

3. Федосеев А.М. Релейная защита электроэнергетических систем. — М.: Энергоатомиздат, 1984.

4. Прутик А.Ф., Шмойлов А.В. Алгоритм оценки технической эффективности средств релейной защиты и автоматики. — Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока, 2009, спец. вып. №1.

5. Прутик А.Ф., Шмойлов А.В. Разработка алгоритмов программ для настройки и оценки технической эффективности релейной защиты. — Электричество, 2009, № 12.

*Авторы: Прутик Алексей Федорович окончил электроэнергетический факультет ТПУ в 2009 г.*

*Аспирант, ассистент кафедры электроэнергетических сетей и систем ТПУ.*

*Шмойлов Анатолий Васильевич окончил электроэнергетический факультет ТПИ в 1962 г. В 1968 г. защитил кандидатскую диссертацию «Исследование и применение низкочастотных параметрических генераторов в релейной защите». Доцент кафедры электроэнергетических сетей и систем ТПУ.*

\* \* \*

## Концепция адекватного моделирования релейной защиты и противоаварийной автоматики энергосистем<sup>1</sup>

СУЛАЙМАНОВ А.О., АНДРЕЕВ М.В., РУБАН Н.Ю.

*Приведено обоснование актуальности адекватного моделирования релейной защиты (РЗ) и противоаварийной автоматики (ПА) энергосистем. Рассмотрены и обоснованы концепция всевозможного моделирования в реальном времени РЗ и ПА и ее реализация. Представлены фрагменты экспериментальных исследований практического осуществления разработанной концепции.*

*Ключевые слова: интеллектуальные энергосистемы, релейная защита, противоаварийная автоматика, концепция, моделирование*

Эффективность релейной защиты (РЗ) и противоаварийной автоматики (ПА) в значительной мере зависит от правильности их настройки для спектра возможных процессов в оборудовании и энергосистемах в целом. Очевидно, что при осуществляемых в настоящее время длительно фиксированных, неадаптируемых к режимам, настройках (уставках) устройств РЗ и ПА сложно обеспечить их эффективность в диапазоне всевозможных режимов. Поэтому и особенно с появлением и внедрением микропроцессорных средств РЗ и ПА все активнее рассматривают и обсуждаются проблемы адаптируемости настроек РЗ и ПА [1] и задачи повышения распознавания аварийных ситуаций [2].

Актуальность этих проблем еще более возрастает для создаваемых интеллектуальных энергосистем с активно-адаптивными электрическими сетями (ИЭС с ААС), в которых в результате внедрения быстродействующих устройств FACTS на базе

*The need of constructing adequate models of relay protection and emergency controls of power systems is substantiated. A concept of constructing all-variable real-time models of relay protection and emergency controls and its implementation are considered and substantiated. Fragments of experimental studies aimed at practically implementing the developed concept are presented.*

*Key words: intellectual power systems, relay protection, emergency controls, concept, simulation*

современной силовой электроники многие элементы и электрические сети в целом, являясь и без этого динамическими, приобретают дополнительно специфические параметрически- и режимно-непрерывные сугубо динамические свойства, способные оказывать существенное влияние на функционирование РЗ и ПА.

Среди факторов, влияющих на правильность настройки РЗ и ПА, основными являются полнота и достоверность информации о режимных величинах, на которые реагируют средства РЗ и ПА, и преобразование этой информации данными средствами.

Достоверность и полнота информации о режимных величинах, необходимой для расчета настроек РЗ и ПА, обеспечиваются созданием и применением соответствующих средств расчета режимов и процессов в энергосистемах.

Что касается полноты и достоверности информации о преобразованиях режимных величин в конкретных средствах РЗ и ПА, также используемой при определении настроек (в настоящее время обычно в виде обобщенных коэффициентов), то для достижения нужного уровня, в отличие от су-

<sup>1</sup> Работа выполнена при поддержке ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технического комплекса России на 2007—2013 гг.» ГК № 16.513.11.3123.

