

## О ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ИНДУКТИВНОГО ПАРАМЕТРОНА ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ЗЕМЛЯНОЙ ЗАЩИТЫ КОМПЕНСИРОВАННЫХ СЕТЕЙ

А. Х. МУСИН, А. В. ШМОЙЛОВ

(Представлена научным семинаром кафедры электрических систем и сетей)

Разработка устройств земляной защиты (сигнализации) в компенсированных сетях продолжает развиваться в двух направлениях. С одной стороны, это устройства, реагирующие на искусственно созданные величины, т. е. основанные на наложении на защищаемую сеть контрольного тока с частотой, отличающейся от промышленной частоты и имеющей характер нулевой последовательности [1, 2]. С другой стороны, — устройства, реагирующие на естественные величины.

Из последних наибольшее распространение получили в последнее время устройства, реагирующие на уровень высших гармоник в токе замыкания на землю [3].

Известно также применение устройств с использованием волновых переходных процессов. Имеется положительный опыт эксплуатации таких устройств [4].

Широкое применение тех и других устройств защиты встречает препятствия, обусловленные присущими им недостатками. Так применение устройств, реагирующих на искусственно наложенные величины, в сетях, имеющих две и более дугогасящих катушки (ДГК), территориально разнесенные в разные точки сети, требует создания сложной системы блокировки защиты, пуска и сигнализации рабочего состояния источников контрольного тока, которые установлены во всех точках сети, где имеются ДГК.

Если использованы источники переменного контрольного тока, то необходимо обеспечить фазировку источников в процессе пуска. Поэтому в настоящее время устройства, реагирующие на искусственно наложенные величины, используются в основном для радиальных сетей.

Недостатком устройств, реагирующих на уровень высших гармоник, является нестабильность характера гармоник в токе замыкания на землю. Гармонический состав тока замыкания меняется с изменением режима и схемы сети, характера нагрузки, количества находящихся в работе генераторов и трансформаторов, места расположения повреждения, замкнувшейся фазы, переходного сопротивления в месте повреждения. Нестабильность гармоник может привести к ложному действию защиты на неповрежденных линиях. Защита может отказать в действии при замыкании через переходное сопротивление, ввиду недостаточной величины уровня гармоник.

Наличие высших гармоник в нормальном режиме работы сети приводит к необходимости отстройки защиты от нормального режима.

По условию селективности защита может работать только в сетях с большим количеством присоединений.

Для устранения указанных недостатков авторами этой защиты предложено перейти к сравнению уровней гармоник в поврежденном и здоровых фидерах, отношение которых определяется параметрами сети и отдельных фидеров. Однако построение простого и надежного компаратора на большое количество входов задача далеко не простая. По-

