

**ПРИМЕНЕНИЕ НИЗКОЧАСТОТНОГО ИНДУКТИВНОГО ПАРА-  
МЕТРОНА БЕЗ ПОДМАГНИЧИВАНИЯ ПОСТОЯННЫМ ТОКОМ  
В ЗАЩИТАХ ОТ ЗАМЫКАНИЯ НА ЗЕМЛЮ В СЕТЯХ  
С КОМПЕНСИРОВАННОЙ И ИЗОЛИРОВАННОЙ НЕЙТРАЛЯМИ\***

*Р. А. ВАЙНШТЕЙН, А. В. ШМОЙЛОВ*

*Рекомендовано научным семинаром кафедры эл. станций*

В настоящее время вопрос выполнения удовлетворительной защиты от замыканий на землю в сетях с компенсированной нейтралью по-прежнему остается актуальным [1].

Способ осуществления защиты, использующий направление активной составляющей тока замыкания, встречает следующие затруднения. Использование ваттметровых индукционных реле в этом случае ограничено большими мощностями потребления как цепей тока, так и цепей напряжения; низкими кратностями вращающегося момента при малых активных токах. Реагирующие органы, выполненные на полупроводниковых приборах, обладают высокой чувствительностью, но имеют малые выходные мощности. Поэтому, если требуется осуществить контактный выход, то необходимо использовать высокочувствительные поляризованные или магнитоэлектрические реле.

Защита от замыканий на землю в сетях с изолированной нейтралью, использующая распределение тока нулевой последовательности, осуществляется просто и обладает в большинстве практических случаев необходимой селективностью и чувствительностью. Однако, если ток повреждения какой-либо линии намного превышает токи остальных линий, то удовлетворительная защита на этой линии получается только при дополнении ее органом направления энергии.

Использование органов направления энергии или применение защит на полупроводниковых приборах встречает те же трудности, что и в защите компенсированных сетей. Обычно направленная защита таких сетей осуществляется с помощью прибора ПНДФ, который не имеет контактного выхода.

В этой статье предлагается использовать в качестве реагирующего органа защит от замыканий на землю низкочастотный индуктивный параметрон без подмагничивания постоянным током.

На рис. 1 приведено распределение активной составляющей тока нулевой последовательности при замыкании на землю в сети с ком-

\* Работа выполнена под руководством профессора И. Д. Кутявина.

ценсированной нейтралью (токи  $I_{a1}$ ,  $I_{a2}$ ). На рис. 2 приведено распределение полного тока нулевой последовательности при замыкании на землю в сети с изолированной нейтралью (токи  $I_1$ ,  $I_2$ ). Распределение этих токов, как видно из рисунков, таково, что позволяет по их направлению определить поврежденную линию.

