

Л. С. Удут, О. П. Мальцева, Н. В. Кояин

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ
АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ
ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ**

Часть 7

**Теория оптимизации непрерывных многоконтурных
систем управления электроприводов**

Учебное пособие

*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

УЗ1

Удут Л.С.

УЗ1 Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Ч. 7. Теория оптимизации непрерывных многоконтурных систем управления электроприводов: учебное пособие / Л.С. Удут, О.П. Мальцева, Н.В. Кояин. – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2007. – 164 с.

В учебном пособии рассмотрены теоретические вопросы оптимизации контуров регулирования многоконтурных структур САУ электроприводов. Наряду с параметрической оптимизацией контура рассматриваются вопросы выбора структуры регулятора в прямом канале и структуры корректирующих устройств в цепи обратной связи и во входной цепи контура.

Предназначено для студентов, обучающихся по специальности 140604 – «Электропривод и автоматика промышленных установок и технологических комплексов», и магистров, обучающихся по магистерской программе 140611 – «Электроприводы и системы управления электроприводов» направления подготовки 140600 – «Электротехника, электромеханика и электротехнологии».

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. Kessler C. Über die Vorausberechnung optimal abgestimmter Regelkreise. Teil III. Die optimale Einstellung des Reglers nach dem Betragsoptimum // Regelungstechnik. – 1955. – В. 3. – Н. 2. – С. 40–49.
2. Kessler C. Das symmetrische Optimum. Teil I und III // Regelungstechnik. – 1958. – В. 6. – Н. 11. – С. 395–400; Н. 12. – С. 432–436.
3. Фреп Ф., Орттенбургер Ф. Введение в электронную технику регулирования: пер. с нем. – М.: Энергия, 1973. – 192 с. (гл. 5).
4. 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: учебное пособие. – 2-е изд. перераб. и доп. – Томск: Изд-во ТПУ, 2007. – 156 с.
5. Aström K.J., Hägglung T. PID Controllers: theory, design and tuning. North Carolina. Instrument society of America. 2-d Edition, 1995.
6. Кояин Н.В., Мальцева О.П., Удут Л.С. Оптимизация контуров регулирования систем электропривода по типовым методикам // Известия ТПУ. – 2005. – Т. 308. – № 7. – С. 120–125.
7. Кояин Н.В., Мальцева О.П., Удут Л.С. Оптимизация контуров регулирования систем электропривода по симметричному оптимуму // Известия ТПУ. – 2005. – Т. 308. – № 7. – С. 126–129.
8. Preitl, S.; Precup, R. E. An extension of tuning relations after symmetrical optimum method for PI and PID controllers // Automatica. – 1999. – V. 35. – № 10. – P. 1731–1736.
9. Кояин Н.В., Мальцева О.П., Удут Л.С. Оптимизация контура регулирования с инерционными звеньями по симметричному оптимуму // Известия высших учебных заведений, "Электромеханика". – 2006. – № 3. – С. 64–68.
10. Гарнов В.К., Рабинович В.Б., Вишневецкий Л.М. Унифицированные системы автоуправления электроприводами в металлургии. – М.: Металлургия, 1977. – 192 с. (гл. 3, раздел 2).
11. Vrancic D., Strmenic S., Hanus R. Improving disturbance rejection of PI controllers by means of the magnitude optimum method // ISA Transactions. – 2004. – V. 43. – № 1. – P. 73–74.

