

Министерство высшего и среднего специального  
образования БССР

БЕЛОРУССКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ  
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

На правах рукописи

А.А.Тишечкин

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ И ПОВЫШЕНИЕ  
ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ ЗАЩИТ БЛОКОВ  
ГЕНЕРАТОР-ТРАНСФОРМАТОР

Специальность 05.198 - Автоматизация  
производственных процессов (по отраслям  
"Энергетика")

А в т о р е ф е р а т  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Минск - 1971

Работа выполнена на кафедре "Электрические станции" Белорусского ордена Трудового Красного Знамени политехнического института.

Научный руководитель -

кандидат технических наук, доцент  
В.И.Новаш

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор  
В.Е.Поляков,

кандидат технических наук, старший  
научный сотрудник

В.С.Каханович.

Ведущее предприятие -

Главное производственное управление  
электрификации и энергетики БССР.

Автореферат разослан "21" мая 1971 г.

Защита диссертации состоится "25" июня 1971 г.

на заседании Совета по энергетическим специальностям Белорусского ордена Трудового Красного Знамени политехнического института.

Заверенный и скрепленный печатью отзыв на автореферат в 2-х экземплярах просим направлять по адресу: г.Минск, 27, Ленинский проспект, 65, Белорусский политехнический институт, ученому секретарю Совета.

О дне защиты будет объявлено в газете "Вечерний Минск".

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке БПИ.

Ученый секретарь Совета -  
кандидат технических наук

Л.Л.Червинский

Директивами XXIV съезда КПСС предусматривается опережающий рост электроэнергетики. Ее развитие идет в основном по пути строительства мощных конденсационных тепловых электрических станций с установкой блоков 200, 300, 500, 800, а в дальнейшем и 1200 тыс. квт.

С ростом единичных мощностей энергетических блоков возрастают требования к их релейной защите в части чувствительности, быстродействия и надежности.

Одной из основных быстродействующих защит блоков генератор-трансформатор является дифференциальная защита. Токи срабатывания эксплуатируемых защит, как правило, больше номинального и, несмотря на это, процент неправильных действий этих чрезвычайно ответственных устройств остается достаточно большим. Дифференциальные защиты блоков не удовлетворяют возросшим требованиям, в связи с чем ставится задача их дальнейшего совершенствования.

Повышение чувствительности и быстродействия дифференциальных защит многократно увеличивает зависимость их поведения от переходных процессов в трансформаторах тока, в первичных и во вторичных цепях защиты. Интенсивность и характер протекания переходных процессов, определяющих условия работы дифференциальных защит блоков, исследованы в настоящее время недостаточно, что находит подтверждение в методах расчета уставок этих защит.

Данная работа посвящена исследованию переходных процессов в блоке генератор-трансформатор и элементах продольной дифференциальной защиты с целью выявления возможностей повышения ее чувствительности, быстродействия и надежности работы при переходных процессах.

Реферируемая работа состоит из четырех глав и приложений.

В первой главе на основании совокупности отечественных и зарубежных литературных материалов приводится краткий обзор дифференциальных защит блоков и условий их работы, определяющих чувствительность и быстродействие.

Советскими учеными Г.И.Атабековым, А.Д.Дроздовым, И.Д.Кутявиным, В.Л.Фабрикантом, И.М.Сиротой, М.И.Царевым и др. сделан большой теоретический и практический вклад в развитие дифференциальных защит элементов энергосистем.

Отечественные дифференциальные защиты выполняются преимущественно с реле РНТ и ДЭТ. Ток срабатывания защит с реле РНТ выбирается из условий отстройки от максимальных расчетных значений тока небаланса при внешних коротких замыканиях (к.з.) и бросков тока намагничивания (б.т.н.) при выключении силового трансформатора блока на холостой ход. Преобладающим условием, как правило, является отстройка от б.т.н. Минимальный ток срабатывания получается относительно большим (не менее  $I = 1,3 I_N$ ) и необходимая чувствительность защиты в некоторых минимальных режимах работы блока не обеспечивается.

Имеется мнение, что реле с тормозной характеристикой (ДЭТ) не позволяет повысить чувствительность дифференциальных защит блоков (без выключателей в цепи генератора и в отпайке к трансформатору собственных нужд), так как преобладающим условием при выборе тока срабатывания является отстройка от б.т.н. Это не соответствует действительным условиям.

