

МЕТОДИКА И СРЕДСТВА АДЕКВАТНОЙ НАСТРОЙКИ ДИСТАНЦИОННЫХ ЗАЩИТ¹

Ю.С. Боровиков, И.С. Гордиенко, А.О. Сулайманов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет
634050, г. Томск, пр. Ленина, 30

Представлена методика адекватной настройки дистанционных защит, основанная на создании всережимных моделей устройств релейной защиты и автоматики для всережимного моделирующего комплекса реального времени электроэнергетических систем. Разработана модель дистанционной защиты ШДЭ2801. Показана адекватность предложенной методики.

Ключевые слова: *релейная защита, дистанционная защита, моделирование релейной защиты, всережимное моделирование ЭЭС.*

Введение

К основным причинам неправильной настройки (а значит, и неправильной работы) средств релейной защиты (РЗ) можно отнести:

- недостаточно достоверные исходные данные о режимных величинах, используемых при проектировании и эксплуатации РЗ;
- грубый учет погрешностей, обусловленных измерительными трансформаторами и конкретной реализацией устройств РЗ.

Определение используемых при настройке РЗ режимных величин выполняется в основном при помощи программных средств моделирования электроэнергетических систем (ЭЭС), методические и функциональные ограничения являются основными факторами существования первой из обозначенных причин [1].

Повышение достоверности исходных данных возможно при использовании средств моделирования ЭЭС, отвечающих следующим критериям:

- возможность моделирования ЭЭС с учетом всего значимого оборудования с достаточно глубокими их математическими моделями;
- использование трехфазного моделирования для адекватного учета как симметричных, так и несимметричных режимов;
- достоверное воспроизведение начальной стадии переходных процессов режимных величин, используемых при настройке РЗ.

Этим критериям в полной мере удовлетворяет всережимный моделирующий комплекс реального времени электроэнергетических систем (ВМК РВ ЭЭС), разработанный в Томском политехническом университете [1, 2].

Снижение влияния второго фактора обозначенной проблемы возможно при использовании достаточно полных (всережимных) моделей конкретных реализаций РЗ

¹ Работа выполнена в рамках государственного задания «Наука» 7.2826.2011 «Разработка и создание гибридной модели энергоблоков электростанций».

Юрий Сергеевич Боровиков (к.т.н., доцент), заведующий кафедрой «Электроэнергетические системы»

Иван Сергеевич Гордиенко, аспирант.

Алмаз Омурзакович Сулайманов (к.т.н.), доцент кафедры «Электроэнергетические системы».

на основе концепции адекватного моделирования релейной защиты и противоаварийной автоматики энергосистем [3]. К тому же функциональные возможности ВМК РВ ЭЭС предусматривают возможность реализации подобных всережимных математических моделей РЗ.

В данной работе представлена разработанная методика всережимного моделирования дистанционных защит (ДЗ) и рассмотрены основные результаты моделирования широко применяемой ДЗ ШДЭ2801.

Методика всережимного моделирования дистанционных защит

Методика всережимного моделирования ДЗ, разработанная на основе концепции адекватного моделирования релейной защиты и противоаварийной автоматики энергосистем, включает следующие этапы.

1. Разработка всережимных математических моделей РЗ.

1.1. Анализ принципиальных схем РЗ для выявления особенностей их функционирования и формирования адекватных схем замещения.

1.2. Определение методом направленных графов передаточных функций органов РЗ и измерительных преобразователей (измерительных трансформаторов тока и напряжения; промежуточных трансформаторов тока и напряжения) и органов защит, выполняющих непрерывное преобразование сигналов, а также схем сравнения, оказывающих влияние на формирование погрешности при обработке сигналов.

1.3. Табличный учет нелинейности характеристик элементов схем, пренебрежение нелинейностью которых вносит существенные погрешности при моделировании.

1.4. Анализ передаточных функций (ПФ) с использованием теории точности и чувствительности с целью выявления элементов схем замещения, не вносящих существенных погрешностей, и допустимого упрощения полученных математических описаний.

1.5. Преобразование полученных после упрощений ПФ органов РЗ и измерительных трансформаторов в систему дифференциальных уравнений и формирование на их основе полных математических моделей РЗ.

1.6. Тестовые исследования полных математических моделей с помощью программ MathCAD и MATLAB.

