

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ ТРАНСФОРМАТОРА В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ PSCAD/EMTDC

Лузгина Е. П.

Научный руководитель: к.т.н., доцент Ю. А. Ершов

Сибирский федеральный университет

Программный комплекс PSCAD предназначен для исследования переходных электромагнитных процессов в электроэнергетической сети и моделирования устройств релейной защиты с помощью алгоритмических моделей.

Данный комплекс представляет собой удобный и многофункциональный графический интерфейс, позволяющий пользователю схематично строить сеть из представленных в библиотеке разнообразных моделей элементов электроэнергетической сети, выполнять моделирование, анализировать, управлять данными.

Все основные расчеты по составлению и расчету дифференциальных уравнений и управлению системой осуществляются EMTDC (Electromagnetic Transients including DC). В данной программе предусмотрены предварительно запрограммированные и прошедшие тестирование модели от простых пассивных элементов до элементов управления, электрических машин, линий электропередач и кабелей. Имеющаяся библиотека моделей позволяет создавать более совершенные нелинейные модели энергосетей и силовой электроники.

Программа PSCAD обеспечивает решение следующих задач:

- исследования переходных процессов, проходящих в энергетических системах, при (не)симметричных коротких замыканиях, автоматическом повторном включении, изменении величины и характера нагрузки, феррорезонансе и других возмущающих воздействиях;
- оценка согласования уровней изоляции и грозовых импульсов;
- анализ качества электрической сети, включая анализ гармонического состава при исследовании электрических машин и различного рода нелинейных нагрузок, провалов и повышения напряжения;
- проектирование распределительных систем с распределенной генерацией, с учетом перенапряжений в переходных процессах;
- анализ потокораспределения для взаимосвязанных энергосистем с учетом пропускной способности линий электропередач, и многие другие.

Релейная защита – очень ответственная часть электрической системы. От неё зависят надёжность электроснабжения потребителей, масштабы аварий, и часто безопасность людей.

В данной статье разработана модель дифференциальной защиты двухобмоточного трансформатора, которая состоит из нескольких блоков, выбранных из библиотеки программы PSCAD/EMTDC. На рис. 1 представлена функциональная схема модели дифференциальной защиты.

Модель состоит из следующих элементов: блок определения дифференциального тока (Id), блок определения тока торможения (It), программный дифференциальный орган (PD), частотный анализатор (FFT).

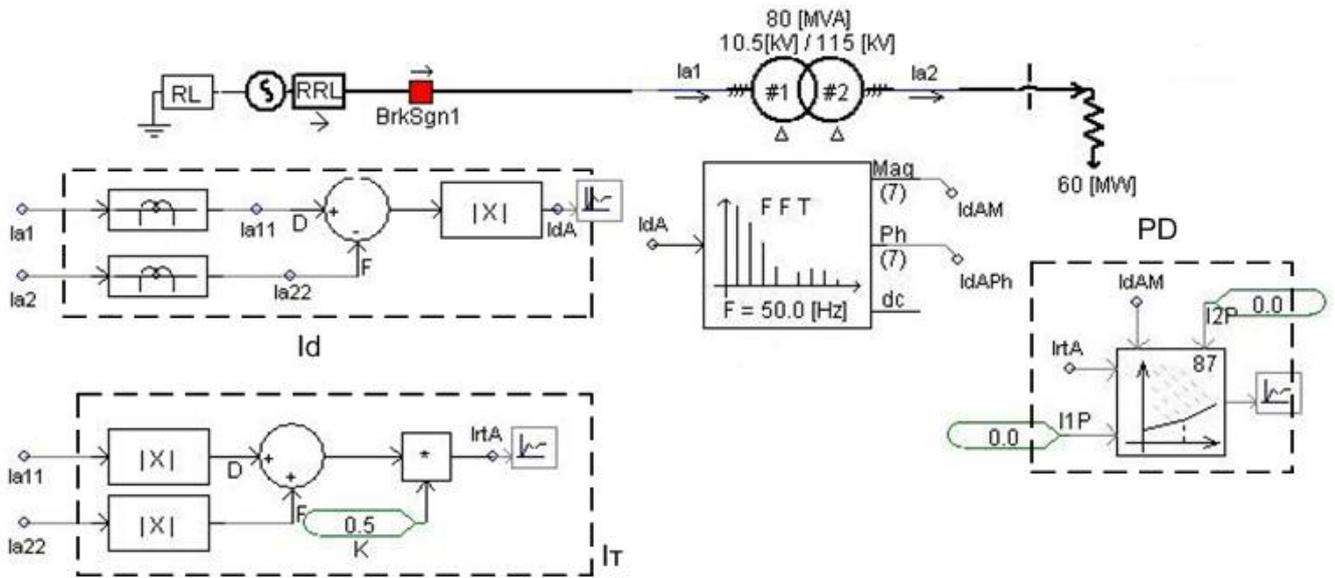


Рис. 1 – Функциональная схема защиты

На вход блока определения дифференциального тока (I_d) поступают значение токов на входе и выходе трансформатора I_{a1} и I_{a2} . В данном блоке происходит формирование сигнала I_{dA} , который определяется, как абсолютное значение суммы этих токов $I_{dA} = |I_{a1} + I_{a2}|$.

