

УДК 621. 316. 925. (07)

Моделирование микропроцессорных релейных защит в среде MATLAB

Ю.А. Ершов*, А.В. Малеев

Сибирский федеральный университет,
660041 Россия, Красноярск, пр. Свободный, 79 ¹

Received 7.05.2010, received in revised form 28.05.2010, accepted 8.06.2010

Разработаны программируемая модель микропроцессорной дифференциальной защиты трансформатора с торможением, алгоритм ее работы, выходные органы отключения и сигнализации, а также методика испытания в динамическом режиме, что дает возможность создания промышленных типов более сложных защит и автоматики.

Ключевые слова: моделирование, релейная защита, среда MATLAB.

Введение

Современные технические и программные средства позволяют создавать очень сложные и детальные динамические модели реальных систем. Одной из передовых систем компьютерного моделирования является среда Matlab. Широкое распространение эта среда получила благодаря универсальности, наличию большого количества расширений и библиотек.

Релейная защита – очень ответственная часть электрической системы. От неё зависят надёжность электроснабжения потребителей, масштабы аварий, и часто безопасность людей. При расчёте уставок возможны случайные ошибки, которые могут привести к серьёзным последствиям (отказам, ложным или излишним действиям). Также ошибки могут возникать из-за неучёта каких-либо факторов. Предварительная проверка на модели позволяет своевременно выявлять многие из них.

В рамках данной статьи описана дифференциальная защита двухобмоточного трансформатора, имеются также разработанные в среде MATLAB программируемые модели защиты линий (поперечные дифференциальные, токовые ступенчатые, максимальные токовые направленные защиты и т.п.), генераторов, блоков, алгоритмы которых работают на электрических принципах.

Отличие представленной модели релейной защиты от других подходов, описанных в [1,2], заключается в том, что виртуальная модель последних отражает только процессы, протекающие в первичной сети. Указанные модели не содержат блоки релейных защит и элементы отключения поврежденных участков и не позволяют проанализировать процессы, происходящие

* Corresponding author E-mail address: YErshov@sfu-kras.ru

¹ © Siberian Federal University. All rights reserved

в первичных и вторичных цепях сети в момент возникновения аварийных режимов и последующего отключения. Эти модели также не дают возможность выставить и проверить уставки релейных защит.

Целью представленной статьи является разработка в среде MATLAB виртуальных моделей релейных защит, интегрированных со схемами энергетических систем. Такая интеграция позволяет детально проанализировать процессы, протекающие как в первичных силовых цепях энергосистем, так и в цепях релейных защит, что имеет огромное значение не только для научного, но и для образовательного процесса.

Разработанные модели релейной защиты используются также и в образовательном процессе.

Виртуальные модели имеют как достоинства, так и недостатки по сравнению с испытательными стендами. Их положительное свойство – благодаря блочному принципу построения можно легко изменять не только параметры, но и конфигурацию первичной сети, в то время как на стенде конфигурация сети, как правило, задана жёстко. Недостаток – настройка виртуальных защит отличается от настройки их прототипов – реальных реле и терминалов.

Построение виртуальной модели

Силовая часть электрической системы выполнена с помощью блоков библиотеки *SimPowerSystems*, а релейная защита стандартными блоками *Simulink*, отражающими логику и алгоритм работы.

В модели дифференциальной защиты трансформатора смоделированы 3-фазные первичные цепи энергетических систем; генераторы, трансформаторы, линии электропередачи, выключатели, нагрузки, а также 3-фазные преобразователи (датчики) тока и напряжения.

Упрощенная схема фрагмента электрической системы и дифференциальная релейная защита трансформатора в среде MATLAB представлены на рис. 1.

Структурная схема модели разработанной дифференциальной защиты трансформатора показана на рис. 2.

Одной из особенностей дифференциальной релейной защиты трансформатора является фазовый сдвиг токов при трансформации, если обмотки трансформатора соединены в треугольник и звезду. В данной модели определение величины тока и компенсация фазового сдвига в обмотках силового трансформатора производятся с помощью внутренних цифровых датчиков тока. Благодаря этому измерительные трансформаторы тока можно соединить в звезду на низшей и высшей сторонах. Погрешность измерительных трансформаторов тока, применяемых в модели дифференциальной защиты, может достигать 30 %.

Дифференциальная защита имеет две ступени:

- 1 – быстродействующая дифференциальная токовая отсечка;
- 2 – чувствительная дифференциальная токовая защита с торможением от сквозного тока и отстройкой от бросков тока намагничивания.