шествующего, необходимо более полно и достоверно совместно моделировать процессы в оборудовании и энергосистемах в целом и средствах РЗ и ПА с учетом особенностей их конкретных реализаций и измерительных трансформаторов.

Позволяющая осуществить данный подход концепция адекватного моделирования РЗ и ПА энергосистем, ориентированная на реализацию средств всережимного моделирования в реальном времени ИЭС с ААЭ, состоит из следующих положений.

1. Для достижения требуемой полноты и достоверности моделирования функционирования РЗ и ПА необходимо синтезировать всережимные математические модели всех видов конкретных средств с учетом значимых особенностей их реализации и измерительных трансформаторов, адекватно воспроизводящих протекающие в них процессы, при всевозможных нормальных, аварийных и послеаварийных режимах работы оборудования и энергосистем в целом.

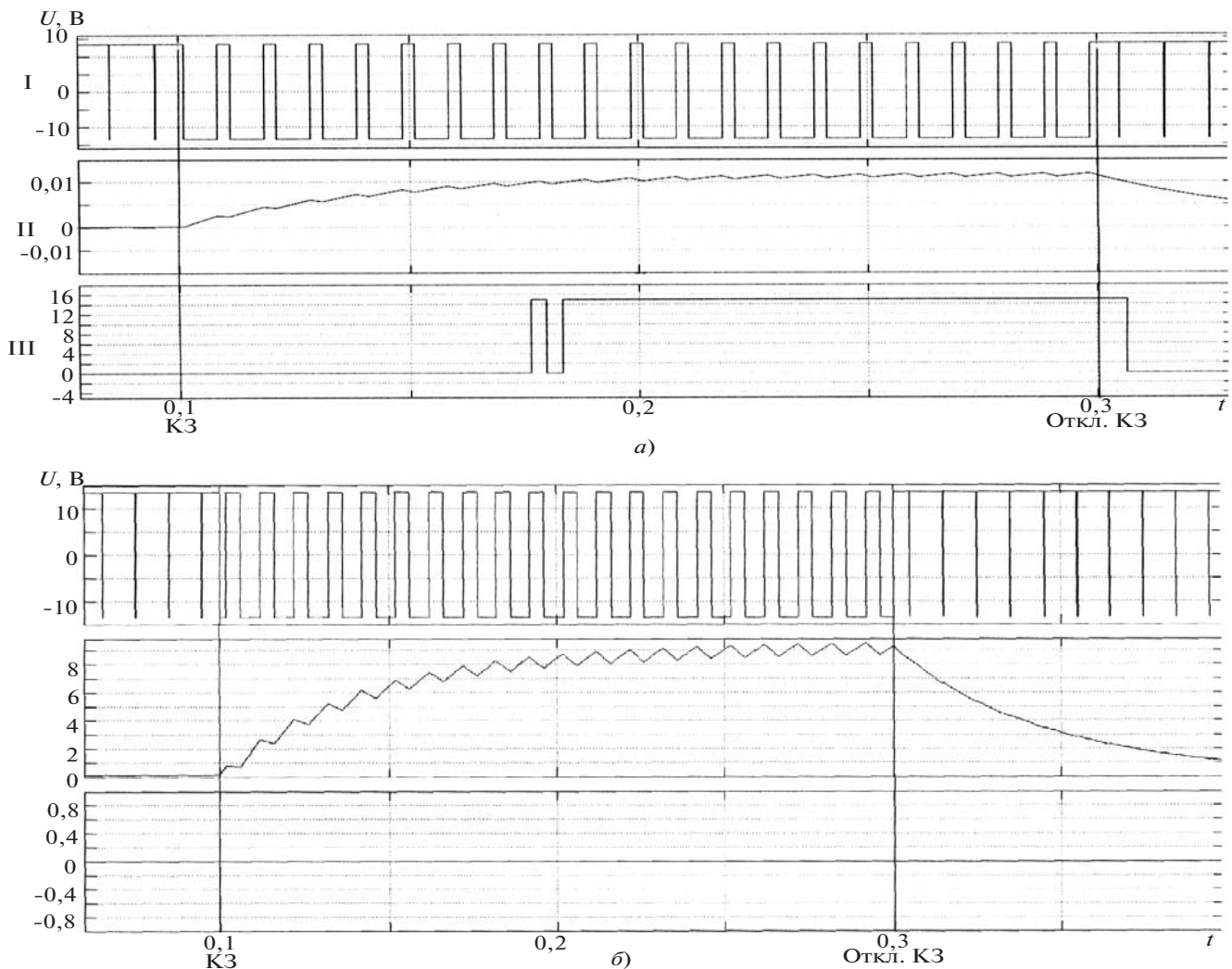
2. Для реализации всережимных математических моделей РЗ и ПА в указанных средствах моделирования энергосистем использовать микропроцессоры специализированных гибридных процессоров (СГП) данных средств.