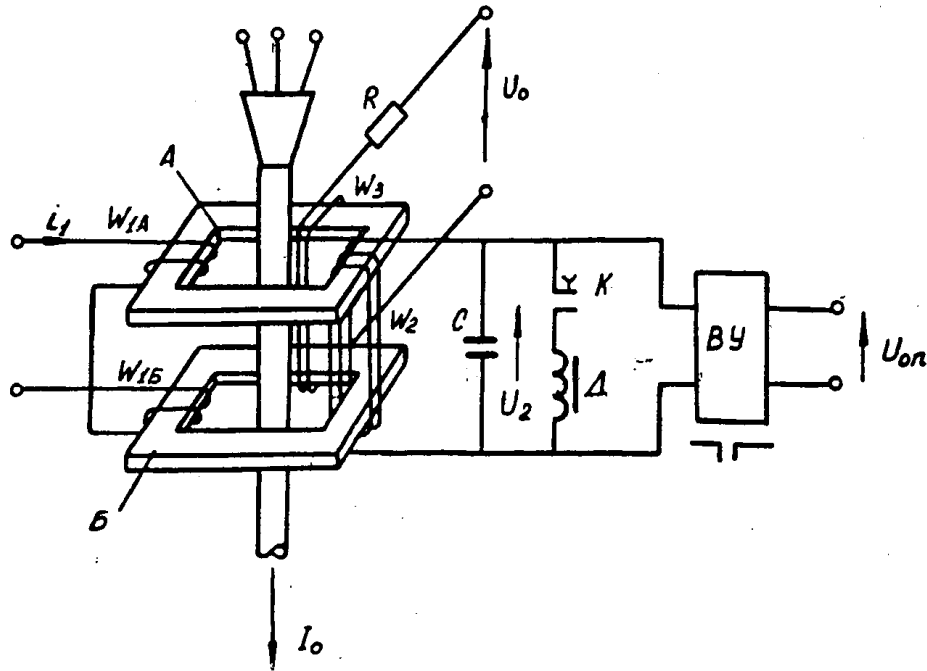


Рис. 1. А и Б — два одинаковых замкнутых магнитопровода, охватывающих три фазы защищаемой установки (кабель);  $w_{1A}$ ,  $w_{1B}$  — обмотки подмагничивания с одинаковым количеством витков;  $i_1$  — ток подмагничивания;  $w_2$  — вторичная обмотка;  $w_3$  — обмотка дополнительного сигнала;  $R$  — добавочное активное сопротивление;  $K$  — управляемый контакт;  $C$  — конденсатор, величина которого выбирается такой, чтобы обеспечить возникновение параметрического резонанса частоты 50 Гц во вторичной цепи при подмагничивании магнитопроводов током  $i_1$  и разомкнутом контакте  $K$ ;  $D$  — дроссель, образующий с конденсатором  $C$  фильтр-пробку на частоте 50 Гц; ВУ — выходное устройство, представляющее собой орган фазовой селекции;  $I_0$  — ток замыкания на землю;  $U_2$  — вторичное напряжение, возникающее при параметрическом резонансе;  $U_{оп}$  — опорное напряжение, в качестве которого используется напряжение нулевой последовательности.

этому устройство относительного замера уровня высших гармоник внедрено в виде визуальной сигнализации уровня высших гармоник во всех фидерах сети при замыкании на землю.

Наконец, указанная защита может применяться только в радиальных сетях. Но даже для радиальных сетей в связи с усиленными исследованиями и разработками в настоящее время методов и средств компенсации высших гармоник в сетях могут потребоваться очень чувствительные измерительные органы.

Защита, реагирующая на волновой переходный процесс, может применяться как для радиальных, так и кольцевых сетей. Недостатком этой защиты является отсутствие повторности действия.

Наиболее стабильный характер при замыкании на землю имеет активная составляющая тока замыкания, так как одна ее компонента, обу-

словленная потерями в ДГК, практически неизменна. Это обстоятельство в сочетании с высокочувствительным устройством к направлению активной составляющей позволяет создать защиту, которая устраняет недостатки существующих. Индуктивный параметрон позволяет создать такое устройство.

Применение параметрона иллюстрируется рис. 1.

Работа такого устройства основана на следующем. Фаза колебаний  $U_2$ , возникающих в параметрически возбуждаемом колебательном контуре, образованном емкостью  $C$  и индуктивностью вторичной обмотки  $W_2$ , принимает какое-либо одно из двух возможных взаимно противоположных значений [5]. Эта фаза может быть predeterminedена, если до возникновения параметрических колебаний ввести в колебательный контур ток (называемый далее сигналом) небольшой величины с некоторой «управляющей» фазой. Значение управляющей фазы зависит от величины относительной расстройки параметрического колебательного контура и может быть определена расчетом [6]. Поскольку колебательный контур является параметрическим, наличие в контуре сигнала, ортогонального сигналу с управляющей фазой, не оказывает влияния на процесс управления фазой параметрических колебаний, т. е. параметрон обладает избирательностью к ортогональным управляющим сигналам. В устройстве рис. 1 ортогональными управляющими сигналами являются активная и реактивная составляющие тока замыкания на землю  $I_0$ . Таким образом, если настроить систему так, чтобы фаза активной составляющей тока замыкания на землю (активный сигнал) совпала с управляющей фазой, то фаза возникающих параметрических колебаний  $U_2$  будет predeterminedеняться фазой активной составляющей. Реактивная составляющая тока замыкания на землю (реактивный сигнал) влияния на процесс управления фазой оказывать не будет.

Известно, что активные составляющие тока замыкания на землю поврежденных и неповрежденных фидеров имеют взаимно противоположные фазы (для радиальных линий). Установив параметроны на всех фидерах, получим взаимно противоположные фазы вторичных напряжений поврежденных и неповрежденных линий.

