

Совершенствование дифференциальной защиты силовых трансформаторов

ВАНИН В.К., ПОПОВ М.Г., ПОПОВ С.О.
ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский Государственный Политехнический
Университет»
Россия
Popov_SO@mail.ru

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

Силовое оборудование, трансформатор, математическая модель, ток намагничивания, дифференциальный и тормозной ток.

1 ВВЕДЕНИЕ

Дифференциальная защита является одним из основных средств автоматики предназначенной для выявления внутренних повреждений в электрооборудовании. В этой связи одной из наиболее актуальных задач в электроэнергетике является обеспечение максимального быстродействия и чувствительности указанных защит, которые в большой степени определяют надежность функционирования энергосистемы в целом. Несовершенство дифференциальных защит определяется наличием, так называемого тока небаланса защиты, обусловливаемого причинами различной природы. Для ослабления влияния токов небаланса используется тормозной ток, формируемый по заданному разработчиком алгоритму. Наиболее эффективными, применяемыми на сегодняшний день алгоритмами являются алгоритмы получения тормозного тока пропорционального вторичным токам трансформаторов тока, установленных в плечах защищаемого объекта. Недостатком подобных способов является то, что тормозной сигнал при внешних КЗ значительно уменьшается при увеличении тока намагничивания трансформаторов тока, в то время как дифференциальный сигнал возрастает. Это приводит к необходимости существенного снижения чувствительности защиты или ее блокировке, увеличению времени срабатывания защиты, чтобы исключить ложное срабатывание. Кроме того, отрицательным фактором применения данного способа является то, что методика выбора параметров срабатывания защиты основана на вероятностной зависимости тока небаланса от величины тока плеч, а именно, чем больше токи плеч защиты, тем выше вероятность увеличения тока небаланса. Это обуславливает ряд трудностей при выборе коэффициентов торможения. В частности к необходимости либо проведения различных испытаний при наладке защиты, либо наличия достаточно большого опыта эксплуатации на схожих объектах защиты. Существует ряд дополнительных способов увеличивающих быстродействие и чувствительность защиты при увеличении токов намагничивания трансформаторов тока[1,2]. Однако все они используют различные косвенные признаки увеличения погрешности измерительного тракта защиты и вводят дополнительное торможение. Это еще более усложняет выбор параметров защиты и в большинстве случаев приводит к необходимости изменения этих параметров при изменении параметров энергосистемы, в частности постоянных времени затухания апериодических составляющих в первичных цепях.

Дополнительным необходимым условием надежного функционирования дифференциальной защиты является отстройка от токов намагничивания силового трансформатора, что особенно актуально в режимах включения трансформатора. На сегодняшний день это требование выполняется за счет блокировки защиты при выявлении значительного тока намагничивания силового трансформатора. При этом факт увеличения этого тока также определяется по косвенным признакам, наиболее распространенным из которых является содержание второй гармонической составляющей в первичном токе[1,2].

Этому способу присущи следующие основные недостатки: необходимость учитывать время задержки фильтра второй гармонической составляющей и возможность возрастания второй гармоники в режимах внутренних коротких замыканий сопровождающихся насыщением трансформаторов тока.

Очевидным способом построения дифференциальной защиты, исключающим указанные выше недостатки является использование в алгоритме защиты тока намагничивания трансформатора тока и силового трансформатора[3]. Однако, реализация подобных дифференциальных защит становится возможной только благодаря использованию современных средств микроэлектроники, позволяющей быстро производить фильтрацию токов намагничивания в темпе переходных процессов в ТТ и требует разработки принципиально новых алгоритмов функционирования защиты.

2 ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Авторами разработан алгоритм восстановления первичного тока и тока намагничивания трансформатора тока. Согласно которому аналого-цифровой преобразователь, подключенный через вторичный преобразователь во вторичную цепь трансформатора тока формирует цифровой код, соответствующий мгновенному значению вторичного тока трансформатора тока. В течение интервала времени до момента получения нового значения цифрового кода определяют ток намагничивания трансформатора тока и восстановленный первичный ток. Для этого решается система нелинейных уравнений, описывающая работу трансформатора тока,

$$0 = (r_2 + R_H)i_2 + \frac{(L_{2S} + L_H)di_2}{dt} - \frac{M_{21}di'_\mu}{dt} - r'_n i'_\mu$$

$$i'_{1B} = i'_\mu + i_2$$

$$\frac{d\Psi_{21}}{dt} = \frac{M_{21}di'_\mu}{dt}$$

$$i'_\mu = f(\Psi_{21})$$

где r_2 - сопротивление вторичной обмотки; i_2 - вторичный ток ТТ; Ψ_{21} - потокосцепление между вторичной и первичной обмотками; i'_1 - приведенный восстановленный первичный ток ТТ. ; $i'_\mu = f(\Psi_{21})$ - обратная характеристика намагничивания магнитопровода трансформатора тока; L_{2S} - индуктивность рассеяния вторичной обмотки; r'_n - эквивалентное сопротивление, учитывающее потери в магнитопроводе ТТ на гистерезис и вихревые токи; R_H, L_H - сопротивление и индуктивность нагрузки ТТ; i'_μ - приведенный ток намагничивания ТТ.