Блок определения тока торможения (I_t) осуществляет формирование сигнала тока I_{rTA} , который определяется как $I_{rTA} = 0,5 \cdot (|I_{a1}| + |I_{a2}|)$.

Частотный анализатор (FFT) представляет собой фильтр, в котором происходит выделение амплитудного и фазного значений сигнала, поступающего на вход.

Далее сигналы I_{dAM} и I_{rTA} поступают на вход программного дифференциального органа (PD), условия срабатывания которого можно представить следующим образом:

$$|I_{dA}| > k_{T1} |I_{rTA}| + I_{ДО}, \text{ если } |I_{rTA}| < I_{ТО}; \quad (1)$$

$$|I_{dA}| > k_{T2} |I_{rTA}| - (k_{T2} - k_{T1}) \cdot I_{ТО} + I_{ДО}, \text{ если } |I_{rTA}| \geq I_{ТО}. \quad (2)$$

Для обеспечения срабатывания данного органа необходимо задание уставок (входных параметров) и формирование дифференциального тока и тока торможения.

Входные параметры (уставки) представляют собой следующие величины:

- уставка начального тока срабатывания $I_{ДО}$;
- коэффициент торможения 1 k_{T1} ;
- уставка начального тока торможения $I_{ТО}$;
- коэффициент торможения 2 k_{T2} .

Предварительный расчет уставок можно произвести в программной среде Mathcad, которая позволяет выполнять численные и символьные вычисления, производить операции со скалярными величинами, векторами и матрицами, автоматически переводить одни единицы измерения в другие, также Mathcad имеет довольно простые для усвоения инструменты программирования.

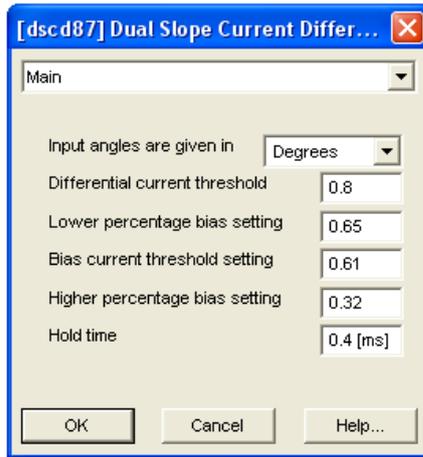


Рис. 2 – Входные параметры дифференциального органа

Дифференциальный ток срабатывания на первом участке характеристики (Рис.3) $I_{Д0}$ при отсутствии торможения рассчитывается по выражению:

$$I_{Д0}^* \geq k_{отс} \cdot I_{нб\ расч}^* \quad (3)$$

где $k_{отс}$ – коэффициент отстройки, учитывающий погрешности измерительного органа терминала, ошибки расчета и необходимый запас, принимается равным $1,1 \div 1,3$ о.е;

$I_{нб\ расч}^*$ – относительный ток небаланса в нормальном режиме работы защищаемого трансформатора, определяется выражением:

$$I_{нб\ расч}^* = (k_{пер} \cdot k_{одн} \cdot \varepsilon + \Delta U_{РПН} + \Delta f_{выр} + \Delta f_{ПТТ}) I_{ном}^*$$

Уставка ток начала торможения $I_{Т0}$, т.е. начало второго наклонного участка характеристики, принимается $I_{Т0}^* = 0,6$ о.е. от базисного тока защищаемого объекта – для трансформаторов и автотрансформаторов с односторонним питанием.