В литературе отмечается, что б.т.н. в блоках генератор-трансформатор возможны только при восстановлении напряжения после отключения внешних к.з. и по величине меньше, чем при включении силового трансформатора на холостой ход. Однако качественная и количественная стороны данного переходного процесса исследованы недостаточно, что затрудняет выбор оптимального варианта защиты, а также расчет, проектирование и оценку поведения дифференциальных защит повышенной чувствительности.

В настоящее время оценка поведения и практические рекомендации по повышению чувствительности, надежности и быстродействия дифференциальных защит производятся на основе анализа однофазной схемы защиты. Результаты таких исследований с достаточной точностью могут быть распространены на дифференциальные защиты трехфазных гене-

раторов, двигателей, шин, линий электропередачи и силовых трансформаторов с одинаковыми схемами соединений обмоток. В дифференциальных защитах мощных трансформаторов и блоков генератор-трансформатор, имеющих обычно схему соединения обмоток  $Y/\Delta$ , исследование поведения этих защит не может быть выполнено на основе однофазной схемы из-за различных схем соединения вторичных обмоток ТТ и различных условий работы ТТ в переходном режиме.

Для решения поставленных задач не представляется возможным использовать известные аналитические методы расчета ввиду сложности математического описания блока и его дифференциальной защиты. Натурные испытания, исследования на стандартном оборудовании в лабораторных условиях, а также на физических моделях очень дороги и не всегда возможны, требуют больших затрат времени и инженерного труда. Наиболее быстро и с наименьшей затратой материальных средств и инженерного труда подобные исследования могут быть выполнены средствами вычислительной техники. Представляется целесообразным разработать достаточно полные математические модели блока генератор-трансформатор и его дифференциальной защиты, что позволит комплексно исследовать поведение защиты в различных переходных режимах и оптимизировать ее параметры.

Во второй главе проанализированы б.т.н. при восстановлении напряжения после отключения внешних к.з. в силовых трансформаторах и блоках генератор-трансформатор. Для выявления амплитудных значений б.т.н. их исследование выполнялось для максимальных значений рабочих напряжений при отключении внешних к.з., возникших непосредственно на сборных шинах высшего напряжения блока ( $S_{\Sigma}=180$  мва, 242/18 кв,  $U_{\kappa}=12\%$ ), работающего в режиме холостого хода. Сопротивление системы принималось равным 3% - 6%.

Исследования выполнялись путем реализации математического описания генератора и силового трансформатора блока с помощью средств аналоговой и цифровой вычислительной техники.

Разработанное математическое описание трехфазного трехстержневого трансформатора блока пригодно для исследования переходных процессов при всех видах к.з., а также при восстановлении напряжения после отключения внешних к.з. с учетом несимметрии магнитной системы, свободных составляющих в токах к.з. в момент отклю-

чения и неодновременности их разрыва в разных фазах.

Математическое описание блока генератор-трансформатор при упрощенном представлении генератора неизменным сопротивлением в э.д.с. на этом сопротивлении было реализовано на двух нелинейных моделирующих установках типа МНБ-1 с расширяемыми возможностями использования релейных и электромеханических блоков. Для получения трехфазных синусоидальных напряжений, сдвинутых по фазе относительно друг друга на  $120^\circ$ , использовалась специальная схема, состоящая из одного низкочастотного генератора периодических колебаний и специальной приставки, выполненной на базе пульта наладки решающих усилителей. Такая схема позволяет легко производить изменение начальной фазы трехфазной системы синусоидальных напряжений и сравнительно просто устраивать постоянные составляющие в этих напряжениях.

Согласно разработанной структурной схеме математической модели исходные уравнения решаются в следующей последовательности: первоначально система уравнений решается при начальных условиях, соответствующих предшествующему режиму холостого хода или нормальной нагрузке. Затем путем переключений в структурной схеме воспроизводится режим восстановления напряжения после отключения к.з. Начальными условиями для этого этапа являются результаты решения уравнений на предыдущем этапе.

Изменения в структурной схеме в зависимости от состояния ветви к.з. осуществляются по определенной программе с помощью релейных блоков, воспроизводящих логику работы идеального выключателя.

Уточненное исследование переходных процессов в блоке выполнялось на ЭЦВМ "Минск-22".