2. Реализация всережимных математических моделей

2.1. Реализация математических моделей ДЗ в программной среде ВМК РВ ЭЭС на языке С#.

2.2. Исследование функционирования моделей РЗ в конкретных режимах работы ЭЭС, моделируемых при помощи ВМК РВ ЭЭС.

Реализация методики всережимного моделирования на примере ДЗ ШДЭ2801

Согласно предложенной методике для ШДЭ2801 разработаны математические модели органов реле сопротивления (РС) трех ступеней ДЗ. Составленные ПФ приведены в таблице. Здесь: $A_i, B_i, C_i, D_i, E_i, k_i$ – коэффициенты, определяемые параметрами схемы замещения; Z_μ – сопротивление ветви намагничивания измерительного или промежуточного трансформатора.

значения токов и напряжений посредством формата Comtrade передаются в программу MATLAB.

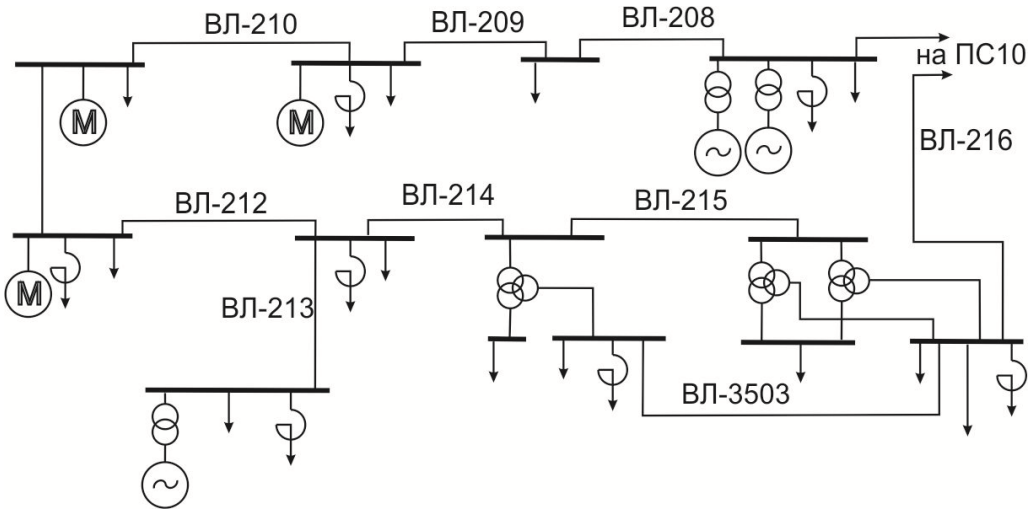


Рис. 1. Моделируемый район ЭЭС

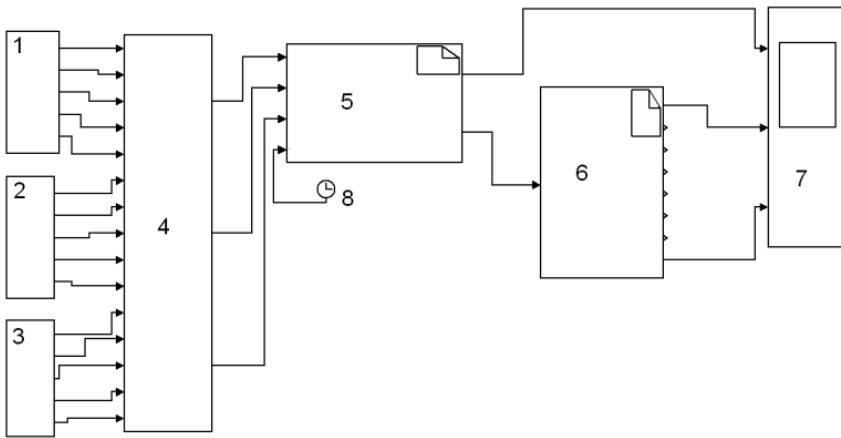


Рис. 2. Тестовая схема модели ДЗ в MATLAB

На рис. 2 приведена схема тестового исследования разработанной модели ДЗ, реализованная в программе MATLAB и выполненная в соответствии с принципиальной схемой РС ДЗ ШДЭ2801 [4]. В блоках 1, 2 и 3 воспроизводятся первичные токи и напряжения для трех режимов и установившегося режима после отключения КЗ. В блоке 4 реализованы математические модели органов ТТ, ТН, ПТТ, ПТН, ФССВ, БП и ФИН, синтезированные на основе приведенных в таблице передаточных функций. В блоке 6 реализована математическая модель PO2. В блоке 5 выполняется алгоритм чередования передаваемых в блок 6 выходных сигналов блока 4, соответствующих нормальному, аварийному и послеаварийному режиму в зависимости от момента времени. Функция счетчика времени реализована в блоке 8. Блок 7 предназначен для формирования осциллограмм выходных сигналов моделируемых органов РС.

