

Д.Г. ЛИТВИНЕНКО, аспирант, НТУ "ХПИ", Харьков

АНАЛИЗ КАЧЕСТВА УПРАВЛЕНИЯ КОНТУРА СКОРОСТИ С ЦИФРОВЫМ ПИ-РЕГУЛЯТОРОМ ПРИ ОТКЛОНЕНИЯХ ТИПОВОЙ НАСТРОЙКИ

У статті описуються області застосування й достоїнства цифро-аналогових систем автоматичного керування. Наводиться аналіз якості керування цифро-аналогових систем автоматичного керування при відхиленнях параметрів цифрового ПІ-регулятора швидкості від типового налагодження й переналагодженні його параметрів на лінію максимальної добротності й запасу стійкості. Отримано перехідні процеси й чисельно оцінені поліпшення основних показників якості.

В статье описываются области применения и достоинства цифро-аналоговых систем автоматического управления. Приводится анализ качества управления цифро-аналоговых систем автоматического управления при отклонениях параметров цифрового ПИ-регулятора скорости от типовой настройки и перенастройке его параметров на линию максимальной добротности и запаса устойчивости. Получены переходные процессы и численно оценены улучшения основных показателей качества.

Введение. В настоящее время большое применение нашел принцип подчиненного регулирования координат (СПР), обеспечивший унификацию структур и резко повысивший производительность и качество проектирования, а также наладки высококачественных систем электроприводов типовых технологических процессов. Развитие микропроцессорных технологий и повсеместное применение электронных вычислительных машин привело к разработке и применению цифро-аналоговых СПР. Обширную сферу применения в данный момент они имеют в различных областях промышленности: металлургическая черная и цветная – регулирование скорости прокатки, транспортные линии, агрегаты резки; бумажная промышленность – регулирование скорости электроприводов бумагоделательных машин; энергетика – регулирование частоты. Цифро-аналоговые системы являются более простыми по сравнению с полностью цифровыми системами, они существенно упрощают процесс настройки и контроля работы оборудования за счет точного измерения регулируемых параметров с помощью помехоустойчивых цифровых датчиков и визуализации действительных и заданных значений этих параметров.

Обычно аналоговая часть выполняет задачу регулирования ос-

новых режимов электроприводов, а цифровая обеспечивает необходимую точность.

Цифро-аналоговые системы целесообразно выполнять, таким образом, чтоб основной контур регулирования был цифровым, а все подчиненные – аналоговыми. Такое решение позволяет обеспечить высокую точность, получить хорошие динамические показатели, присущие аналоговому принципу регулирования, и сохранить достаточную простоту [1].

Цель работы – анализ качества системы управления с цифровым ПИ-регулятором.

Система регулирования скорости. На рис. 1 приведена схема моделирования в системе Simulink 4 – Matlab 6.5 СПР электропривода постоянного тока с тиристорным преобразователем (ТП), непрерывным регулятором тока (РТ), настроенным на модульный оптимум и цифровым ПИ-регулятором скорости (ЦРС), настроенным с большими погрешностями параметров от расчетных типовых значений.

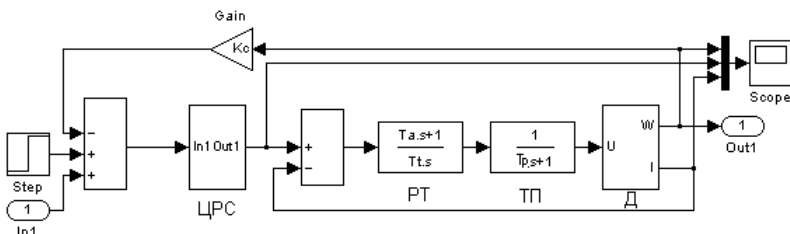


Рис. 1. Модель цифро-аналоговой системы регулирования скорости

Структурные схемы подсистем ЦРС и двигателя (Д) представлены на рис. 2 и рис. 3 соответственно.

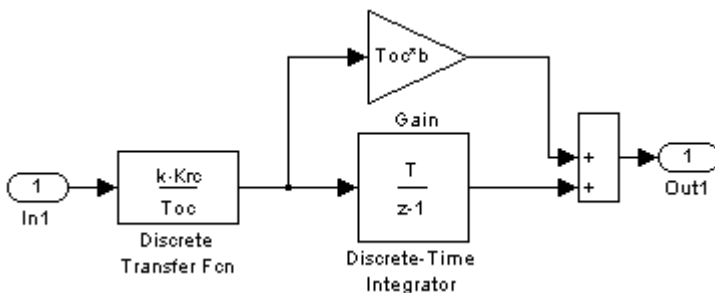


Рис. 2. Структура подсистемы ЦРС

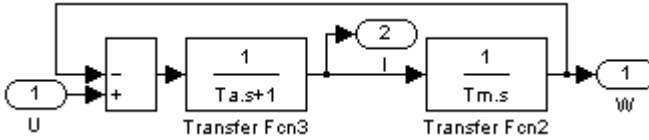


Рис. 3. Структура подсистемы Д

Типовая настройка внешнего контура в силу ряда причин может значительно отличаться от расчета. Двукратно интегрирующий контур СПР является условно устойчивой системой, для которой, как показано в [2-4], существует предельно улучшенная настройка по критерию максимальной добротности и запаса устойчивости (МДУ).