Математическое описание генератора включает уравнения синхронной машины с одной обмоткой возбуждения и двумя эквивалентными демпферными контурами в продольной и поперечных осях ротора, записанные в осях  $\alpha$ ,  $\beta$  для цепей статора, в которых  $\alpha$  и  $\beta$  составляющие токов статора заменены фазными токами. Для учета влияния на токи статора относительного перемещения ротора при к.з. и после его отключения решается уравнение движения ротора при постоянном значении момента первичного двигателя.

Программа, разработанная в Белорусском филиале ЭНИКа им. Г.М.Кржижановского, составлена в автокоде "Инженер" в режиме "Т". Предусматривается двухкратное изменение параметров ветви к.з. через заданные промежутки времени. Разработанный алгоритм и программа расчета могут быть положены в основу других, более полных моделей, учитывающих, например, явнопольность генератора, насыщение его магнитной цепи, влияние автоматического регулирования возбуждения и т.п.

В качестве характеристик намагничивания при расчетах использовалась зависимость  $B_B = B_C + B_B = f(H_C)$ , получаемая суммированием значений индукции  $B_C$ , определяемой по средней кривой намагничивания стали, с добавочным значением индукции  $B_B$ , обусловленным потоком взаимоиנדукции вне стального сердечника:

$$B_B = \frac{L_B \ell_c}{w_1^2 S_c} H_c ;$$

где  $H_c$  - напряженность магнитного поля в стали;

$L_B = w_1^2 \frac{\mu_0 S_B}{\ell_B}$  - добавочная индуктивность в ветви намагничивания;

$w_1, S_c, \ell_c$  - число витков, сечение и длина средней силовой линии магнитного потока в стали магнитопровода;

$S_B, \ell_B$  - эквивалентное сечение и длина средней силовой линии потока взаимоиנדукции, замыкающегося вне стального сердечника.

Исключив  $L_B$  из выражения для  $B_B$ , имеем:

$$B_B = \frac{S_B \ell_c}{S_c \ell_B} \mu_0 H .$$

Значениям  $L_B = (0,75-1,0) L_K$ , которые соответствуют данным экспериментальных исследований, при  $L_{K*} = 0,12$  удовлетво-

рует зависимость

$$B_g = (1,5 - 2,0) \mu_0 H.$$

Экспериментально б.т.н. при восстановлении напряжения после отключения внешних к.э. исследовались в схеме, состоящей из синхронного генератора СГ-35/6 и трехфазного трехстержневого трансформатора ТСЗ-22,5/0,5 с соединением обмоток  $Y_0/\Delta$ -11.

В результате проведенных исследований б.т.н. при отключении трех- и двухфазных к.э., одно- и двухфазных к.э. на землю установлено, что:

1. При внешних к.э. в индукциях наблюдаются аperiodические составляющие, изменяющиеся по сложному закону. В момент отключения к.э. как токи, так и индукции могут изменяться скачком, в результате чего б.т.н. в значительной мере определяется величиной аperiodической составляющей индукции предшествующего нестационарного режима к.э.

2. Наибольших значений б.т.н. достигает в обмотках высшего напряжения силового трансформатора блоке после отключения трехфазных к.э. Максимальные значения б.т.н. не превышают 0,5 от б.т.н. при включении силового трансформатора на холостой ход. С увеличением индуктивных сопротивлений схемы б.т.н. уменьшается. Реактанс нулевой последовательности влияет незначительно на амплитуду б.т.н.

3. Б.т.н. в обмотках высшего и низшего напряжений направлены к трансформатору. Распределение б.т.н. между обмотками обратно пропорционально реактансам контуров соответствующих обмоток.

4. На однополярные б.т.н. при восстановлении напряжения после отключения внешних к.э. накладываются сивозные периодические токи нагрузки и токи, вызванные качаниями ротора генератора.

Математическое моделирование позволило проанализировать характер изменения индукций в переходных режимах внешних к.э. как со стороны "звезды", так и со стороны "треугольника" силового трансформатора, при восстановлении напряжения после их отключения, а также при включениях силового трансформатора на

холостой ход.

Показано, что при внешних к.з. в индукциях наблюдаются медленно затухающие апериодические составляющие, соизмеримые в неблагоприятных режимах с амплитудными значениями индукции холостого хода.