В первой ступени сравнивается действующее значение первой гармоники дифференциального тока с уставкой, заданной пользователем. Выделение сигнала частотой 50 Гц осущест-

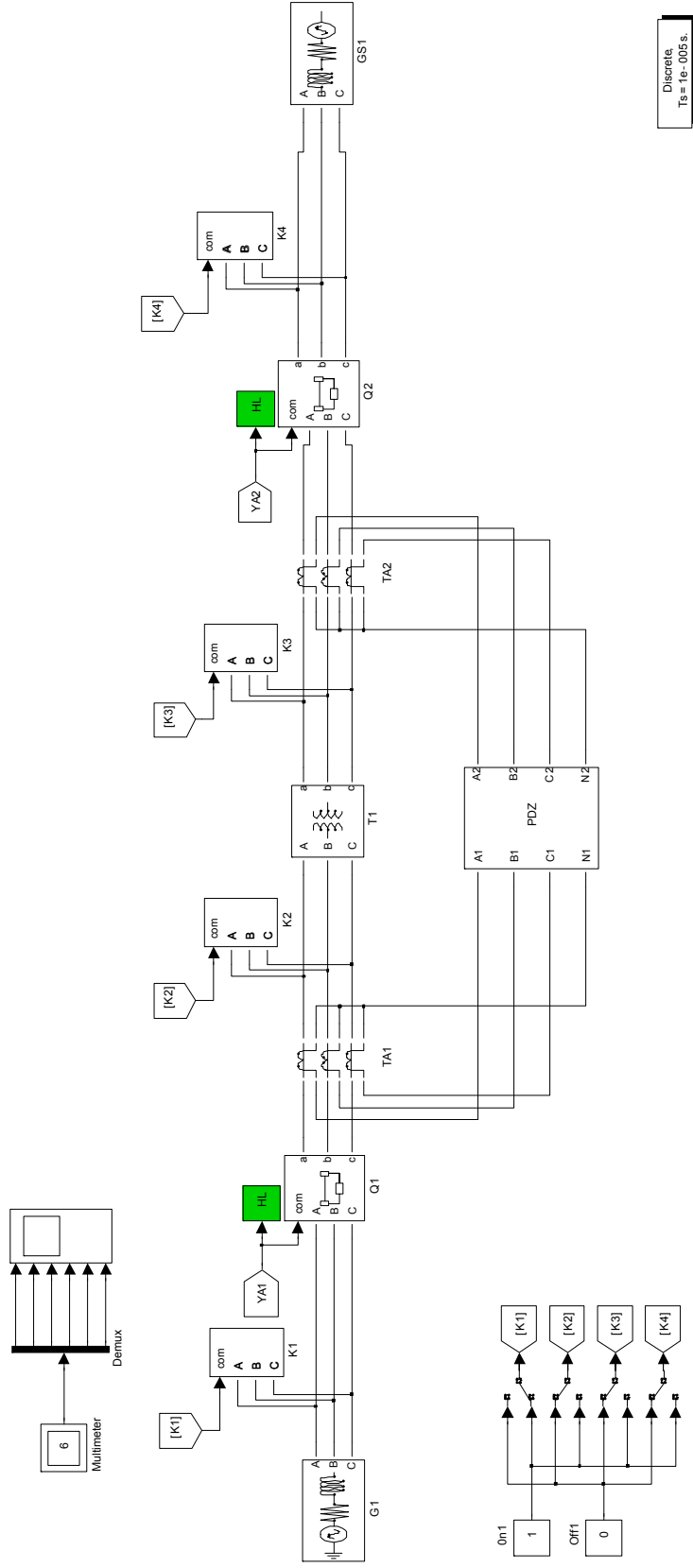


Рис. 1. Упрощенная схема фрагмента электрической системы и дифференциальная релейная защита трансформатора