Результаты моделирования первой ступени ДЗ ШЭ2801 в MATLAB приведены на рис. 3.

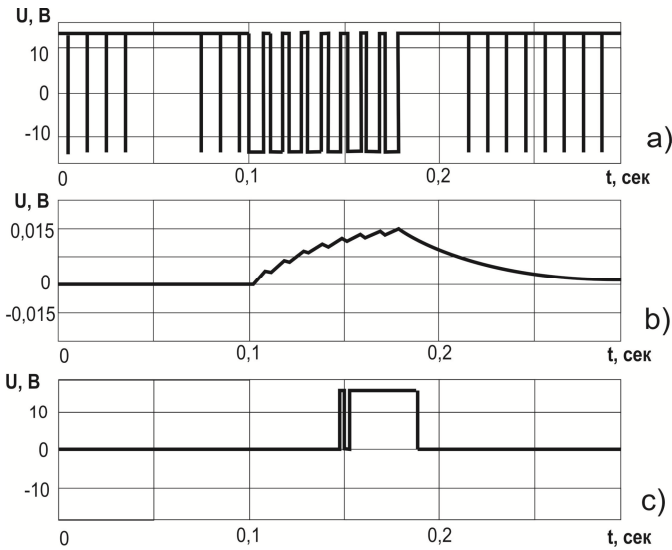


Рис. 3. Осциллограммы функционирования органов первой ступени ДЗ при КЗ вне зоны действия защиты:

- а) функционирование ФИН; б) функционирование интегрирующей части схемы РО;
- в) выходной сигнал срабатывания РО

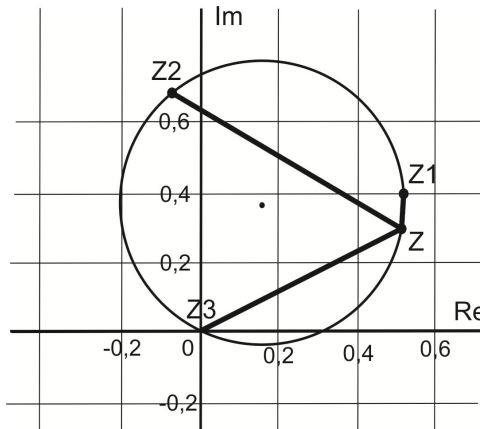


Рис. 4. Характеристика срабатывания РС первой ступени ДЗ

В качестве примера приведен анализ формирования характеристики срабатывания первой ступени ДЗ без учета и с учетом аппаратной реализации блока памяти (БП). Моделируемая характеристика срабатывания первой ступени ДЗ приведена на рис. 4.

В виду того, что принцип функционирования ДЗ ШДЭ2801 базируется на сравнении фаз формируемых величин $\overline{E_1}, \overline{E_2}, \dots, \overline{E_n}$, а характеристика срабатывания первой ступени представляет собой окружность, условием срабатывания РС (попадания точки Z в зону действия РС) является превышение угла между любыми двумя сравниваемыми величинами 120 градусов.

Уставка первой ступени ДЗ задана таким образом, чтобы точка КЗ была на границе срабатывания.

Рассмотрим математическое описание характеристики срабатывания без учета БП:

$$\begin{aligned}\overline{E}_1 &= k_{11} \overline{I}(\overline{Z} - \overline{Z}_1) = -0.004 + j \cdot 0.089; \\ \overline{E}_2 &= k_{12} \overline{I}(\overline{Z} - \overline{Z}_2) = -0.008 + j \cdot 0.004; \\ \overline{E}_3 &= k_{13} \overline{I}(\overline{Z}) = -0.067 + j \cdot 0.046, \text{ где } \overline{Z}_3 = 0.\end{aligned}$$

Сравниваемые значения углов: $\arg\left(\frac{\overline{E}_3}{\overline{E}_1}\right) = 52.8$ град.; $\arg\left(\frac{\overline{E}_3}{\overline{E}_2}\right) = 116.3$ град. –

условие срабатывания не выполняется.