При включениях силового трансформатора на холостой ход форма кривой магнитной индукции в одной или нескольких фазах может значительно отличаться от синусоидальной. В моменты времени, характеризующиеся б.т.н., верхняя часть кривой индукции как бы "срезается" и приближается по форме к трапецеидальной, а в бестоковые паузы практически не претерпевает изменений. Степень искажения формы кривой индукции определяется величиной падения напряжения и тем сильнее, чем больше б.т.н. и суммарное сопротивление сети и трансформатора.

В третьей главе проанализированы токи небаланса при различных видах междуфазных к.з. и условия трансформации б.т.н. в схемах продольной дифференциальной защиты с соединением вторичных обмоток ТТ "Звезда-треугольник" и "Неполная звезда-треугольник", выполненных как на ТТ с замкнутым, так и с разомкнутым стальным сердечником.

Исследования выполнялись с учетом остаточных индукций, активных сопротивлений и индуктивностей вторичных обмоток ТТ и обмоток реле на АВМ. Для вышеуказанных вариантов разработаны:

1. Математические модели, не содержащие дифференцирующих блоков.
2. Методика воспроизведения трехфазных систем первичных токов симметричных и несимметричных к.з. с аperiodическими составляющими.
3. Простой способ получения динамической петля ферромагнитных материалов на основе пассивного дифференциатора, включаемого на вход нелинейного блока.
4. Рассмотрены практические приемы по упрощению структурных схем моделирования.

В результате проведенных исследований токов небаланса в схеме "Звезда-треугольник" установлено, что практически однопо-

лярные токи во всех фазах наблюдаются только в том случае, когда ТТ, соединенные в треугольник, не насыщаются или насыщаются слабо под действием токов к.з. с аperiodической составляющей. По величине эти токи могут быть близки к значениям ударного тока к.з. при всех видах междуфазных повреждений. Однако токовые реле с быстроснасыщающимися трансформаторами тока (БНТ) надежно отстроены от такого режима.

При сильном насыщении ТТ, соединенных в треугольник, или ТТ обоих комплектов дифференциальной защиты могут наблюдаться так называемые периодические токи небаланса, являющиеся причиной ложного срабатывания защит с БНТ. В наиболее неблагоприятных режимах ток небаланса носит симметричный периодический характер, достигая значений периодической составляющей тока к.з. при сравнительно небольших значениях коэффициента формы кривой. При несимметричных повреждениях эти токи меньше.

Для уменьшения периодических токов небаланса, а следовательно, для повышения надежности работы дифференциальных защит с БНТ следует предельно снижать нагрузки на ТТ, соединенных в треугольник. С этой целью, помимо увеличения сечений контрольных кабелей, можно рекомендовать следующее:

1. Применять одноамперные ТТ.

2. Оба комплекта ТТ защиты соединять в звезду, а компенсацию фазового сдвига первичных токов выполнять или с помощью промежуточных ТТ, или непосредственно в реагирующих органах защиты. Последнее сравнительно легко достигается в односистемных дифференциально-фазных защитах в фильтровом исполнении. При этом, наряду с уменьшением нагрузки ТТ, сокращается количество соединительных проводов и может быть значительно уменьшено их сечение.

Согласование величин нагрузок на ТТ плеч защиты, включение на зажимы их вторичных обмоток параллельно нагрузке индуктивных сопротивлений, а в дифференциальную цепь резонансных контуров, настроенных на первую гармонику, конструктивно усложняет защиту и малоэффективно для схем с различными группами соединений вторичных обмоток ТТ.

Наиболее эффективным мероприятием, уменьшающим как периодические, так и однополярные токи небаланса, является использование ТТ с воздушным зазором. Для более полной реализации положительных свойств этих ТТ необходимо производить согласование величин немагнитных зазоров и сопротивлений соединительных проводов.

Исследовалась трехфазная схема продольной дифференциальной защиты, в которой применены для одного плеча ТТ с замкнутым, а для другого - с разомкнутым стальным сердечником. Вследствие существенного различия характеристик намагничивания этих ТТ, в такой схеме могут наблюдаться как периодические, так и однополярные токи небаланса большой величины, что затрудняет практическую реализацию этой схемы.

В диссертации проанализированы токи небаланса в нулевом проводе защиты при различных видах междофазных к.з. Установлено, что даже при идентичных характеристиках намагничивания ТТ имеют место токи небаланса, соизмеримые с токами небаланса в дифференциальной цепи защиты.