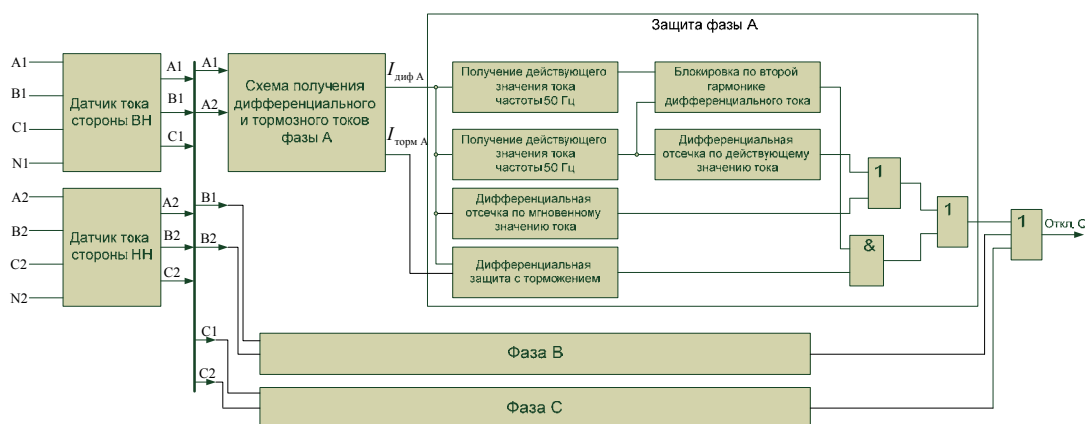


Рис. 2. Структурная схема дифференциальной защиты трансформатора

вляется фильтром первой гармоники (ФПГ). В блоке ОЕ сигнал переводится в относительные единицы, а затем сравнивается с уставкой. Перевод в относительные единицы возможен, если введены номинальные вторичные токи обмоток силового трансформатора. Значения токов задаются в диалоговом окне настройки защиты. Сигнал на отключение выключателя трансформатора с питающей стороны поступает при превышении тока выше заданной величины.

Вторая ступень предназначена для защиты двухобмоточного трансформатора как от повреждений, сопровождающихся большими значениями токов, так и от межвитковых замыканий, при которых значение аварийного тока меньше номинального.

С помощью рассмотренных ранее принципов дифференциальной защиты в пакете *Simulink* реализована логика работы модели аналогично логике микропроцессорных защит трансформаторов «Сириус-Т» ЗАО «РАДИУС Автоматика» [3], *SPAD 346 C* фирмы *ABB*» [4].

Блок-схема алгоритма работы первой ступени приведена на рис. 3.

Во второй ступени по значениям токов вычисляется положение рабочей точки на тормозной характеристике (рис. 4). Если величина дифференциального тока больше тормозного, на выходе формируется сигнал на отключение. Если сигнал не блокируется элементом запрета, то трансформатор отключается. Блокировка действия защиты по второй гармонике при броске тока намагничивания основывается на контроле отношения действующего значения второй гармоники к действующему значению первой гармоники дифференциального тока. Выделение сигнала частотой 100 Гц осуществляется фильтром второй гармоники (ФВГ).

Тормозная характеристика (рис. 4) имеет три участка:

- участок 1 (отрезок $A-B$) определяется величиной минимального дифференциального тока срабатывания $I_{д1}/I_{ном}$ (отнесённый к $I_{ном, вн}$). На данном участке, длина которого определяется величиной $I_{д1}/I_{ном}$, дифференциальный ток имеет постоянное значение. Точка первого излома характеристики получается как пересечение уставки $I_{д1}/I_{ном}$ с прямой, проходящей через начало координат и точку C ;
- участок 2 (отрезок $B-C$) определяется двумя уставками – наклоном прямой $K_{тор м, \%}$ (коэффициент торможения) и $I_{д2}/I_{ном}$;
- участок 3 (правее точки C) расположен под углом 60° к оси $I_{тор м}$.

