

Система автоматизированного проектирования регуляторов электроприводов подчинённого регулирования как единого модального регулятора

Хаджинов М.К.
Кафедра Систем управления, ФИТУ
БГУИР
Минск, Беларусь
e-mail: kh_m@tut.by

Аннотация — Решается задача расчёта всех регуляторов многоконтурного электропривода как единого модального регулятора. Предлагается система автоматизированного проектирования регуляторов в среде Matlab, использующая различные критерии оптимальности по выбору.

Ключевые слова: электропривод подчинённого регулирования; модальный регулятор; автоматизированное проектирование регуляторов; эталонные модели

I. ВВЕДЕНИЕ

Задача расчёта всех регуляторов электропривода как единого модального регулятора была решена [1] на основе метода стандартных коэффициентов. Использование метода стандартных коэффициентов позволило параллельно рассчитывать все регуляторы с учётом взаимовлияния всех контуров управления и без традиционных упрощений модели электродвигателя.

Предлагается ещё более простой метод расчёта регуляторов многоконтурного электропривода, задающий частоты среза всех контуров управления. Была создана система автоматизированного проектирования регуляторов в среде Matlab, результаты работы которой здесь анализируются.

II. ТИПЫ ЭТАЛОННЫХ МОДЕЛЕЙ

При наилучшей настройке регуляторы всех контуров образуют единый модальный регулятор, настроенный на один из критериев оптимальности по выбору. Критерий задаётся эталонной моделью замкнутой системы в виде передаточной функции с единицей в числителе и нормированным (с равным единице свободным членом) полиномом в знаменателе. Используются известные критерии:

1. «минимум интеграла модуля ошибки, умноженной на время»

$$J = \int_0^{\infty} t |e(t)| dt$$

- (полиномы Латропа – Грехема);
2. фильтр Баттерворда;
3. «кратные действительные полюсы»;
4. «технический и симметричный оптимумы»;
5. «минимум интеграла квадрата ошибки»;
6. «аперiodические процессы» – эмпирический набор моделей с комплексными полюсами, более быстрыми, чем с действительными полюсами [2].

Все вышеперечисленные модели, кроме «минимума интеграла квадрата ошибки», имеют показатель колебательности АЧХ равный единице.

III. МЕТОДИКА РАСЧЁТА

Формально порядок эталонной модели для конкретного привода определяется числом заглавных букв в названиях регуляторов. Так для привода с ПИ-

регулятором тока и П-регулятором скорости используется эталонная модель третьего порядка.

В алгоритме расчёта используется нормированный характеристический полином эталонной модели с выбранным критерием качества. Отношения последующего коэффициента нормированного полинома к предыдущему дадут строку частот среза контуров нормированной эталонной модели. Первое отношение будет соответствовать частоте среза силового преобразователя, второе – контуру тока, последнее – частоте среза внешнего контура.

Если операцию вычисления отношений повторить, то вторые отношения коэффициентов укажут на отношения частот среза контуров нормированной модели привода. Реальный привод должен иметь такие же соотношения частот среза контуров, чтобы полностью соответствовать эталонной модели.

Таким образом, в основу расчётов положен факт, что формально отношения частот среза контуров равны вторым отношениям коэффициентов полинома оптимальной эталонной модели.

Физические и расчётные контура управления могут иметь различие. Так контур скорости или положения с ПИ-регулятором при расчёте рассматривается как два контура. А для компенсации нуля ПИ-регулятора в регулятор внешнего контура добавляют аперiodическое звено, как это обычно и делают. Контур тока с ПИ-регулятором рассматривается как одиночный, так как нуль ПИ-регулятора компенсируется электромагнитной постоянной времени двигателя.

Обычно расчёт ведут на максимальное быстроедействие электропривода, естественным ограничением которого является быстроедействие силового преобразователя, а в случае электропривода переменного тока с векторным управлением – частота цикла алгоритма микроконтроллера.

1. В простейшем способе настройки регуляторов соотношение между частотами среза контуров равно двум. Такая настройка регуляторов на «технический и симметричный оптимумы» является не наилучшей.

В излагаемой методике учёт взаимовлияния контуров сводится к первоначальному определению их количества, выбору желаемого полинома и вычислению соотношений частот среза всех контуров.