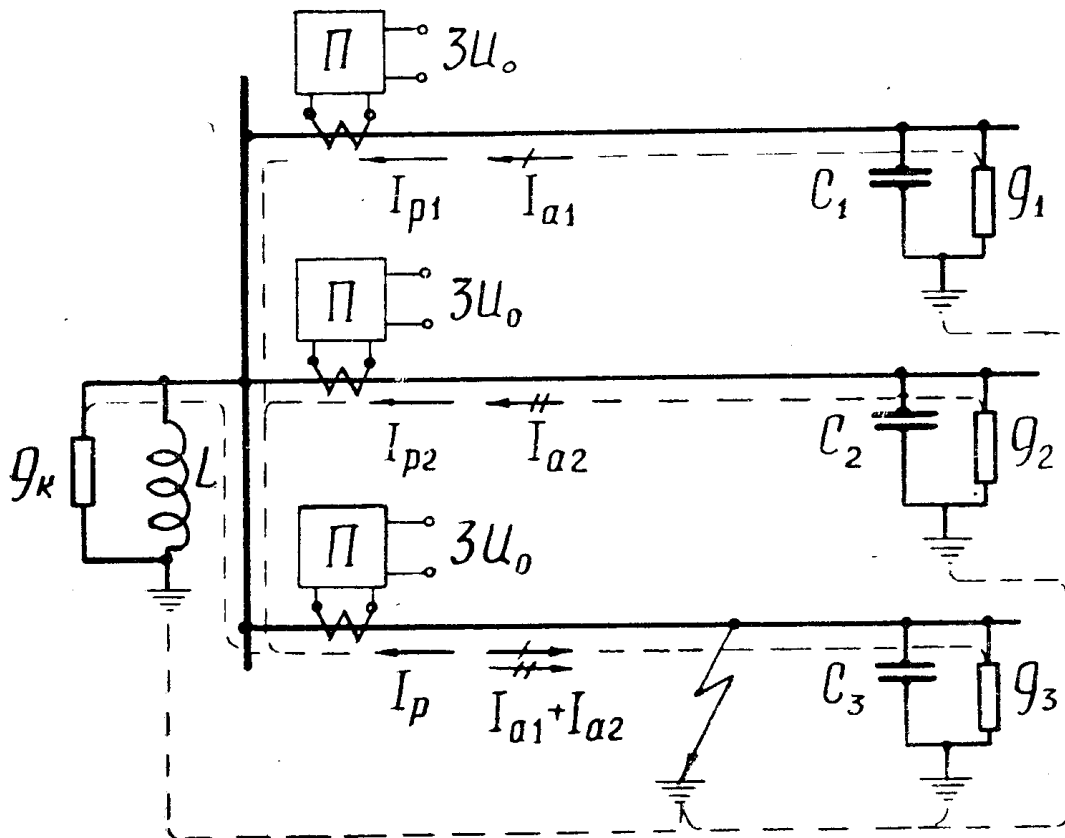


Рис. 1.

На каждой линии установлен параметрон П, который должен фиксировать или направление активной составляющей или направление полного тока нулевой последовательности при повреждении.

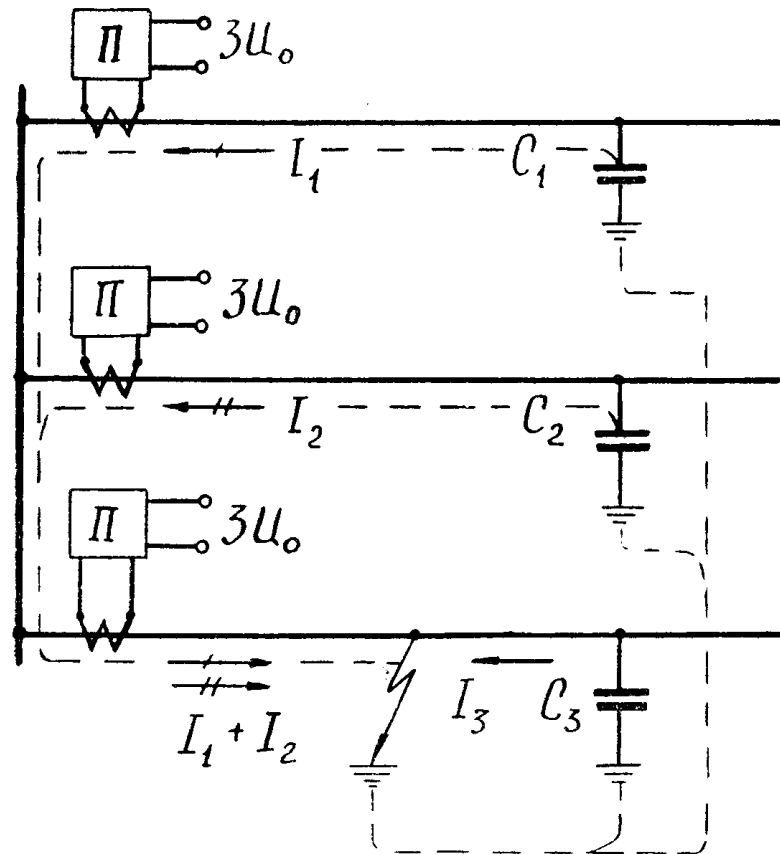
На рис. 3 изображена принципиальная схема параметрона как реагирующего органа защиты.

На сердечниках параметрона имеется по три обмотки:

$W_B$  — обмотки возбуждения,  $W_K$  — контурные обмотки,  $W_C$  — сигнальные обмотки. На сердечники также могут наматываться обмотки начального сигнала  $W_H$  (на рис. 3 изображены пунктиром).