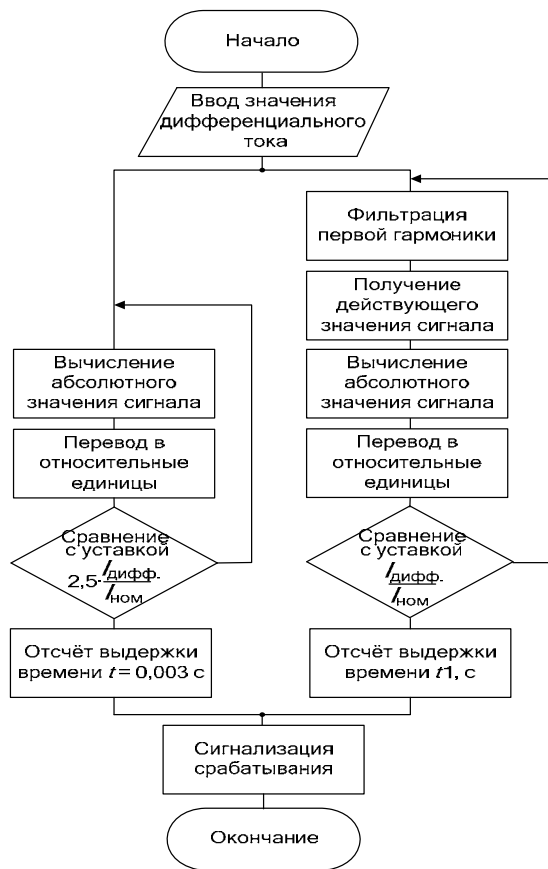


Рис. 3. Блок-схема алгоритма работы первой ступени защиты

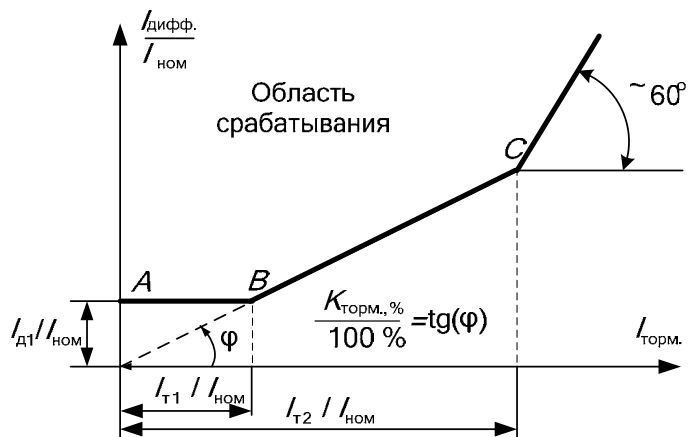


Рис. 4. Тормозная характеристика срабатывания

Таким образом, ломаная $A-B-C$ делит плоскость на две части – область срабатывания и несрабатывания. Если расчётное соотношение токов лежит выше границы, то происходит срабатывание.

Логическая схема второй ступени (дифференциальная защита с торможением) приведена на рис. 5.