Моделирование системы управления. Определим количественно резервы повышения основных показателей качества регулирования приведенной на рис. 1 системы с ЦРС при некоторых исходных значениях его параметров. Контрольное задание заключается в определении численного значения повышения добротности и запаса устойчивости системы при перенастройке исходных параметров цифрового ПИ-регулятора по критерию МДУ. Исходные значения параметров приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Исходные данные

$T_p=1$	$T_m=8$	$T_a=4$	$T_t=2T_p$	$T_c=2(T_t+2\cdot T_p)$	$K_{rc}=T_m/T_c$	$T_{oc}=2\cdot T_c$	$K_c=1$
---------	---------	---------	------------	-------------------------	------------------	---------------------	---------

Выбор периода квантования T был произведен согласно теореме Котельникова: так, чтобы полоса существенных для системы частот была заключена в пределах $0,5/T$.

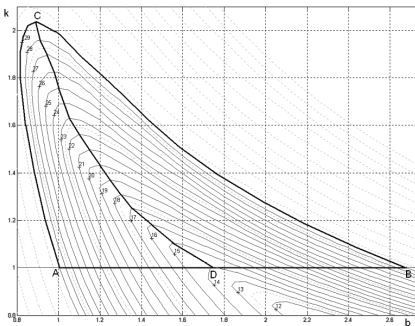


Рис. 4. Диаграмма качества управления

Построенная диаграмма качества управления в координатах цифрового ПИ-регулятора с изолиниями перерегулирования для данной системы приведена на рис. 4. По абсциссе отложены значения постоянной времени b , а по ординате значения коэффициента передачи k ПИ регулятора. Жирной линией изображена область повышенной добротности и запаса устойчивости (ПДУ) для исходной точки А

[5], любая внутренняя точка этой области имеет значение перерегулирования меньше, а коэффициент передачи больше исходных значений. Внутри этой области расположен отрезок CD линии МДУ, точки которой имеют нулевое значение площадей ПДУ и предельно достижимое улучшение качества исходной настройки. Область ПДУ имеет 4 характерные точки: A , B , C и D . Оценим в этих точках резервы повышения качества управления. При оценке результатов помним, что коэффициент k характеризует добротность системы, а перерегулирование является мерой запаса устойчивости. Точки A , B , C лежат на одной изолинии перерегулирования равной $\sigma = 29\%$, при этом точка C имеет значение k в 2,04 раза больше и следовательно, обладает большей добротностью, при том же запасе устойчивости. Точка A соответствует исходному значению $k = 1$ и $b = 1$ при исходном значении добротности и перерегулирования. Точка B имеет такие же значения добротности и перерегулирования, но $k = 1$ и $b = 2,69$. Точка D имеет минимум перерегулирования $\sigma = 14\%$, максимум запас устойчивости при исходном значении добротности $k = 1$ и $b = 1,75$.

Переходные функции при настройке параметров ПИ ЦРС для всех 4 точек приведены на рис. 5.

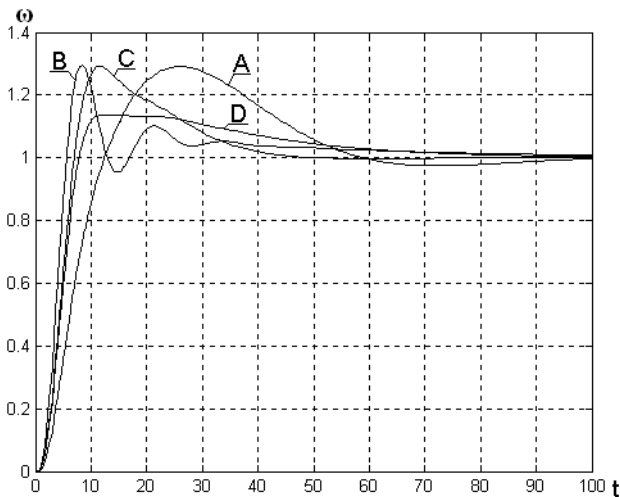


Рис. 5. Переходные функции

Результаты моделирования и оптимизации параметров ПИ ЦРС по комплексному критерию МДУ на сбалансированное улучшение качества управления приведены на рис. 7, 8, 9, 10 и сведены в табл. 2.