3. Для осуществления всех необходимых информационно-управляющих функций использовать информационно-управляющую систему названных средств моделирования энергосистем.

Реализация первого положения включает:

анализ принципиальных схем реальных РЗ, ПА и составление их схем замещения, учитывающих элементы, оказывающие значимое влияние на погрешность функционирования РЗ и ПА, включая измерительные трансформаторы;

синтез на основе схем замещения математических моделей, достаточно полно и достоверно описывающих нормальные и аномальные процессы, протекающие в измерительных трансформаторах и РЗ, ПА; при решении этой задачи наиболее пред-



**Рис. 1.** Осциллограммы функционирования блоков первой ступени дистанционной защиты при КЗ в зоне действия данной ступени (а) и вне зоны действия (б): I — функционирование формирователя импульсов несовпадения; II — функционирование интегрирующей части регулирующего органа; III — функционирование логической части реагирующего органа

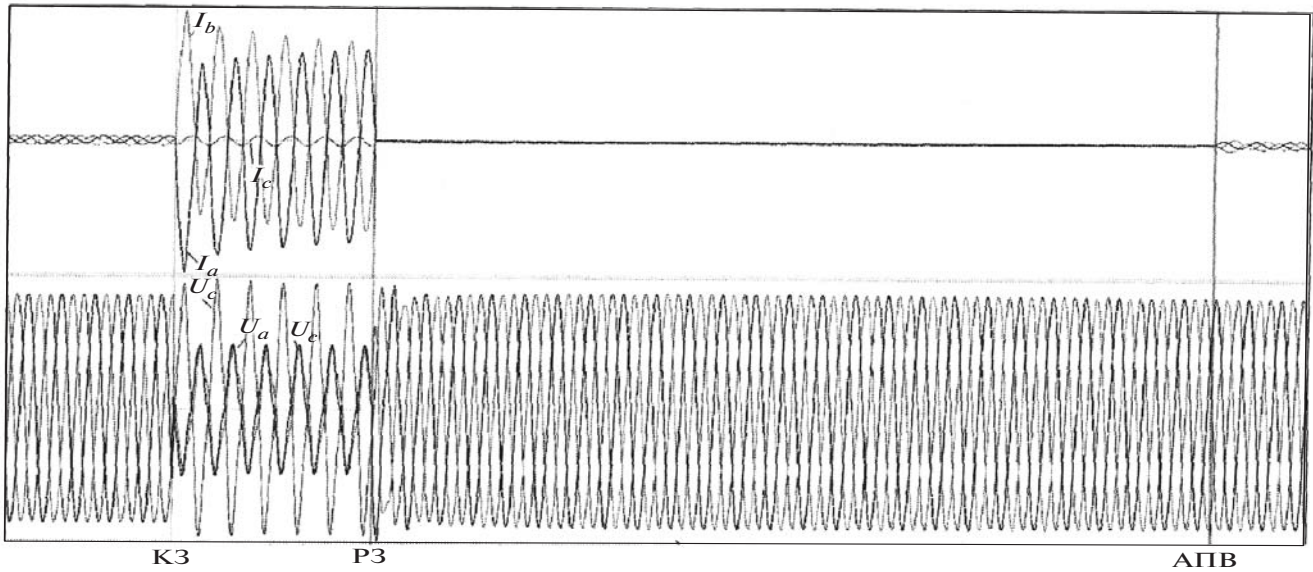


Рис. 2. Оциллограммы токов и напряжений линии электропередачи при функционировании первой ступени дистанционной защиты при КЗ в зоне действия данной ступени

почтительным является использование метода направленных графов, с помощью которого записываются передаточные функции моделируемых средств;

проведение оценочной проверки синтезированных математических моделей РЗ и ПА в частотной и временной областях с помощью программного комплекса Matlab.

Второе положение реализуется путем составления программ численного решения полученных на основе передаточных функций дифференциальных уравнений и выполняемых РЗ и ПА логических функций, в соответствии с которыми программируются микропроцессоры СГП средств моделирования энергосистем.