Обмотки  $W_K$ ,  $W_C$ ,  $W_H$  соединяются между собой согласно, а по отношению к обмоткам  $W_B$  встречно. Обмотки  $W_K$  вместе с конденсатором  $C$  образуют колебательный контур с резонансной частотой, близкой к 50 гц.

• Обмотки  $W_C$  подключаются к фильтру токов нулевой последовательности. Обмотки  $W_B$  питаются от фильтра напряжений нулевой последовательности.



Р и с. 2.

Согласно [2, 3] фаза колебаний в параметрически возбуждаемом контуре может иметь два взаимно противоположных значения. Если по обмоткам  $W_c$  пропустить небольшой ток, фаза которого такова, что фаза наведенного сигнала в обмотках  $W_k$  будет совпадать с одним из противоположных значений фазы нарастающей ортогональной составляющей случайных начальных колебаний в контуре, то фаза параметрических колебаний будет predetermined.

По обмоткам  $W_c$  пропускается ток нулевой последовательности. Фаза колебаний параметрона должна быть predetermined либо активной составляющей этого тока, если осуществляется защита компенсированной сети, либо полным током нулевой последовательности, если осуществляется защита сети с изолированной нейтралью.

Следовательно, в случае защиты компенсированной сети фаза тока нулевой последовательности должна быть такой, чтобы фаза сигнала в контурной обмотке от активной составляющей тока совпала с одним из противоположных значений фазы нарастающей ортогональной составляющей флукуационных колебаний. Фаза сигнала от реактивной составляющей тока в этом случае будет совпадать с затухающей ортогональной составляющей и, следовательно, при подаче возбуждения на параметрон сигнал от реактивной составляющей будет затухать.

В случае защиты сети с изолированной нейтралью фаза сигнала от полного тока нулевой последовательности должна совпадать с од-

ним из противоположных значений фазы нарастающей ортогональной составляющей флукуационных колебаний в контуре.

Так как по обмоткам  $W_C$  пропускается ток нулевой последовательности, фаза которого определяется параметрами сети, то синфазность сигнала и колебаний в параметроне в таком случае должна быть обеспечена соответствующим выбором фазы тока возбуждения. Этот выбор осуществляется соответствующей настройкой сопротивления  $Z_B$  (см. рис. 3) или каким-либо другим способом.