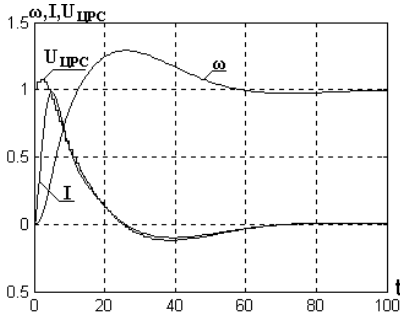


Рис. 7. Точка А ($k_{\min} \sigma_{\max}$)

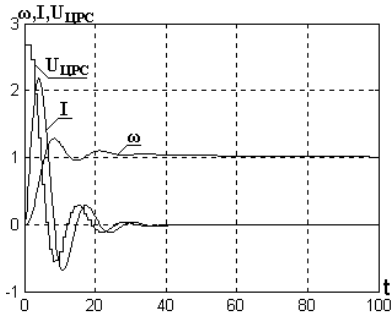


Рис. 8. Точка В ($k_{\min} \sigma_{\max}$)

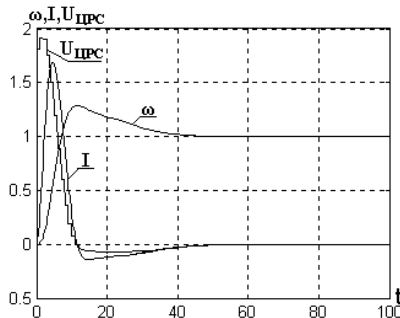


Рис. 9. Точка С ($k_{\max} \sigma_{\max}$)

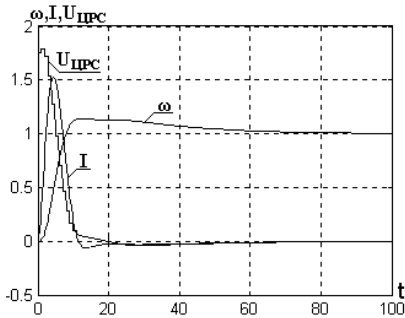


Рис. 10. Точка D ($k_{\min} \sigma_{\min}$)

Таблица 2 – Результаты моделирования

	k	b	Перерегуливание, σ , %	Время регу- лирования, t_p	Число колебаний за время регулирова- ния
A	1	1	29	50	–
B	1	2,69	29	25,6	2
C	2,04	0,89	29	33,3	–
D	1	1,75	14	45,6	–

Выводы. В результате исследования цифро-аналоговой системы и перенастройки параметров ЦРС по критерию МДУ было установлено, что имеется значительный резерв улучшения основных показателей качества. На концах отрезка линии МДУ, в точке С имеет место максимум контурного коэффициента передачи $k = 2,04$, при неизменном заданном перерегулировании $\sigma = 29\%$, а в точке D при исходном значении $k = 1$ – минимальное перерегулирование $\sigma = 14\%$, при этом достигается минимальное время регулирования и отсутствие колеба-

ний в системе.

Настройка параметров цифрового ПИ-регулятора скорости на точках линии МДУ (отрезок CD) обеспечивает максимально сбалансированное (предельно достижимое) улучшение качества регулирования исходной настройки цифрового регулятора (точка A).

Применение метода диаграмм качества управления для настройки сложных цифро-аналоговых условно-устойчивых систем автоматического управления позволяет одновременно сбалансировано повысить точность регулирования, быстродействие и запас устойчивости. Улучшение основных показателей качества управления, в свою очередь ведет, к повышению производительности и надежности работы соответствующих электроприводов типовых технологических процессов. Перспективным является направление исследования и повышения качества управления цифро-аналоговых систем следящих электроприводов лазерных технологических установок, высокоточных электроприводов переменного тока для радиотелескопа миллиметрового диапазона и систем автоматического управления мощностью ядерного реактора.

Список литературы: 1. *Слежановский О.В.* и др. Устройства унифицированной блочной системы регулирования дискретного типа (УБСР-Д). – М.: Энергия, 1975. – 256 с. 2. *Гуль А.И.* Балансировка добротности и запаса устойчивости электромеханических систем // *Электротехника*, 2003. – № 4. – С. 55-62. 3. *Клепиков В.Б., Гуль А.И.* К теоретическому обоснованию минимаксного критерия для многократно интегрирующих электромеханических систем // *Вісник НТУ "ХПІ"*. – Харків: НТУ „ХПІ”. – 2004. – Вип. 43. – С. 37-39. 4. *Клепиков В.Б., Гуль А.И.* О возможности применения и особенности минимаксного критерия качества управления для условно устойчивых электромеханических систем // *Вісник НТУ "ХПІ"*. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2005. – Вип. 45. – С. 60-62. 5. *Гуль А.И., Кунченко Т.Ю., Литвиненко Д.Г.* О диаграммах качества управления Н 34 // *Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія Електротехніка і енергетика.* – Вип. 7 (128). – Донецьк: ДВНЗ "ДонНТУ", 2007. – С. 285.

Поступила в редколлегию 25.01.2009