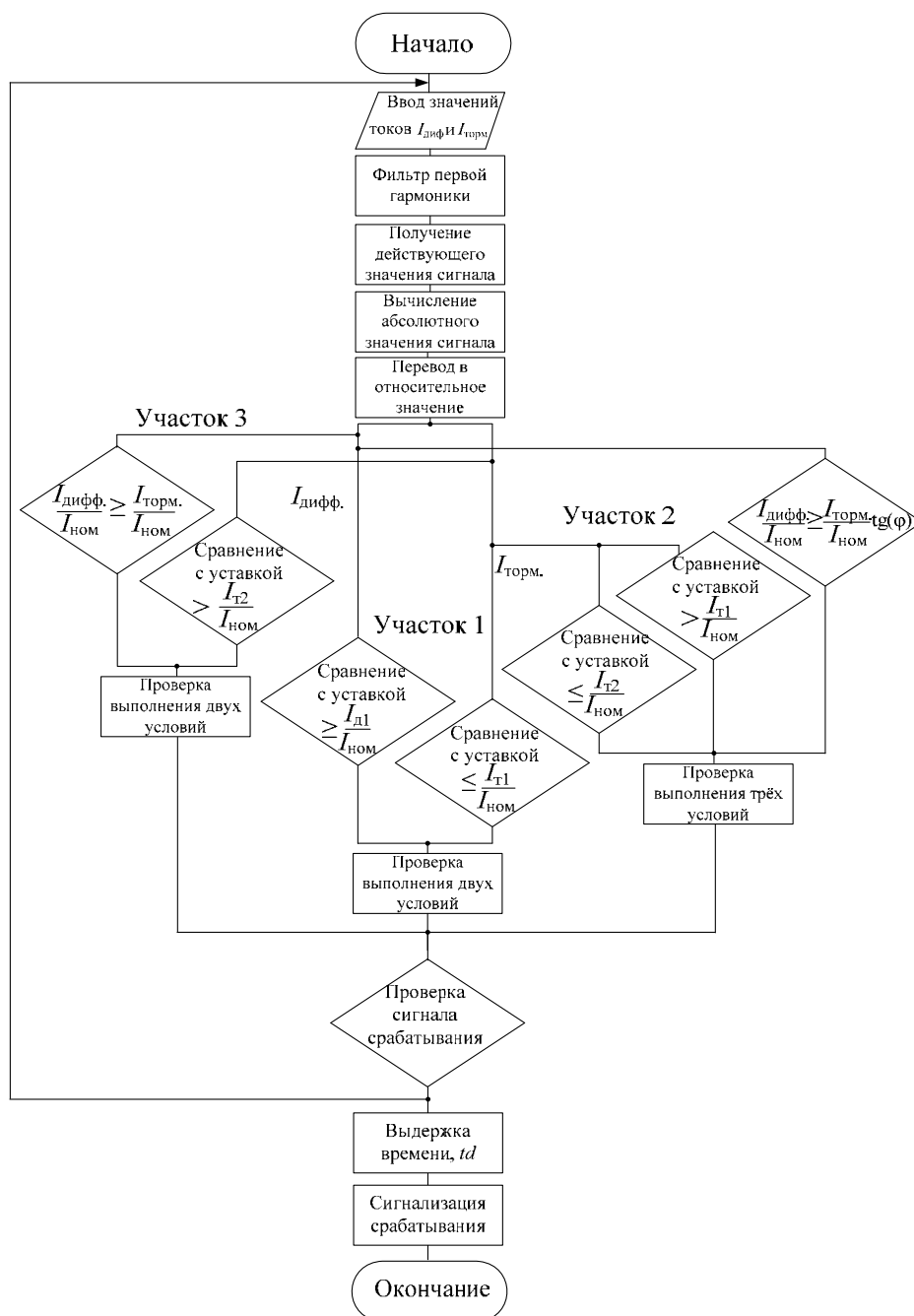


Рис. 5. Блок-схема алгоритма работы второй ступени защиты

В работе второй ступени используются относительные значения дифференциального и тормозного токов, прошедшие фильтрацию. Программная обработка этих величин аналогична дифференциальной отсечке по действующему значению по первой гармонике. Характеристика срабатывания (тормозная характеристика) определяется соотношением дифференциального и тормозного токов.

Благодаря тормозной характеристике вторая ступень двухобмоточного трансформатора чувствительна как к повреждениям, сопровождающимся большими значениями токов, так и к межвитковым замыканиям, при которых значение аварийного тока меньше номинального тока обмотки трансформатора. Вторая ступень пригодна для трансформаторов с односторонним и двусторонним питанием.

Важно отметить, что при принятом способе формирования тормозного тока торможение происходит при внутреннем КЗ даже при одностороннем питании. Однако в этом случае тормозной ток вдвое меньше дифференциального и чувствительность защиты определяется первым участком характеристики.

Осциллограммы первичных токов нормального режима и аварийных режимов при коротком замыкании вне зоны и в зоне действия дифференциальной защиты (точки К1 и К2, рис. 1) представлены на рис. 6 и рис. 7 соответственно. Следует отметить, что на осциллограммах верхние три графика показывают ток, протекающий через выключатель Q1, нижние три графика – ток, протекающий через выключатель Q2. Начальный временной интервал осциллограмм (примерно до 0,25 с) соответствует нормальному режиму номинальной загрузки трансформатора, конечный интервал – возникновение аварийного режима и отключение выключателей для КЗ в зоне действия дифференциальной защиты.