Реализация третьего положения концепции определяется его содержанием.

Рассмотренные концепции и ее реализация позволяют надежно и эффективно решать ранее названные задачи, включая разработку и исследование алгоритмов адаптации настроек РЗ и ПА энергосистем, в том числе ИЭС с ААС.

На рис. 1 и 2 приведены фрагменты результатов экспериментальных исследований, выполненных с помощью программного комплекса Matlab, разработанной концепции адекватного моделирования РЗ и ПА энергосистем на примере первой ступени дистанционной защиты ШДЭ 2801 [3]. В таблице представлен Си-код, описывающий функционирование блоков первой ступени дистанционной защиты ШДЭ 2801.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

LogicFSSV	<pre> /* амплитуда и угол комплексного кф. K12 для уставки Zust=0,9, фмч=75 град*/double A12=0,1717; double a12=105; /* амплитуда и угол комплексного кф. k22 для уставки Zust=0,9, фмч=75 град*/double A22=0,1711; double a22=45; double ka=0,816; kb=ka/ktv;/* зависящая от задаваемых пользователем уставок величина*/ ia[0]=kc*Ia[0]; ib[0]=kc*Ib[0]; ic[0]=kc*Ic[0]; ua[0]=kb*Ua[0]; ub[0]=kb*Ub[0]; uc[0]=kb*Uc[0]; /*вычисление iab, uab*/ iab[0]=ia[0]-ib[0]; uab[0]=ua[0]-ub[0]; /*вычисление E1, E2, E3*/ E1[0]=k11* uab[0]+ComplexProduct(iab, A12, a12); E2[0]=k11*uab[0]+k22[0]+ComplexProduct(iab, A22, a22); E3[0]=k11*uab[0];                     </pre>
Ep1, Eh2, Eh3	<pre> double const dt=0,0001; double B1, A2, B2, C2, D2, B11, B22, C22&lt; D22; B1=0,0015;//передаточная функция W1 органа подпитки A2=0,002, B2=0,718, C2=197,09, D2=37513;                     </pre>