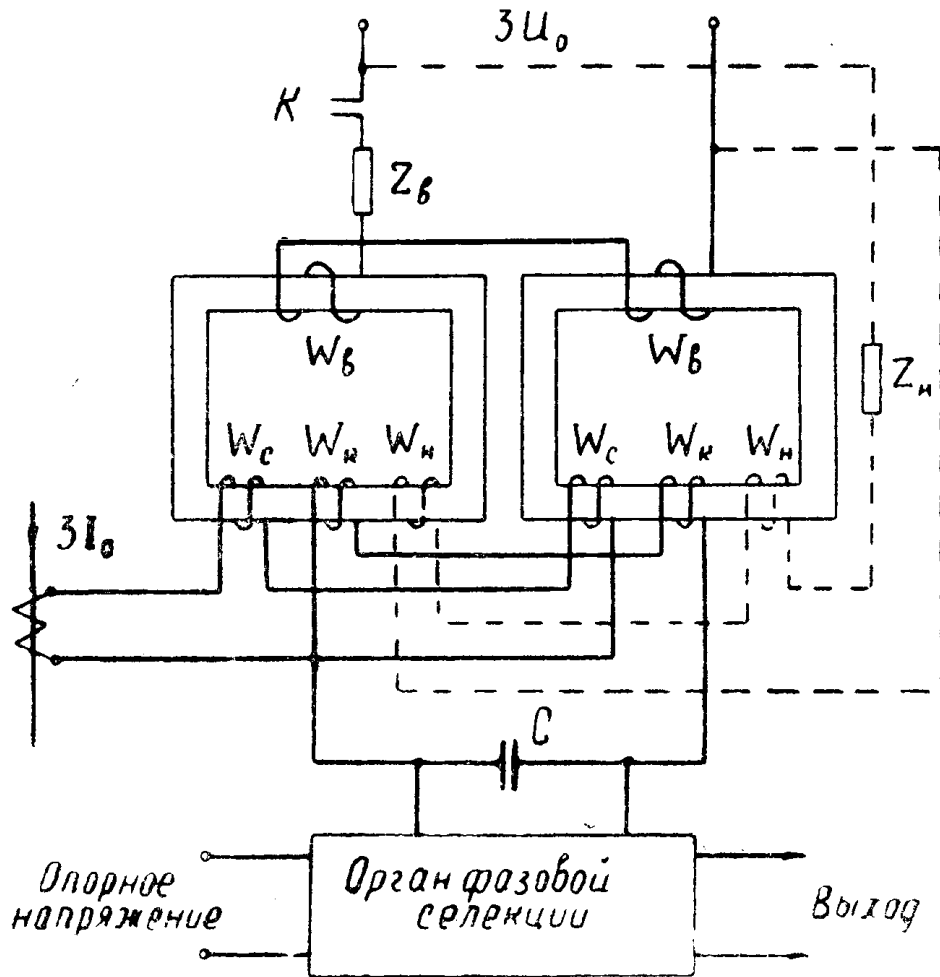


Рис. 3.

При подаче возбуждения параметроны на здоровых линиях должны иметь фазу колебаний, противоположную по сравнению с фазой колебаний параметрона, установленного на поврежденной линии, так как направления токов нулевой последовательности на здоровых и поврежденной линиях противоположны.

Как известно, в сетях с изолированной или компенсированной нейтралью при замыкании на землю протекают высокочастотные переходные токи, величина которых во много раз превышает установившиеся. Они могут предопределить фазу колебаний и вызвать ложную работу защиты. Поэтому обмотки возбуждения всех параметронов

подключаются автоматически к фильтру напряжения нулевой последовательности контактом  $K$  через выдержку времени, заведомо большую времени затухания переходного процесса. В связи с этим параметрические колебания начнут нарастать после переходного процесса, и фаза их будет определена установившимся током.

Логическая часть защиты должна содержать устройство фазовой селекции, отличающее взаимопротивоположные фазы параметрических колебаний. Это устройство может быть выполнено относительно просто, так как амплитуда колебаний в параметроне всегда постоянна, независимо от величины сигнала, определяемого током нулевой последовательности. Благодаря этому фиксация одного из возможных значений фазы может быть осуществлена путем сравнения напряжения на колебательном контуре с каким-либо опорным напряжением.

На описании устройства фазовой селекции здесь не останавливаемся.

Активные составляющие токов нулевой последовательности отдельных линий всегда очень малы, полные токи нулевой последовательности отдельных линий в некоторых случаях также могут оказаться весьма малыми, так что величины этих токов могут оказаться недостаточными для надежного управления фазой колебаний в параметронах, установленных на здоровых линиях.

Для повышения надежности действия защиты во всех параметронах создается искусственный начальный сигнал токи  $I_{p1}$ ,  $I_{p2}$ ,  $I_p$  см. рис. 1), который совпадает по фазе с сигналом от активного или полного тока нулевой последовательности здоровых линий. Величина начального сигнала должна быть выбрана такой, чтобы в параметронах даже при отсутствии естественного сигнала устанавливались колебания с необходимой фазой. Однако искусственный сигнал должен быть меньше сигнала, обусловленного суммарным током нулевой последовательности сети (активным или полным), протекающим по поврежденной линии.

При соблюдении указанных условий фазы колебаний параметронов на здоровых и поврежденной линиях будут однозначно predeterminedены, причем в сети с компенсированной нейтралью активным током, а в сети с изолированной нейтралью — полным током нулевой последовательности.

Начальный сигнал может быть создан включением обмотки  $W_{II}$  к фильтру напряжения нулевой последовательности через сопротивление  $Z_{II}$ . Последнее выбирается таким, чтобы обеспечить необходимые величину и фазу начального сигнала.

Если в конструкции параметрона не предусматривается обмотка начального сигнала, то начальный сигнал может быть получен путем подключения обмоток  $W_c$  или  $W_k$  к фильтру напряжения нулевой последовательности через сопротивление  $Z$ , угол которого должен быть таким, чтобы обеспечить необходимую фазу начального сигнала.