Значения взаимной индуктивности M_{21} , потокосцепления Ψ_{21} и тока намагничивания i'_μ связаны характеристикой намагничивания магнитопровода. Потери на вихревые токи и гистерезис учитываются соответствующим сопротивлением r'_n . Сопротивление r'_1 и индуктивность рассеяния L_{1S} первичной обмотки обычно достаточно малы, поэтому в расчетах эти параметры принимаются равными нулю.

Используя численный метод решения данной системы уравнений, вычисляется ток намагничивания и восстановленный первичный ток.

На основе сигналов восстановленного первичного тока и тока намагничивания трансформатора тока могут быть построены новые алгоритмы дифференциальной защиты. Указанные алгоритмы отражены на обобщенной структурной схеме, представленной на рис.1

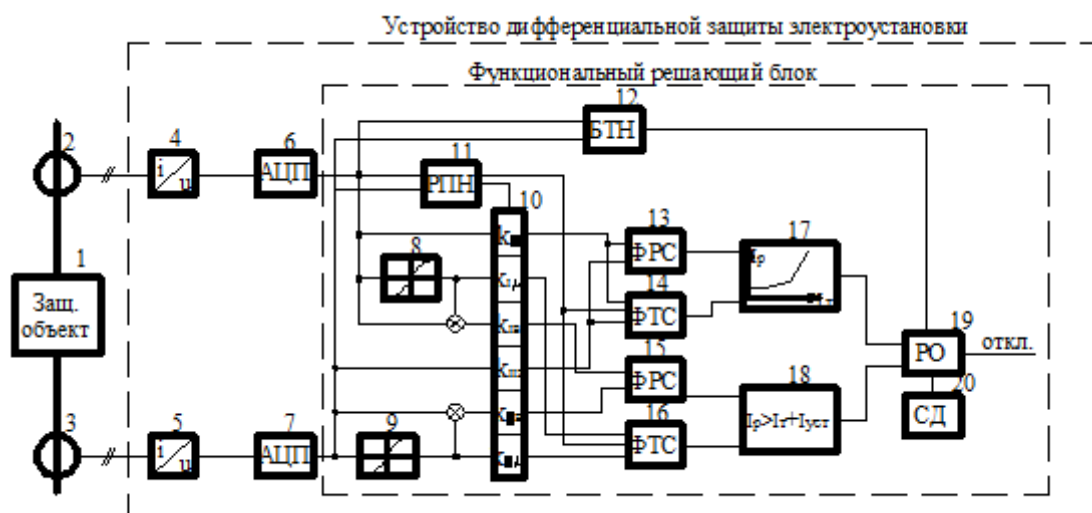


Рис. 1. Общая структурная схема дифференциальной защиты с применением фильтра тока намагничивания ТТ.

Функциональная блок схема устройства, в которой реализуется предлагаемый способ, содержит объект защиты 1, трансформаторы тока плеч защиты 2-3, входные преобразователи вторичного тока ТТ 4-5, блоки АЦП 6-7, устройства компенсации погрешности ТТ 8-9, блок приведения измеренных величин к одним относительным единицам 10, формирователи рабочего 15, 13 и тормозного сигналов 16, 14, блок для задания уставки защиты и формирующий сигнал отключения 17, блок самодиагностики 20.

Работает схема следующим образом. Вторичные токи трансформаторов тока 2, 3 присоединений защищаемого объекта 1 преобразуются в блоках 4, 5, которые могут представлять собой промежуточные трансреакторы, нагрузочные резисторы или непосредственно оптико-электронные трансформаторы тока, у которых выходная информация представляется в виде напряжения, пропорционального измеряемому току. Далее в блоках 6, 7 производится синхронное преобразование аналоговых сигналов в цифровой код, соответствующий мгновенному значению вторичного тока трансформатора тока. В нелинейных блоках 8, 9 определяются токи намагничивания трансформаторов тока и решается задача восстановления первичных токов. Полученные сигналы вторичных, восстановленных первичных токов и токов намагничивания ТТ плеч защиты приводят к одним относительным единицам в блоке 10 с учетом коэффициентов трансформации трансформаторов тока и других выравнивающих коэффициентов, например, для защиты трансформатора, коэффициентов трансформации силового трансформатора и схемы соединения его обмоток.