	<pre> A2=0,002, B2=0,718, C2=197,09, D2=37513; B11=0,0015;//передаточная функция W2 органа подпитки A22=0,002, B22=0,718, C22=197,09, D22=37513; //решение методом Эйлера//передаточная функция W1 Z1[0]+=(Uout1[0]*D2)*dt; Z2[0]+=(Uout[0]*C2+Z1[0])*dt; Z3[0]+=(Uout1[0]*B2-Uin[0]*B1+Z2[0])*dt; Uout1[0]=(-1/A2)*Z3[0]; //передаточная функция W2 Z11[0]+=(Uout2[0]*D22)*dt; Z22[0]+=(Uout2[0]*C22+Z11[0])*dt; Z33[0]+=(Uout2[0]*B22-Uin2[0]*B11+Z22[0])*dt; Uout2[0]=(-1/A22)*Z33[0]; //выходной сигнал Uout[0]=Uout1[0]+Uout2[0]; </pre>
FIN1m, FIN2m, FIN3m	<pre> if((E1[0]&lt;0)&amp;(E2[0]&lt;0)&amp;((E3[0]+En[0]&lt;0)){y0[0]=13,5}; else if ((E1[0]&gt;0)&amp;(E2[0]&gt;0)&amp;((E3[0]+En[0]&gt;0)){y0[0]=13,5}; else if((E1[0]==0)&amp;(E2[0]==0)&amp;((E3[0]+En[0]==0)){y0[0]=13,5}; else{y0[0]=-13,5}; </pre>
Perehod1	<pre> double const dt=0,01;//постоянная времени для переключения double const step=0,001;//шаг по времени if(t[0]&gt;0&amp;&amp; t[0]&lt;=50*dt) {Uout[0]=norm[0]}; if(t[0]&gt;50*dt&amp;&amp; t[0]&lt;=100*dt){Uout[0]=KZ[0]}; if(t[0]&gt;100*dt&amp;&amp; t[0]&lt;=150*dt){Uout[0]=postKZ[0]}; if(Uout[0]&lt;0){Uout1[0]=Uout[0]}; else {Uout1[0]=0}; </pre>
logic1_Po2	<pre> double const dt=0,0001; double B1, C1, D1, E1; double A2, B2, C2, D2, E2 double f=0,0098; double tZ1, tZ2, Z3; if(Uin1[0]&lt;=0){E1=-29,998}; D2=1099,2, E2=25516; Z1[0]+=(Uout[0]*E2-Uin1[0]*E1)*dt; Uont[0]=(-1/D2)*Z1[0]; else{E1=-29,998; D2=1099,2 E2=25516; Z1[0]+=(Uout[0]*E2-Uin1[0]*E1)*dt; Uout[0]=(-1/d2)*Z1[0]; if(Uout[0]&gt;=f){y1[0]=15}; else{y1[0]=0} </pre>

1. Шнейерсон Э.М. Ш76 Цифровая релейная защита. – М.: Энергоатомиздат, 2007.

2. Лямец Ю.Я., Подшивалин А.Н., Нудельман Г.С. Развитие теоретических основ микропроцессорной релейной защиты. – Сб. докладов XX научно-техн. конф. «Релейная защита и автоматика энергосистем 2010». – М., 2010.

3. Бриг А.Н., Нудельман Г.С., Федоров Э.К. и др. Устройства дистанционной и токовой защит типов ШДЭ2901, ШДЭ2802. – М.: Энергоатомиздат, 1988.

*Авторы: Сулайманов Алмаз Омурзакович окончил электроэнергетический факультет ТПИ в 1991 г. В 2009 г. в ТПУ защитил кандидатскую дис-*

*сертацию «Неактивная мощность и ее составляющие в электроэнергетических системах». Доцент кафедры «Электроэнергетические системы» ТПУ.*

*Андреев Михаил Владимирович окончил ТПУ в 2010 г. Аспирант кафедры «Электроэнергетические системы» ТПУ.*

*Рубан Николай Юрьевич окончил ТПУ в 2010 г. Аспирант кафедры «Электроэнергетические системы» ТПУ.*

### Уважаемые авторы!

Редакция публикует при каждой статье краткие сведения об авторах. В связи с этим просим вас при направлении статьи в редакцию сообщать:

полные имена и отчества всех авторов;

какой факультет, какого вуза и когда закончил;

когда получил ученую степень, где и по какой тематике (теме) была защита;

место работы и должность.

Кроме того, напоминаем, что на каждую статью следует представлять краткий (4–5 предложений) реферат на русском и английском языках (включая название), а также ключевые слова.