // [Электронный ресурс]. – 2008. – Режим доступа: // <http://www.ees.su/node/233> - Загл. с экрана.
9. Шуйн В.А., Сарбеева О.А., Чургрова Е.С. Токовые защиты от замыканий на землю. Исследование динамических режимов функционирования // Новости ЭлектроТехники. Информационно-справочное издание. №2(62) 2010. С. 36-40.
10. Вайнштейн Р.А., Головкин С.И., Коберник Е.Д., Юдин С.М. Защита от замыканий на землю в компенсированных сетях 6-10 кВ // Электрические станции. – 1998. – №27. С. 26-30.
11. Вайнштейн Р.А., Пашковский С.Н., Понамарев Е.А., Шестакова В.В. Условие функционирования защиты от замыканий на землю в сетях с компенсацией ёмкостного тока при дуговых перемежающихся замыканиях // Электричество. – 2009. – № 12. С. 26-32.
12. Сирота И.М. Трансформаторы и фильтры напряжения и тока нулевой последовательности. – Киев: Наук. думка, 1983. – 268 с.
13. Патент 2286637 Россия. МПК H02N 3/16. Устройство для селективной защиты от замыканий на землю в обмотке статоров генераторов, работающих в укрупненном блоке / Вайнштейн Р.А., Шестакова В.В., Юдин С.М., Наумов А.М., Райслих И.К. // Заявлено 29.07.2005. Оpub. 27.10.2006. Бюл.№30.
14. Вайнштейн Р.А. Пашковский С.Н., Понамарев Е.А., Юдин С.М. Качественные признаки для выявления поврежденного элемента в электроустановках с компенсацией ёмкостного тока при дуговых перемежающихся замыканиях // Известия ВУЗов. Проблемы энергетики. – 2008. – №7-8/1 С. 136-143.
15. Вайнштейн Р.А., Доронин А.В., Наумов А.М., Юдин С.М. Защита от замыканий на землю в обмотке статора генераторов в схеме блоков с реактированной отпайкой // Изв. вузов. Электромеханика. – 2011 – №6. с.96-101