

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ  
Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования  
«ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

---

**Н.В. Кояин, Л.С. Удуг, О.П. Мальцева**

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ  
АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ  
ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ**

**Часть 5**

**Применение программы DORA-FUZZY  
для имитационного моделирования  
автоматизированных электроприводов**

Издание второе,  
переработанное и дополненное

*Допущено УМО по образованию в области энергетики и электротехники  
в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений,  
обучающихся по специальности 140604 – «Электропривод и автоматика  
промышленных установок и технологических комплексов» направления  
подготовки 140600 – «Электротехника, электромеханика  
и электротехнологии»*

Издательство  
Томского политехнического университета  
Томск 2007

УДК 68–83–52

К76

**Кояин Н.В.**

К76 Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Ч. 5. Применение программы DORA-FUZZY для имитационного моделирования автоматизированных электроприводов: учебное пособие / Н.В. Кояин, Л.С. Удут, О.П. Мальцева. – Издание 2-е, переработанное и дополненное. – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2007. – 180 с.

В учебном пособии рассматривается программа DORA-FUZZY в плане ее применения для решения задач имитационного моделирования нелинейных систем автоматизированного электропривода. Приведены инструкция пользователя и описание программы, даны примеры ее практического применения для целей проектирования и исследования систем регулируемого и следящего электропривода.

Пособие предназначено для студентов специальности 140604 – «Электропривод и автоматика промышленных установок и технологических комплексов».

УДК 68–83–52

Рекомендовано к печати Редакционно-издательским советом  
Томского политехнического университета

*Рецензенты*

Доктор технических наук, профессор  
Томского университета систем управления и радиоэлектроники  
*В. А. Бейнарович*

Кандидат технических наук, доцент  
Северской государственной технологической академии  
*С. Н. Кладиев*

© Томский политехнический университет, 2007

© Оформление. Издательство Томского политехнического университета, 2007

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Удут Л.С., Мальцева О.П., Кояин Н.В. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Ч. 3. Электрические машины постоянного тока в системах автоматизированного электропривода: учеб. пособие. – 2-е изд., перераб. и доп. – Томск: Изд-во ТПУ, 2007. – 152 с.
2. Электроприводы комплектные тиристорные серии КТЭ. ЛК 08.30.05 – 89. Информэлектро, 1989.
3. Удут Л.С., Мальцева О.П., Кояин Н.В. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Часть 1. Введение в технику регулирования линейных систем. Часть 2. Оптимизация контура регулирования: учеб. пособие. – 2-е изд., перераб. и доп. – Томск: Изд-во ТПУ, 2007. – 156 с.
4. Лебедев Е.Д., Неймарк В.Е., Пистрак М.Я., Слежановский О.В. Управления вентильными электроприводами постоянного тока. – М.: Энергия, 1970. – 200 с.
5. Фишбейн В.Г. Расчет систем подчиненного регулирования вентиляционного электропривода постоянного тока. – М.: Энергия, 1972. – 136 с.
6. Справочник по проектированию автоматизированного электропривода и систем управления технологическими процессами/ под ред. В. И. Круповича, Ю. Г. Барыбина, М. Л. Самовера. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоиздат, 1982. – 416 с.
7. Электроприводы унифицированные трехфазные серии ЭПУ1. Отраслевой каталог 0.8.41.11 – 92. М.: Информэлектро, 1993.
8. Электропривод унифицированный трехфазный серии ЭПУ1...П. Паспорт. ИГФР. 654673.001ПС.
9. Комплектные системы управления электроприводами тяжелых металлорежущих станков/под ред. А.Д. Поздеева: – М.: Энергия, 1980. – 288 с.
10. Удут Л.С., Мальцева О.П., Кояин Н.В. Проектирование автоматизированных тиристорных электроприводов постоянного тока: учебное пособие. – Томск: Изд. ТПИ им. С.М. Кирова, 1991. – 104 с.
11. ГОСТ 25778-83. Электроприводы подачи постоянного тока металлорежущих станков с числовым программным управлением. Общие технические требования. – М.: Издательство стандартов, 1983.
12. Удут Л.С., Кояин Н.В., Мальцева О.П. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Ч. 4. Тиристорные преобразователи для электроприводов постоянного тока: учеб. пособие – 2-е изд., перераб. и доп. – Томск: Изд-во ТПУ, 2007. – 164 с.
13. Мальцева О.П., Удут Л.С., Кояин Н.В. Системы управления электроприводов.: учеб. пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2007. – 152 с.
14. Удут Л.С., Мальцева О.П., Кояин Н.В. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Ч. 7. Теория оптимизации непрерывных многоконтурных систем управления электроприводов: учеб. пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2007. – 164 с.