Коэффициент торможения $k_{Т1}$ определяется по следующему выражению:

$$k_{Т1} = \frac{I_{Д}^* - I_{Д0}^*}{I_{Т}^* - I_{Т0}^*} \quad (4)$$

где $I_{Д}^*$ – расчетный дифференциальный ток, вызванный протеканием тока небаланса, рассчитываемого по формуле:

$$I_{нб}^* = k_{пер} \cdot k_{одн} \cdot \varepsilon + \Delta U_{РПН} + \Delta f_{выр} + \Delta f_{ПТТ} \cdot I_{скв}^*$$

где $k_{отс}$ – коэффициент отстройки, принимаемый равным 1,1 о.е.;

ε – относительное значение полной погрешности ТА в режиме КЗ, для ТА типа 10Р погрешность принимается 0,1 о.е., а для ТА типа 5Р – 0,05 о.е. соответственно;

$I_{скв}^*$ – максимальное значение тока, равное току внешнего металлического КЗ, приведенного к базисному, определяется по формуле:

$$I_{скв}^* = \frac{I_{КЗ\ Ме\ стор}}{I_{баз\ стор}} \cdot \frac{k_{сх\ ТА\ стор}}{k_{I\ стор}}$$

I_T^* – расчетный тормозной ток, о.е., определяемый по формуле:

$$I_T^* = \sqrt{I_{СКВ}^* \cdot (I_{СКВ}^* - I_D^*)} \cdot \cos\beta,$$

где α – угол между векторами токов $I_{СКВ}$ и $(I_{СКВ} \text{ и } I_D)$, $\beta=180-\alpha$, в проектных расчетах может быть принят $\beta=10 \div 20^\circ$.

Характеристика срабатывания программного дифференциального органа (PD), представленная на рис. 3, имеет два наклонных участка: участок АВ определяется величиной $I_{ДО}$ и k_{T1} , участок ВС расположен под углом 60° к оси $I_{торм}$. Ломаная А – В – С делит плоскость на две части – область срабатывания и несрабатывания.

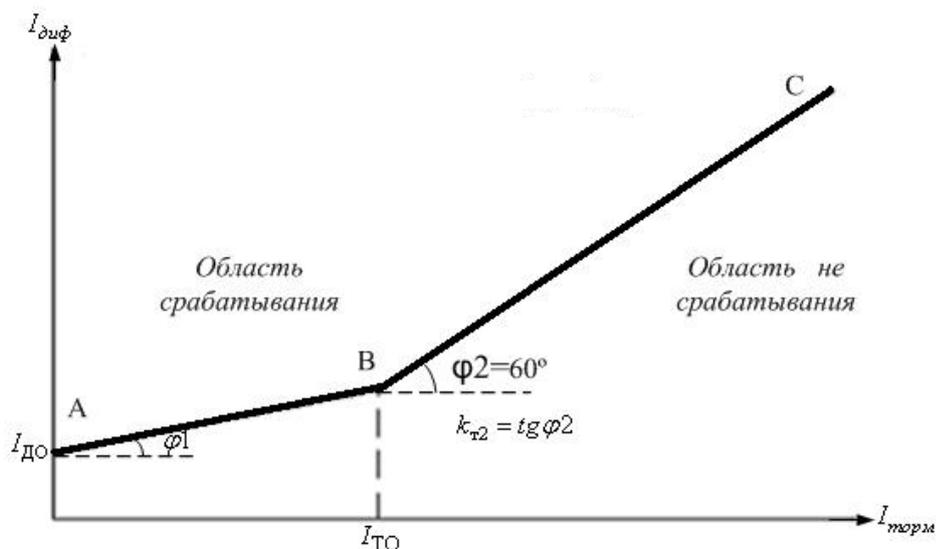


Рис. 3 – Характеристика срабатывания дифференциального реле

Для исследования разработанной дифференциальной защиты трансформатора была смоделирована простейшая схема, состоящая из источника питания, трансформатора, нагрузки и выключателя. Изменение режимов работы электрической сети производилось путем перемещения места короткого замыкания.

Разработанная модель позволяет программно формировать дифференциальные и тормозные токи, выставлять уставки дифференциального органа, а так же визуализировать динамику работы трансформатора при КЗ в зоне и вне зоны действия.

Испытание разработанной модели дифференциальной защиты проводятся в следующем порядке: запуск программы PSCAD; задание параметров первичной цепи; расчёт уставок дифференциального органа в программной среде Mathcad; выставление уставок; запуск модели; получение результата испытаний в виде осциллограмм.

Испытание модели показали, что в случае верного расчёта уставок в динамическом режиме происходит срабатывание испытываемой защиты.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шнеерсон Э. М. – Цифровая релейная защита. – М. Энергоатомиздат, 2007. 549 с.
2. Ершов Ю. А., Халезина О. П., Малеев А. В., Перехватов Д. П. – Электроэнергетика. Релейная защита и автоматика: учеб. пособие по курсовому проектированию релейной защиты и автоматики ЭЭС на базе микропроцессорных устройств – Красноярск: ИПК СФУ, 2011.- 82с.