На кафедре Электрических станций Томского политехнического института было произведено испытание опытного образца низкочастотного индуктивного параметрона без подмагничивания.

Сигнальные обмотки параметрона были подключены к трансформатору тока нулевой последовательности типа Т. 3.

К обмоткам начального сигнала было подведено небольшое напряжение, сигнал от которого совпадал по фазе с сигналом от тока трансформатора Т. 3. По первичной обмотке трансформатора пропусклся ток, реактивная составляющая которого равнялась  $14a$ .

К обмоткам возбуждения параметрона с помощью фазовращающего устройства подводился ток с такой фазой, чтобы обеспечить оптимальное нарастание сигнала от активной составляющей тока и затухание сигнала от реактивной составляющей.

При активной составляющей тока, равной 0, параметрон возбуждался с фазой, определяемой начальным сигналом.

При той же реактивной составляющей тока (14а) и активной составляющей, равной 3а, фаза сигнала, от которой противоположна начальному сигналу, параметрон возбуждался в противоположной фазе. Изменение направления реактивной составляющей на  $180^\circ$ , что соответствует переходу от режима перекомпенсации сети с компенсированной нейтралью к режиму недокомпенсации, не оказывает влияния на захват фазы колебаний параметрона активной составляющей тока.

Реактивный ток нулевой последовательности одной линии редко превышает величину 10 — 12а. Следовательно, испытанный параметрон может быть, например, использован для создания реагирующих органов защиты компенсированной кабельной сети с активным током замыкания не менее 3а.

Было проведено также следующее испытание с вышеописанным опытным образцом параметрона.

К обмоткам возбуждения подводился ток, фаза которого была такой, чтобы предопределить фазу колебаний параметрона сигналом от полного тока, который подводился к сигнальным обмоткам  $W_c$  от трансформатора Т. З. Первичный ток трансформатора Т. З., достаточный для надежного управления фазой колебаний параметрона, оказался равным 2,5а.

На параметронах с такими характеристиками может быть выполнена защита радиальной кабельной сети с изолированной нейтралью, если разности между суммарным током нулевой последовательности и токами нулевой последовательности каждой из линий превышают величину 2,5а.

Во время испытания к параметрону была подключена внешняя активная нагрузка, равная 0,3 вт. Критическая нагрузка, при которой параметрон уже не возбуждается, превышает 1 вт.

Мощность порядка 0,3 вт достаточна, чтобы в качестве выходных устройств защиты использовать грубые реле. Потребляемая мощность цепи возбуждения параметрона не превышает 1,5 — 2 ва. Испытанный параметрон изготовлен на двух сердечниках из трансформаторной стали Э-41 (штамп Ш-12 набор 11 мм). Параметрон имеет простую конструкцию, изготавливается из широкоиспользуемых материалов и легко регулируется.

## ВЫВОДЫ

1. Показана возможность применения низкочастотного индуктивного параметрона без подмагничивания постоянным током как реагирующего органа в защитах от замыкания на землю в компенсированных сетях и сетях с изолированной нейтралью.

2. Экспериментальная проверка предложенного устройства показала, что защита с параметроном является селективной и обладает чувствительностью не меньшей, чем чувствительность защит, предложенных в [1].

3. Выходное напряжение параметрона не зависит от тока нулевой последовательности, т. е. защита является равночувствительной.

Это также позволяет просто выполнить логическую часть защиты.

4. Выходная мощность параметронов при малых габаритах позволяет использовать в качестве выходных органов защиты малочувствительные реле.

5. Потребляемая мощность испытанного параметрона не превышает 1,5 *вт*.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Сигнализация замыканий на землю в компенсированных сетях. Сборник статей под редакцией В. И. Иоэльсона, ГЭИ М-Л, 1962.
2. Параметроны. Сборник статей. Перевод с японского и английского И. Л. М. 1962.
3. В а й н ш т е й н Р. А., Ш м о й л о в А. В. Низкочастотный индуктивный параметрон без подмагничивания постоянным током. Статья в этом сборнике.