Рассмотрим математическое описание характеристики срабатывания с учетом БП:

$$\begin{aligned}\overline{E}_1 &= k_{11} \overline{I}(\overline{Z} - \overline{Z}_1) = -0.004 + j \cdot 0.089; \\ \overline{E}_2 &= k_{12} \overline{I}(\overline{Z} - \overline{Z}_2) = -0.008 + j \cdot 0.004; \\ \overline{E}_3 &= k_{13} \overline{I}(\overline{Z}) + E_n = -0.067 + j \cdot 0.046 + E_n; \\ \overline{E}_n &= U_C \cdot PF_{BP} = 0.359 \cdot e^{j \cdot 65.5} \cdot 0.03 \cdot e^{j \cdot 0},\end{aligned}$$

где U_C – сопротивление неповрежденной фазы; PF_{BP} – передаточная функция БП.

Сравниваемые значения углов: $\arg\left(\frac{\overline{E}_3}{\overline{E}_1}\right) = 60.4$ град.; $\arg\left(\frac{\overline{E}_3}{\overline{E}_2}\right) = 120.9$ град. –

условие срабатывания выполняется.

Из приведенного примера видно, что угол между сравниваемыми величинами без учета БП и с учетом БП при помощи ПФ, полученной для конкретной аппаратной реализации, существенно отличается при одних и тех же значениях измеряемых величин, что наглядно иллюстрирует необходимость учета аппаратной реализации органов ДЗ для ее более точной настройки.

Выводы

1. Результаты моделирования ДЗ ШДЭ2801 подтверждают возможность реализации детализированных моделей РЗ при помощи ВМК РВ ЭЭС и адекватность функционирования подобного рода моделей в реальном времени.

2. Рассмотренная в работе методика моделирования ДЗ с учетом конкретных реализаций и измерительных трансформаторов также применима для разработки всережимных математических моделей других видов защит.

3. Применение моделей ДЗ с учетом конкретных реализаций и измерительных трансформаторов позволяет выполнять исследование особенностей их функционирования в конкретных режимах ЭЭС для их правильной настройки и повышения надежности функционирования ЭЭС в целом.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гусев А.С. Концепция и средства всережимного моделирования в реальном времени электроэнергетических систем // Известия Вузов. Проблемы энергетики. – 2008. – № 9-10/1. – С. 164-170.
2. Сулайманов А.О., Прохоров А.В., Боровиков Ю.С., Гордиенко И.С., Андреев М.В. Автоматизированный комплекс тестирования, настройки и разработки систем управления,

релейной защиты и противоаварийной автоматики // Материалы Международной научно-практической конференции и выставки «Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем России». – Чебоксары, 17-20 апреля 2012. – РЕЛАВЭКСПО – 2012.

3. Сулайманов А. О., Андреев М.В., Рубан Н.Ю. Концепция адекватности моделирования релейной защиты // Электричество. – 2012. – № 6. – С. 17-21.
4. Устройства дистанционной и токовой защит типов ШДЭ2801, ШДЭ2802 / А.Н. Бриг, Г.С. Нудельман, Э.К. Федоров и др. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 144 с.: ил.

Статья поступила в редакцию 21 февраля 2013 г.

METHOD AND MEANS FOR ADEQUATE PROTECTION SETTINGS REMOTE

Y. S. Borovikov, I.S. Gordienko, A.O. Sulaymanov

National Research Tomsk Polytechnic University
30, Lenin Avenue, Tomsk, 634050

A method of setting an adequate distance relay based on the creation of variable speed models of relay protection and automatic variable speed for modeling complex real-time power systems. The model of distance protection SHDE2801. Adequacy of the proposed methodology.

Keywords: relay protection, distance protection, modeling relays, variable speed modeling Electric power systems.

*Yury S. Borovikov (PhD), Associate Professor .
Ivan S. Gordienko, Assistant.
Almaz O. Sulaymanov (PhD), Associate Professor.*