Ток небаланса в нулевом проводе, как правило, имеет периодический характер с высоким содержанием высших гармоник. В начальной стадии переходного процесса могут наблюдаться однополярные токи небаланса значительной величины. В результате влияния падения напряжения в нулевом проводе ток намагничивания одного или нескольких ТТ, соединенных в звезду, может приобрести сложную форму и иметь явно выраженный двухпиковый характер. Падение напряжения в нулевом проводе может существенно влиять на величину и форму токов небаланса и при уточненных расчетах его следует учитывать.

Отличительной особенностью токов небаланса в схеме "неполная звезда - треугольник" является возможность появления периодических токов небаланса значительной величины как при насыщении любой группы ТТ, так и при насыщении ТТ обоих плеч защиты. Следует отметить, что в практике выполнения дифференциальных защит силовых трансформаторов широкое применение получила упрощенная схема с уменьшенным количеством дифференциальных реле. Недостатком двухсистемного исполнения является то, что защита имеет пониженную чувствительность при одном из трех видов замы-

маний между двумя фазами со стороны питания. Однако с точки зрения селективности задиты при внешних н.з. двухсистемная схема является наилучшей, что объясняется меньшей вероятностью ложного срабатывания дифференциальных реле под действием периодических токов небаланса.

В диссертации исследовано влияние режима работы и схемы соединений вторичных обмоток ТТ в треугольник на величину и форму трансформированного б.т.н. Показано, что даже при однополярных импульсах в первичных обмотках ТТ как с замкнутым, так и с разомкнутым стальным сердечником в одной или во всех фазах нагрузки могут иметь место периодические токи, что резко снижает надежность блокировок, основанных на использовании апериодической составляющей б.т.н. По величине трансформированный б.т.н. может быть больше или меньше соответствующих значений приведенного первичного тока в зависимости от режима работы ТТ.

В четвертой главе исследуется на АВМ поведение дифференциально-токовых задит с реле РНТ и ДЗТ и односистемных подупроводниковых дифференциально-фазных задит (ДФЗ) блоков генератор-трансформатор в переходных режимах н.з. и б.т.н.

Разработанные математические модели реле РНТ-565 и ДЗТ-II учитывают нелинейные свойства быстросыщающегося трансформатора тока, инерционность исполнительного электромагнитного реле РТ-40 и изменения параметров этого реле при перемещении якоря. Поведение реле определяется путем решения уравнения движения якоря под влиянием всех действующих на него моментов и ограничений. На основе исследования переходных процессов показано, что для блоков (без выключателей в цепи генератора и в отпайке к трансформатору собственных нужд) предпочтительнее реле с тормозной характеристикой. Начальный ток срабатывания этих задит может быть выбран меньше номинального. Уточненный расчет параметров защиты в каждом конкретном случае может быть выполнен на основе приведенной в диссертации методики.

Проведено исследование фильтровых измерительных органов разработанной в Белорусском филиале ЭНИИ им.Г.М.Кржижанов-

ского дифференциально-фазной защиты блока генератор-трансформатор.

Переходные процессы в фильтрах симметричных составляющих отличаются большим разнообразием и сложностью и существенно зависят от конструктивного исполнения фильтра. Их анализ дополнительно усложняется необходимостью учета насыщения ТТ, соединенных в определенную трехфазную группу. В данной работе исследуется комбинированный фильтр токов  $I_1 + K_2 I_2$ , выполненный на трансформаторах для случая соединения вторичных обмоток ТТ в треугольник.

Установлено, что ток в нагрузке комбинированного фильтра практически не содержит апериодических составляющих. При к.з., сопровождающихся насыщением ТТ, ток в нагрузке фильтра искажен и характеризуется наличием высших гармоник, что может явиться причиной ложного срабатывания ДФЗ при внешних к.з. Степень искажения усиливается с ростом коэффициента  $K_2$ .

Условия срабатывания фаз токов в переходных режимах можно значительно улучшить путем установки в цепи нагрузки фильтра резонансных фильтров  $R, L, C$ , настроенных на первую гармонику. При выполнении ДФЗ на ТТ с разомкнутым стальным сердечником ток в нагрузке фильтра практически не искажен и обеспечивается правильное срабатывание фаз токов переходного режима.