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	<b>3</b>
<b>1. ИНСТРУКЦИЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ПРОГРАММЫ <i>DORA</i></b> .....	<b>4</b>
<b>1.1. Запуск программы</b> .....	<b>4</b>
<b>1.2. Интерфейс программы</b> .....	<b>4</b>
<b>1.3. Методика работы с программой <i>DORA</i></b> .....	<b>8</b>
<b>1.4. Краткий словарь слов и выражений</b> .....	<b>13</b>
<b>2. ТИПОВЫЕ БЛОКИ ПРОГРАММЫ <i>DORA</i></b> .....	<b>14</b>
<b>2.1. Функциональный (задающий) генератор</b> .....	<b>14</b>
2.1.1. Генератор <i>PULS</i> – генератор импульсных сигналов . . .	14
2.1.2. Генератор <i>FAHRKURVE</i> – формирователь траектории движения .....	16
2.1.3. Генератор <i>DATEI</i> – данные .....	17
2.1.4. Генератор <i>ZUFALLSGENERATOR</i> – генератор случайных чисел .....	17
2.1.5. Генератор <i>FUNKTION</i> – функциональный генератор . .	18
<b>2.2. Звенья арифметического сопряжения – <i>Arithmetische Verknüpf</i></b>	<b>20</b>
2.2.1. <i>ADD</i> – сумматор .....	20
2.2.2. <i>SUB</i> – вычитатель .....	20
2.2.3. <i>MULT</i> – умножитель .....	20
2.2.4. <i>DIV</i> – делитель .....	21
2.2.5. <i>MAX</i> – звено выделения максимума .....	21
2.2.6. <i>MIN</i> – звено выделения минимума .....	22
<b>2.3. Блоки линейной системы – <i>Lineare Systeme</i></b> .....	<b>22</b>
2.3.1. Пропорциональное звено – <i>Proportionalglied (P)</i> .....	22
2.3.2. Интегрирующее звено <i>INT</i> .....	23
2.3.3. Дифференцирующее звено <i>DIFF</i> .....	24
2.3.4. Рациональное (интегродифференцирующее) звено 1 порядка <i>PD-TI (Lead-Lag)</i> .....	25
2.3.5. Система второго порядка с комплексным собственным значением (колебательное звено) <i>P-T2</i> .....	26
2.3.6. Система второго порядка с реальными собственными значениями (апериодическое звено 2-го порядка) <i>P-T1-T2</i>	27
2.3.7. Инерционное звено <i>n</i> -го порядка <i>P-T1-N</i> .....	28
2.3.8. Секция фазового фильтра (тип 1) <i>P-TA-KA</i> .....	30
2.3.9. Секция фазового фильтра (тип 2) <i>P-TA-T2</i> .....	31
2.3.10. Пропорционально-интегрально-дифференцирующее звено <i>PID</i>	33
2.3.11. Звено постоянного запаздывания <i>TZ</i> .....	37
<b>2.4. Блоки нелинейной системы – <i>Nicht Lineare Systeme</i></b> .....	<b>38</b>
2.4.1. Исполнительное звено с ограничением скорости нарастания (здатчик интенсивности) <i>AGB</i> .....	38