IV. ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ

Был составлен пакет программ в среде Matlab для автоматизированного расчёта регуляторов сервоприводов трёх структур под вышеперечисленные эталонные модели, моделирования частотных и переходных характеристик отдельных контуров управления по управляющему и возмущающему воздействию. В распоряжении пользователя характеристики нескольких десятков приводных

электродвигателей постоянного тока и шести типов силовых преобразователей.

V. РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

1. Результаты моделирования для двух структур сервопривода сведены в таблицу 1. Структуры различаются типом регулятора контура скорости. Каждая из структур настраивалась на шесть видов эталонных моделей. В таблице отражены числовые характеристики частотных свойств контуров как наиболее важные для сравнения эталонных моделей.

2. Приводится такая важная характеристика, как диапазон частот среза контуров от силового преобразователя до внешнего контура. Уменьшение этого диапазона благотворно сказывается на быстродействии сервопривода.

3. Разнос частот среза контуров для всех видов эталонных моделей, за исключением «технический оптимум» переменный, что способствует улучшения характеристик в определённом направлении.

Особняком выглядит эталонная модель «минимум интеграла квадрата ошибки» с «перепутанными» частотами среза контуров. Так контур по интегральной составляющей скорости быстрее чем по пропорциональной, а контур тока быстрее силового преобразователя в 3 и 4 раза. Если с непрерывным силовым преобразователем такой фокус ещё пройдёт, то дискретный силовой преобразователь согласно с теоремой Котельникова обрежет контур тока до неустойчивости. Общеизвестная порочность этого

критерия для проектирования систем управления иллюстрируется этим примером.

VI. ВЫВОДЫ

Методика точного расчёта всех регуляторов многоконтурного сервопривода как единого модального регулятора не сложнее традиционно используемой методики на «технический оптимум» и сводится к выполнению определённых соотношений между частотами среза всех контуров управления, включая частоту среза силового преобразователя.

Соотношения частот среза контуров легко вычисляются как вторые отношения коэффициентов полинома выбранной эталонной модели.

В сервоприводах допускающих перерегулирование следует использовать эталонную модель с полиномом Латропа-Грехема как наиболее быструю с малым (2 %) перерегулированием.

В сервоприводах не допускающих перерегулирование следует использовать эталонную модель с апериодическими процессами.

Применение для сервопривода с дискретным силовым преобразователем эталонной модели с минимумом интегральной квадратичной ошибки недопустимо из за гарантированной потери устойчивости контура тока.

[1] Красовский, А. Я. Расчет многоконтурных систем управления электроприводами / А. Я. Красовский, М. К. Хаджинов. Метод. пос. Мн: БГУИР, 1996.

[2] Яворский, В. Л. и др. Проектирование инвариантных следящих приводов. – М.: Высш. шк., 1963.

Табл. 1. Характеристики эталонных моделей многоконтурного сервопривода

ПИ регулятор тока	Латроп	Апериодич	Кратные	Батте	Техн.	Квадратичны
П регулятор скорости	Грехем	еские	полюсы	рворд	оптимум	й минимум
П регулятор положения		процессы				
Диапазон частот среза контуров, $w_{с\ усил.мощн.}/w_{с\ положения}$	5.67	11.7	16	6.76	8	2
Разнос частот среза контуров $w_{с\ усил.мощн.}/w_{с\ тока}$	1.3	2.33	2.67	2	2	0.33
$w_{с\ тока}/w_{с\ скорости}$	2.04	2.02	2.25	1.71	2	4.5
$w_{с\ скорости}/w_{с\ положения}$	2.14	2.49	2.67	2	2	1.33
Запасы по току	59	70	73	68	68	33
фаза скорости	57	62	65	55	60	71
контуров положения	63	67	69	60	61	55
ПИ регулятор тока						
ПИ регулятор скорости						
П регулятор положения						
Диапазон частот среза контуров, $w_{с\ усил.мощн.}/w_{с\ положения}$	9.52	17.9	25	10.5	16	3
Разнос частот среза контуров $w_{с\ усил.мощн.}/w_{с\ тока}$	1.57	2.03	2.5	2	2	0.25
$w_{с\ тока}/w_{с\ скорости}$	1.62	1.98	2	1.62	2	5.33
$w_{с\ скорости}/w_{с\ интег. скор}$	1.78	1.83	2	1.62	2	0.75
контуров $w_{с\ интег. скор.}/w_{с\ положен.}$	2.1	2.43	2.5	2	2	3
Запасы по току	63	68	72	68	68	29
фаза скорости	18	30	34	19	33	0
контуров положения	62	66	67	60	61	129