При б.т.н. высшие гармоники подчеркиваются фильтром. Вторую гармонику целесообразно использовать для блокирования дифференциально-фазной защиты.

Устройства блокировки (УБТН), реагирующие только на вторую гармонику, могут приводить к значительному замедлению в отключении поврежденного участка. Более быстрое действие и надежность обеспечиваются, если выполнить торможение блокировки полным рабочим током фильтра или составляющей основной частоты. Действие блокировки основано на различном отношении первой и второй гармоник в токах к.з. и б.т.н. При б.т.н. напряжение, пропорциональное второй гармонике, значительно и УБТН приходит в действие. При к.з. в кривой первичного тока велика первая гармоника и УБТН не должно работать. Однако в трансформированных токах к.з., вследствие насыщения ТТ зам-

ты, возможно появление четных гармоник, что может явиться причиной замедления дифференциально-фазной защиты при повреждениях в защищаемой зоне.

В диссертации произведен сравнительный анализ нескольких вариантов УБТН указанного типа, выполненных на базе фильтра тока симметричных составляющих.

В результате теоретических и экспериментальных исследований системы "трехфазная группа ТТ - УБТН" установлено, что относительная величина второй гармоники ( $i_{100}/i_{50}$ ) при б.т.н. достаточно велика (30% - 90%) и остается практически неизменной как для ТТ с замкнутым, так и с разомкнутым стальным сердечником. Насыщение ТТ не приводит к понижению надежности работы блокировок указанного типа. При очень сильном насыщении ТТ возможно некоторое уменьшение второй гармоники по абсолютной величине. Однако при этом соответственно уменьшается составляющая основной частоты.

В результате влияния переходных процессов в резонансных фильтрах R, L, C вторая гармоника нарастает постепенно, что может явиться причиной срабатывания быстродействующей дифференциально-фазной защиты при бросках тока намагничивания. Для повышения надежности работы УБТН следует применять фильтр второй гармоники с низкой добротностью.

При внутренних повреждениях, сопровождающихся сильным насыщением ТТ, возможно появление во вторичных токах второй гармоники и ложная работа блокировки. Для повышения надежности ее работы целесообразно выполнять защиту на ТТ с разомкнутым стальным сердечником и выполнять торможение блокировки полным выходным током фильтра.

В настоящее время односистемная дифференциально-фазная защита введена в опытную эксплуатацию на одном из блоков Березовской ГРЭС. Проведенные исследования позволили перед вводом защиты в эксплуатацию уточнить параметры и схемы отдельных элементов.

В приложениях приводятся конструктивные параметры исследованных автором схем, машинные коэффициенты разработанных математических моделей и другие материалы.

## В ы в о д и

1. Исследованы б.т.н. силовых трансформаторов при восстановлении напряжения после отключения внешних к.з. Показано, что интенсивность броска в значительной мере зависит от величины и характера изменения аperiodических составляющих индукций предшествующего нестационарного режима к.з.

2. Проанализирован характер изменения индукций в переходных режимах к.з., включения ненагруженного трансформатора на холостой ход, а также при восстановлении напряжения после отключения внешних к.з. Показано, что при к.з. в индукциях могут наблюдаться медленно затухающие аperiodические составляющие, соизмеримые с амплитудными значениями индукций холостого хода.

3. В блоках генератор-трансформатор (без выключателей в цепи генератора) б.т.н. практически возможны только при восстановлении напряжения после отключения внешних к.з. и не превышают значений 0,5 б.т.н. при выключении силового трансформатора на холостой ход.

4. Исследовано влияние схемы соединений вторичных обмоток ТТ в треугольник на величину и форму трансформированного б.т.н. Установлено, что даже при однополярных первичных токах во всех фазах нагрузки могут наблюдаться практически периодические токи, что резко снижает надежность блокировок от аperiodических составляющих б.т.н.

5. Проанализированы токи небаланса в схемах дифференциальной защиты силовых трансформаторов и блоков генератор-трансформатор. Показано, что однополярные токи небаланса наблюдаются только в том случае, когда ТТ, соединенные в треугольник, не насыщаются или насыщаются слабо под действием токов к.з. с аperiodической составляющей и по величине лишь незначительно отличаются от ударного тока к.з. при всех видах междуфазных повреждений. Периодические токи небаланса наибольших значений достигают при симметричных к.з. и могут быть соизмеримы с периодической составляющей тока к.з.