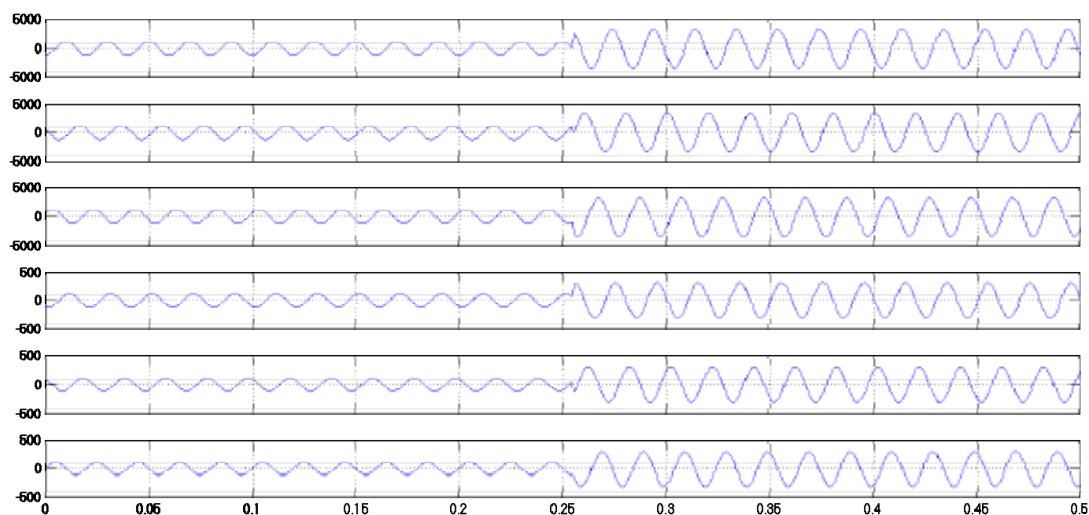


Рис. 6. Осциллограммы токов при внешнем КЗ

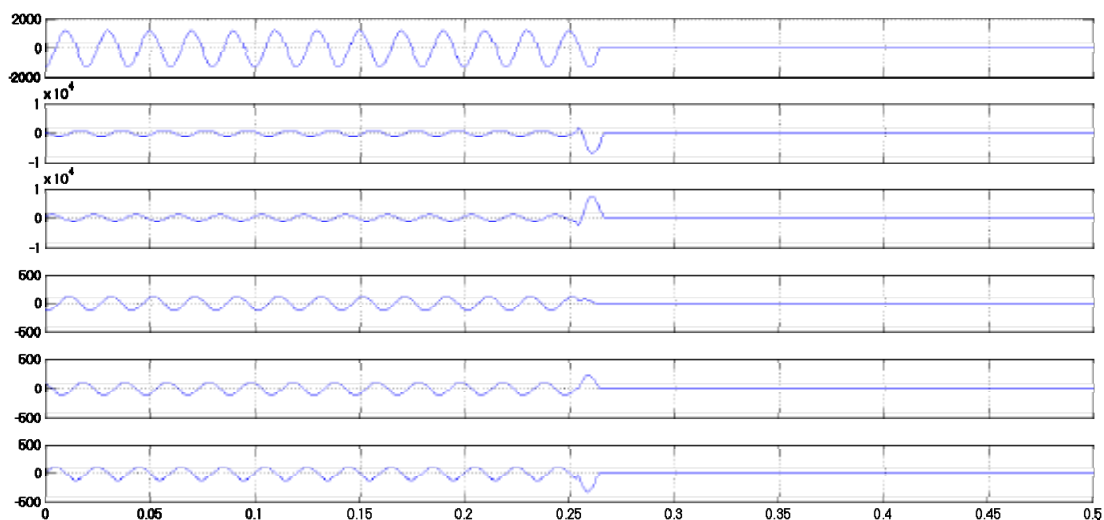


Рис. 7. Осциллограммы токов при внутреннем КЗ

Заключение

Разработанная модель позволяет исследовать дифференциальные защиты трансформаторов с торможением, реагирующие на мгновенное значение токов и на первую гармонику. Можно программно использовать и времяимпульсный принцип блокирования защиты для отстройки от токов намагничивания и небаланса. С помощью модели можно программно формировать дифференциальные и тормозные токи (ток начала торможения ДЗТ $I_{T.0} = 0,6$ – для трансформаторов с односторонним питанием; $I_{T.0} = 1,0$ – для трансформаторов с двусторонним питанием), алгоритмы работы первой и второй ступеней защиты, выходные органы отключения и сигнализации, рассчитывать и выставлять уставки обеих ступеней защиты, а также визуализировать динамику работы защиты трансформатора при КЗ в зоне и вне зоны действия. Многократные испытания защиты позволяют судить о корректности алгоритмов работы защиты и правильности расчета уставок.

Список литературы

1. Луконин, А.В. Алгоритмы функционирования дуговых защит закрытых распределительных устройств [Текст] / Изв. вузов. Электромеханика. – 2008. – Спецвыпуск. – С. 98-100.
2. Бобров С.Е. Разработка и исследование алгоритма работы органа сравнения фаз дифференциально-фазной защиты линий напряжением 110–220 кВ // Вестник ИГЭУ. 2009. Вып. 2.
3. Ершов Ю.А., Баранов Д.А. Визуальное объектно-ориентированное программирование систем релейной защиты // Материалы НТК молодых ученых. Новосибирск, 2006. С. 93-95.
4. Ершов Ю.А., Бойко А.С., Михайленко Я.В. Цифровые цепи тока и напряжения. Применение в релейной защите // Новости электротехники. М. 2006. №6. С. 11-14.

Microprocessor Relay Protection Modeling in MATLAB

Yuriy A. Ershov, Andrej V. Maleew

*Siberian Federal University,
79 Svobodny, Krasnoyarsk, 660041 Russia*

A programmable model of microprocessor differential protection of the braking transformer, the algorithm of its work, output elements of disconnection and signaling, as well as testing procedure in a dynamic mode and creation possibility of more complex protections and automatic equipment of industrial types has been developed.

Keywords: relay protection, modeling, MATLAB