Сравнивая фазу напряжений с фазой некоторого опорного напряжения, например, напряжения нулевой последовательности, можно выявить поврежденный фидер.

Следует особо отметить, что величина вторичного напряжения не зависит от величины сигнала, т. е. не зависит от величины тока замыкания на землю. Это обеспечивает гарантированный коэффициент надежности срабатывания выходного реле независимо от величины тока замыкания на землю. Величина вторичного напряжения  $U_2$  может быть обеспечена любой наперед заданной путем регулировки конструктивных параметров параметрона (сечение магнитопровода, количество витков обмоток и др.).

Избирательность параметрона к ортогональным управляющим сигналам не безгранична. С целью увеличения избирательности целесообразно подмагничивать параметрон однополярными импульсами тока с частотой 100 Гц и скважностью 2. Такая частота подмагничивания (отличная от частоты параметрического резонанса 50 Гц) позволяет исключить влияние небаланса, обусловленного неидентичностью сердечников А и В, на избирательность параметрона. Импульсы подмагничивания могут быть сформированы от источника постоянного тока при помощи тиристора. Управляющие тиристором импульсы целесообразно формировать из напряжения нулевой последовательности. Источник питания является общим для всех параметронов.

Настройка системы таким образом, чтобы фаза параметрических колебаний предопределялась фазой активной составляющей тока замыкания на землю, производится регулировкой фазы тока подмагничивания. Последнее осуществляется регулировкой фазы импульсов, управляющих тиристором. В отсутствие расстройки колебательного контура передний фронт тока подмагничивания должен совпадать с моментом максимума напряжения нулевой последовательности.

Для надежного управления фазой возникающих параметрических колебаний величина управляющего сигнала должна быть не менее некоторого минимального значения. Для исследованного нами образца эта величина составляет  $0,01 \text{ A}$  (см. приложение). Активная составляющая тока замыкания на землю некоторых непротяженных неповрежденных фидеров может оказаться меньше этой величины. Тогда управляющий сигнал увеличивается путем введения синфазного дополнительного сигнала в обмотку  $W_3$  (рис. 1). Дополнительный сигнал протекает под действием напряжения нулевой последовательности.

Для достижения синфазности сигналов необходимо, чтобы сопротивление цепи дополнительного сигнала было активным, что достигается включением в эту цепь активного сопротивления  $R$  (рис. 1) такой величины, чтобы индуктивное сопротивление цепи было много меньше  $R$ . В случае необходимости индуктивное сопротивление цепи может быть скомпенсировано включением последовательно с ним емкостного сопротивления.

У поврежденного фидера дополнительный сигнал оказывается в противофазе с его активным сигналом. С учетом этого, величина дополнительного сигнала выбирается такой, чтобы разность между активным сигналом поврежденного фидера и дополнительным сигналом не оказалась меньше минимально допустимой величины управляющего сигнала. Для существующих сетей это требование может быть выполнено всегда (при минимально допустимой величине управляющего сигнала  $0,01 \text{ A}$ ).

Ток замыкания на землю содержит в своем составе высшие гармоники, которые могут ухудшать в зависимости от их удельного веса избирательность параметрона к ортогональным сигналам основной частоты. Для снижения такого влияния в схему включен дроссель  $D$  (рис. 1), образующий с конденсатором  $C$  фильтр-пробку на частоте  $50 \text{ Гц}$ . Фильтр-пробка вынуждает протекать ток сигнала основной гармоники только по ветви намагничивания параметрона, увеличивая тем самым содержание основной гармоники в управляющем сигнале. Параметрические колебания возникают после размыкания контакта  $K$ . Выдержка времени на размыкание контакта  $K$  служит для исключения влияния остаточной намагниченности сердечников на избирательность параметрона.

Снижению влияния высших гармоник в сигнале на избирательность параметрона к ортогональным сигналам, а также увеличению избирательности параметрона при отсутствии высших гармоник способствует включение во вторичную цепь активной нагрузки.

В качестве выходного устройства, осуществляющего фазовую селекцию, может быть использован усилитель среднего значения тока с фазовым управлением [7], нагрузкой которого является реле типа РЭС-9.

Положенный в основу действия предлагаемой защиты принцип фиксирования направления активной составляющей в токе замыкания на землю позволяет осуществить защиту не только радиальных, но и кольцевых кабельных сетей.