ОГЛАВЛЕНИЕ

1. ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ И ОПТИМИЗАЦИИ МНОГОКОНТУРНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ	3
1.1. Многоконтурные структуры систем регулирования	3
1.2. Типовые структуры и критерии оптимизации контуров систем управления с последовательной коррекцией	5
2. ОПТИМИЗАЦИЯ КОНТУРОВ РЕГУЛИРОВАНИЯ ПО ТИПОВЫМ МЕТОДИКАМ	14
2.1. Оптимизация контура регулирования по модульному оптимуму	14
Оптимизация по МО контура рис. 1.4, а	15
Оптимизация по МО контура рис. 1.4, б	16
Частотные характеристики оптимизированных по МО контуров ..	17
Показатели качества работы оптимизированных по МО контуров при обработке управляющих воздействий	18
Показатели качества работы оптимизированного по МО контура рис. 1.4, а при обработке возмущающих воздействий ..	19
Показатели качества работы оптимизированного по МО контура рис. 1.4, б при обработке ступенчатого возмущающего воздействия	22
2.2. Оптимизация контура регулирования по линейному оптимуму	23
2.3. Оптимизация контура регулирования по симметричному оптимуму	25
Оптимизация по СО контура рис. 1.4, б	26
2.4. Влияние числа и соотношения малых постоянных времени в прямом канале регулирования на показатели работы оптимизированного контура	31
3. ОПТИМИЗАЦИЯ КОНТУРА С ИНЕРЦИОННЫМИ ЗВЕНЬЯМИ В ПРЯМОМ КАНАЛЕ	34
3.1. Настройка контура на симметричный оптимум	34
Оптимизация контура по СО	34
Настройка контура на СО по типовой методике	41
3.2. Настройка контура с П-регулятором	44
Оптимизация контура по МО	44
Настройка контура на МО по типовой методике	48
4. ОПТИМИЗАЦИЯ КОНТУРА С ИНТЕГРИРУЮЩИМ ЗВЕНОМ В ПРЯМОМ КАНАЛЕ И ИНЕРЦИОННОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ	50
4.1. Оптимизация контура с учетом инерционности обратной связи	52
Оптимизация контура с П-регулятором	52
Оптимизация контура с ПИ-регулятором	58

4.2. Оптимизация контура с компенсацией инерционности цепи обратной связи	63
Оптимизация контура с ПД-регулятором	64
Оптимизация контура с ПИД-регулятором	67
5. НАСТРОЙКА КОНТУРА С ИНЕРЦИОННЫМИ ЗВЕНЬЯМИ В ПРЯМОМ КАНАЛЕ И ИНЕРЦИОННОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ	70
5.1. Оптимизация контура с учетом инерционности цепи обратной связи	70
Оптимизация контура с ПИ-регулятором по СО	70
Оптимизация контура с ПИ-регулятором по МО	77
Оптимизация контура с П-регулятором по МО	81
5.2. Оптимизация контура с компенсацией инерционности цепи обратной связи	87
Оптимизация контура с ПИД-регулятором по СО	88
Оптимизация контура с ПИД-регулятором по МО	92
Оптимизация контура с ПД-регулятором по МО	94
6. ОПТИМИЗАЦИЯ КОНТУРА С ФОРСИРУЮЩИМ ЗВЕНОМ В ЦЕПИ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ	97
6.1. Оптимизация контура с интегрирующим звеном в прямом канале	97
Оптимизация контура с безынерционной обратной связью и П-регулятором	97
Оптимизация контура с инерционной обратной связью и П-регулятором	102
Оптимизация контура с безынерционной обратной связью и ПИ-регулятором	111
Оптимизация контура с инерционной обратной связью и ПИ-регулятором	118
6.2. Оптимизация контура с инерционным звеном в прямом канале	126
Оптимизация контура с безынерционной обратной связью и ПИ-регулятором	126
Оптимизация контура с инерционной обратной связью и ПИ-регулятором	130
Оптимизация контура с безынерционной обратной связью и П-регулятором	137
Оптимизация контура с инерционной обратной связью и П-регулятором	144
Список литературы	161

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

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ
АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ**

Часть 7

**Теория оптимизации непрерывных многоконтурных
систем управления электроприводов**

Учебное пособие

Научный редактор
доктор технических наук,
профессор

Р.Ф. Бекишев

Редактор

М.В. Пересторонина

Подписано к печати 07.09. 2007. Формат 60x84/16.
Бумага «Классика».
Печать RISO. Усл.печ.л. 9,53. Уч.-изд.л. 8,63.
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.