2.4.2. Звено ограничения <i>BGRZ</i> . . . . .	39
2.4.3. Звено <i>HAFTINT</i> – интегрирование с характеристикой трения	40
2.4.4. Звено гистерезиса <i>HYST</i> . . . . .	41
2.4.5. Исполнительное звено с постоянной скоростью нарастания <i>KAG</i> . . . . .	42
2.4.6. Звено кусочно-линейной аппроксимации <i>PGON</i> . . . . .	43
2.4.7. Звено нечувствительности / звено допуска <i>UZVL</i> . . . . .	44
2.4.8. Двух-трехпозиционный релейный регулятор с обратными связями <i>ZDP</i> . . . . .	46
<b>2.5. Трансляторы – <i>Ubertrager</i> . . . . .</b>	<b>48</b>
2.5.1. Функциональный интерпретатор <i>FUNK</i> . . . . .	48
2.5.2. Расширенный функциональный интерпретатор <i>EFUNK</i>	49
2.5.3. Модулятор ширины и длительности импульсов ( <i>Pulsmodulation – PM</i> ) . . . . .	49
<b>2.6. Линейные и дискретные системы – <i>Lineare und diskrete Systeme</i></b>	<b>53</b>
2.6.1. Передаточная функция до 6-го порядка включительно <i>UFKT</i> . . . . .	53
<b>2.7. Приемники (индикаторы) – <i>Senken</i> . . . . .</b>	<b>53</b>
2.7.1. Запись матрицы данных ( <i>Mult-Out</i> ) . . . . .	54
2.7.2. Двухкоординатный графопостроитель ( <i>T-Out</i> ) . . . . .	54
2.7.3. Осциллограф ( <i>G-Out</i> ) . . . . .	55
<b>2.8. Краткий словарь слов и выражений. . . . .</b>	<b>56</b>
<b>3. БЛОКИ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ (СОЗДАНИЕ СУПЕРБЛОКОВ) . .</b>	<b>58</b>
<b>3.1. Управляемый задатчик интенсивности . . . . .</b>	<b>58</b>
3.1.1. Управляемый линейный задатчик интенсивности . . . . .	59
3.1.2. Управляемый S-образный задатчик интенсивности . . . . .	60
<b>3.2. Присвоение знака . . . . .</b>	<b>61</b>
<b>3.3. Ограничение управлений . . . . .</b>	<b>62</b>
3.3.1. Ограничение на постоянном уровне . . . . .	62
3.3.2. Зависимое ограничение . . . . .	62
<b>3.4. Пропорциональный регулятор с ограничением выходного напряжения . . . . .</b>	<b>63</b>
3.4.1. Пропорциональный регулятор с постоянным ограничением	63
3.4.2. Пропорциональный регулятор с зависимым ограничением . .	64
3.4.3. Адаптивный пропорциональный регулятор . . . . .	64
<b>3.5. Пропорционально-интегрально-дифференциальный регулятор с ограничением выходного напряжения . . . . .</b>	<b>65</b>
3.5.1. ПИД-регулятор с постоянным ограничением . . . . .	65
3.5.2. ПИД-регулятор с зависимым ограничением . . . . .	67
3.5.3. Адаптивный ПИД-регулятор . . . . .	68

<b>3.6. Инерционная масса</b> .....	<b>71</b>
3.6.1. Инерционная масса с постоянным значением момента сопротивления реактивного характера .....	71
3.6.2. Инерционная масса с переменным значением момента инерции и момента сопротивления реактивного характера	72
<b>4. ПРИМЕРЫ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОГРАММЫ <i>DORA-FUZZY</i></b> ..	<b>75</b>
<b>4.1. Индивидуальный электропривод валков прокатного стана, выполненный по системе генератор–двигатель с тиристорным возбудителем генератора</b> .....	<b>75</b>
4.1.1. Предварительный расчет параметров элементов структурной схемы силового канала электропривода ...	75
4.1.2. Оптимизация внутреннего контура ЭДС генератора ...	80
4.1.3. Оптимизация контура тока якорной цепи .....	84
4.1.4. Оптимизация контура скорости .....	91
4.1.5. Коррекция настройки САУ электропривода методом имитационного моделирования .....	97
<b>4.2. Широкорегулируемый тиристорный электропривод производственного механизма</b> .....	<b>112</b>
4.2.1. Предварительный расчет параметров элементов структурной схемы силового канала электропривода ..	112
4.2.2. Оптимизация контуров регулирования линейаризованной структурной схемы САУ электропривода .....	115
4.2.3. Исследование линейаризованной САУ электропривода на имитационной модели .....	123
4.2.4. Исследование нелинейной структурной схемы САУ электропривода на имитационных моделях .....	127
<b>4.3. Следящий тиристорный электропривод производственного механизма</b> .....	<b>141</b>
4.3.1. Предварительный расчет параметров элементов структурной схемы силового канала следящего электропривода ....	141
4.3.2. Оптимизация контуров регулирования линейаризованной структурной схемы САУ следящего электропривода ..	142
4.3.3. Исследование линейаризованной САУ позиционного электропривода на имитационной модели .....	147
4.3.4. Исследование нелинейной САУ позиционного электропривода на имитационных моделях .....	151
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ</b> .....	<b>175</b>
<b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ</b> .....	<b>176</b>

**Николай Вадимович Кояин  
Леонид Степанович Удут  
Ольга Павловна Мальцева**

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ  
АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ**

**Часть 5  
Применение программы DORA-FUZZY  
для имитационного моделирования  
автоматизированных электроприводов**

Учебное пособие

**Научный редактор  
доктор технических наук, профессор Р.Ф. Бекишев  
Редактор О.Н. Свинцова**

Подписано к печати 25.12.2007. Формат 60x84/16.  
Бумага «Классика».  
Печать RISO. Усл.печ.л. 10,46. Уч.-изд.л. 9,47.  
Заказ . Тираж 150 экз.

Томский политехнический университет  
Система менеджмента качества  
Томского политехнического университета  
сертифицирована NATIONAL QUALITY ASSURANCE  
по стандарту ISO 9001:2000



**ИЗДАТЕЛЬСТВО**  **ТПУ**. 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30.