Для последнего необходимо устанавливать индуктивные параметры на обоих концах каждого защищаемого участка сети и обеспечить обмен информацией между ними.

Результаты экспериментальной проверки индуктивного параметрона как реагирующего органа защиты от замыканий на землю компенсированных сетей приведены в приложении.

## Приложение

В лабораторных условиях испытан индуктивный параметрон (рис. 1). Магнитопроводы А и Б выполнены из трансформаторной стали Э41 типоразмера Г-25. Толщина набора каждого магнитопровода 8 мм. Параметры обмоток  $w_{1A} = w_{1B} = 110$  витков, ПЭЛ  $\varnothing 0,8$ ,  $w_2 = 1900$  витков, ПЭЛ  $\varnothing 0,41$ . Окно в чистоте  $75 \times 75$  мм. Емкость  $C = 2$  мкФ (МБГЧ-1,  $2$  мкФ  $\pm 10\%$ ,  $U_n = 250$  В).

Источник питания — выпрямитель по схеме Ларионова, подключенный через трехфазный трансформатор к сети 0,4 кВ. Формирование импульсов тока подмагничивания с частотой 100 Гц и скважностью 2 осуществляется при помощи тиристора, для управления которым принята схема Джонса [8]. Управляющие тиристором импульсы формируются из переменного напряжения 50 Гц, моделирующего напряжение нулевой последовательности. Среднее значение тока подмагничивания 1 А.

Напряжение  $U_2$  возникающих параметрических колебаний 120 В.

Сигнал  $I_0$  содержит в себе активную и реактивную составляющие. Фаза параметрических колебаний надежно предопределяется фазой активного сигнала при превышении реактивного сигнала над активным до 30 раз и величине активного сигнала не менее 0,01 А.

Влияние высших гармоник в сигнале на избирательность параметрона начинает сказываться с величин: третья гармоника — при превышении активного сигнала в 12 раз, пятая гармоника — в 20 раз и т. д.

Изменение величины и направления реактивного сигнала, имитирующего режим компенсации сети, влияния на работу устройства не оказывает.

В качестве выходного устройства фазовой селекции применен усилитель среднего значения тока с фазовым управлением [7], нагруженный на реле типа РЭС-9.

## Выводы

1. Показана возможность применения индуктивного параметрона как реагирующего органа защиты от устойчивых замыканий на землю сетей с компенсированной нейтралью.
2. Выходное напряжение параметрона не зависит от величины тока замыкания на землю, т. е. защита является равночувствительной. Это позволяет просто выполнить логическую часть защиты.
3. Работа устройства не зависит от режима компенсации сети.
4. По принципу работы устройство обладает повторностью действия.
5. Устройство может быть применено для защиты как радиальных, так и кольцевых сетей.
6. Испытанное устройство надежно работает при величине активной составляющей тока замыкания на землю 0,01 А и превышении реактивной составляющей тока замыкания на землю над активной не более чем в 30 раз.

7. Влияние высших гармоник в токе замыкания на землю на работу испытанного устройства проявляется при величинах: третья гармоника — при превышении активной составляющей тока замыкания в 12 раз, пятая — в 20 раз и т. д.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. И. М. Сирота. Сигнализация замыканий на землю в компенсированной сети, основанная на использовании тока второй гармоники. М., ГЭИ, 1962.
  2. Р. А. Вайнштейн. Применение низкочастотных параметрических систем для защиты от замыканий на землю компенсирующих сетей. Диссертация. Томск, 1965.
  3. В. М. Кискачи и др. Устройства сигнализации замыканий на землю. «Электрические станции», 1972, № 4.
  4. Г. В. Соколова. Разработка защиты от замыканий на землю с использованием волновых переходных процессов. В сб. «Вопросы оптимального развития энергосистем и новые технические средства защиты». М., «Наука», 1970.
  5. Параметроны. Сб. статей, ИЛ, 1962.
  6. А. Е. Каплан и др. Параметрические генераторы и делители частоты. «Советское радио», 1966.
  7. В. Т. Дорогунцев и др. Элементы устройств автоматики энергосистем. «Энергия», 1970.
  8. Тиристоры (технический справочник). Перевод с англ. «Энергия», 1971.
-