После чего в блоке 15 вычисляют дифференциальный ток пропорциональный сумме восстановленных первичных токов соответствующих присоединений защищаемого объекта, при этом за положительное направление тока принимается его направление к защищаемому объекту, и тормозной ток в блоке 16, пропорциональный токам намагничивания трансформаторов токов. При этом могут быть использованы следующие способы формирования тормозного сигнала из токов намагничивания, например, разность или сумма токов намагничивания трансформаторов тока плеч защиты, разность токов намагничивания трансформаторов тока, или максимальный ток намагничивания. Далее усредняют полученные значения тормозного и дифференциального токов и в блоке 17 сравнивают полученный интегральный дифференциальный ток с уставкой и интегральным тормозным током. В случае если значение интегрального дифференциального тока превосходит значение суммы интегрального тормозного тока и уставки срабатывания формируют команду на отключение электроустановки. Схема дополнена блоком самодиагностики защиты 20, входными сигналами которого являются все измеренные и вычисленные входе обработки в функционально решающем блоке сигналы (для упрощения структурной схемы эти входные сигналы на ней не отображены). В данном блоке обрабатываются полученные токи намагничивания, первичные и вторичные токи. В случаях выявления возможного превышения допустимой погрешности работы ФТН, защита загрубляется (повышается уставка срабатывания), либо блокируется. При

этом предусматривается переключение дифференциальной защиты на работу без использования фильтра тока намагничивания по одному из типовых алгоритмов торможения [1], например, разностью суммы абсолютных значений токов плеч и дифференциального тока. Для этого схема дополнена блоками 13,14,17. В блоке 20 также реализуется алгоритм, выявляющий режим глубокого насыщения ТТ и обрыв токовых цепей. В последних случаях полностью блокируется действие защиты на отключение.

Для правильного функционирования схема должна дополняться блоком отстройки от бросков тока намагничивания 12 и блоком выравнивания входных сигналов защиты при регулировании коэффициента трансформации под нагрузкой 11. Как было указано выше, для исключения ложного срабатывания защиты она блокируется по факту выявления существенного возрастания тока намагничивания силового трансформатора, для чего используется алгоритм расчета процентного содержания второй гармонической составляющей. Другим способом обеспечения надежной работы защиты является построение указанного блока с использованием алгоритма фильтрации тока намагничивания силового трансформатора. Этот алгоритм строится на основе системы нелинейных дифференциальных уравнений подобных приведенным выше для трансформатора тока и учитывающих схему соединения обмоток трансформатора, схему подключения к сети и режимные особенности защищаемого силового трансформатора. В этом случае структурная схема защиты может быть представлена в виде, изображенном на рис.2.

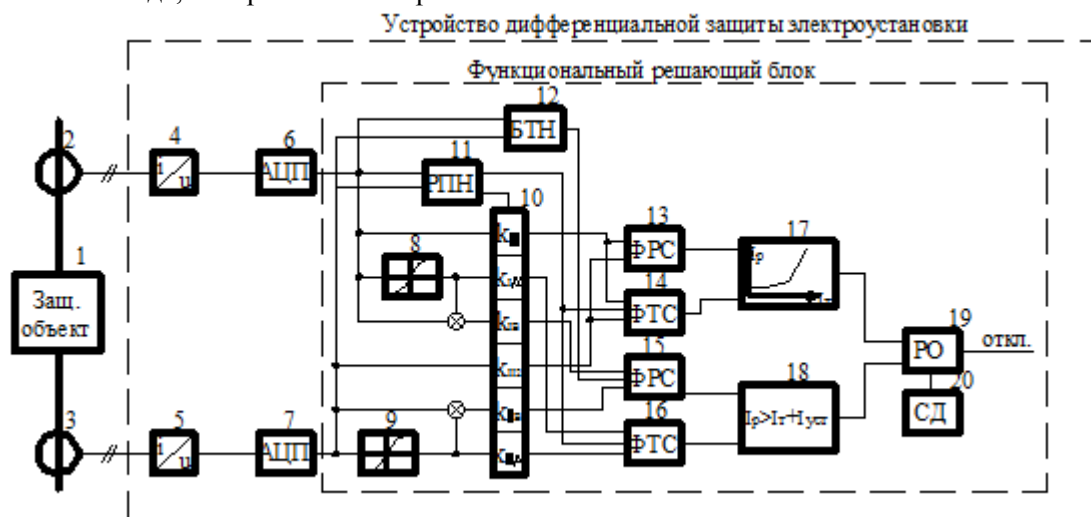


Рис. 2. Общая структурная схема дифференциальной защиты с применением фильтра тока намагничивания ТТ.

3 ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Авторами проведены первичные испытания указанных в докладе способов построения дифференциальной защиты трансформатора на испытательном цифро-аналоговом комплексе реального времени, разработанном на кафедре "Электрических станций и автоматизации энергосистем" СПбГПУ, которые подтвердили их эффективность и целесообразность проведения дальнейших исследований.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Федосеев А.М.. Релейная защита электроэнергетических систем: учеб. пособие для вузов.- М.:Энергоатомиздат, 1984. .
- [2] Шнеерсон Э.М. Цифровая релейная защита. М.:Энергоатомиздат, 2007.
- [3] Ванин В.К., Павлов Г.М.Релейная защита на элементах вычислительной техники.- Л.Энергоатомиздат, 1991.