6. Рассмотрены мероприятия, повышающие селективность дифференциальных защит с различными группами соединений вторичных обмоток ТТ. Наиболее эффективным мероприятием является использование ТТ с разомкнутым стальным сердечником. Их применение целесообразно как для дифференциально-токовых, так и для дифференциально-фазных защит.

7. Исследовано поведение дифференциальных защит с реле РИТ и ДЗТ в переходных режимах н.з. и б.т.н. На основе исследования переходных процессов показана большая эффективность применения реле с магнитным торможением.

8. Проведен анализ фильтровых органов ДФЗ блоков генератор-трансформатор. Рассмотрены мероприятия, повышающие надежность работы этих защит при внешних н.з.

9. Исследовано поведение односистемных устройств блокировки ДФЗ в переходных режимах работы. Наибольшее быстродействие и надежность ДФЗ обеспечиваются, если выполнить торможение блокировки полным выходным током фильтра.

Результаты исследования фильтровых органов и устройств блокировки ДФЗ использовались в Белорусском филиале ЭНИНа им. Г.М.Крижановского при выборе рабочих параметров разработанной там чувствительной полупроводниковой дифференциально-фазной защиты блока генератор-трансформатор, установленной в опытную эксплуатацию на Березовской ГРЭС.

Основные разделы диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Исследование бросков тока намагничивания в блоках генератор-трансформатор. "Известия ВУЗов - Энергетика", 1969, № 10 (соавтор В.И.Новаш).

2. Об уточнении параметров ветви намагничивания в схеме замещения трансформатора. "Известия ВУЗов - Энергетика", 1969, № 7 (соавторы В.И.Новаш, Н.В.Баран).

3. О моделировании трансформаторов тока на АВМ. "Известия ВУЗов - Энергетика", 1968, № 8 (соавтор В.И.Новаш).

4. Исследование переходных процессов в трехфазных группах трансформаторов тока. Материалы к XXV научно-технической конференции Белорусского политехнического института совместно с работниками промышленности. Энергетическая секция, Минск, 1969.

5. Исследование на АВМ некоторых вариантов исполнения продольных дифференциальных защит. Тезисы докладов научно-технической конференции молодых ученых Белоруссии. Минск, 1969 (соавторы В.И.Новаш, И.Л.Гутик, И.Д.Гершович).

6. Токи небаланса в схеме продольной дифференциальной защиты трансформаторов и блоков генератор-трансформатор. "Известия ВУЗов - Энергетика", 1970, № 10 (соавтор В.И.Новаш).

7. Исследование на АВМ фильтровых органов диффазных защит трансформаторов и блоков генератор-трансформатор. "Известия ВУЗов - Энергетика", 1969, № 12 (соавторы В.И.Новаш, Л.И.Соколик).

8. Исследование на АВМ некоторых элементов дифференциально-фазных защит. Тезисы докладов III республиканской конференции по применению вычислительной техники в энергетике Белоруссии. Минск, 1970 (соавторы В.И.Новаш, Л.И.Соколик).

9. О возможностях повышения чувствительности дифференциальных защит блоков. Материалы к XXVI научно-технической конференции Белорусского политехнического института совместно с работниками промышленности. Энергетическая секция, Минск, 1970.

10. Использование АВМ для исследования поведения дифференциальных защит. Тезисы докладов III республиканской научно-технической конференции по применению вычислительной техники в энергетике Белоруссии. Минск, 1970.

Материалы диссертации докладывались на XXIV-XXVI научно-технических конференциях профессорско-преподавательского состава Белорусского ордена Трудового Красного Знамени политехнического института совместно с работниками промышленности в 1968, 1969 и 1970 гг., на I-ой научно-технической конференции молодых ученых Белоруссии по техническим и сельскохозяйственным

наукам (Минск, 1969) и на III республиканской конференции по применению вычислительной техники в энергетике Белоруссии (Минск, 1970).

АТ 03259. Подписано в печать II/У-7I г. Формат 60x84 I/16.  
I, I печ.л.; I,3 уч.изд.л. Тир.200. Зак.452. Бесплатно.

---

Отпечатано на роталпринте БПИ. Минск, Ленинский пр.,65.