

*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.

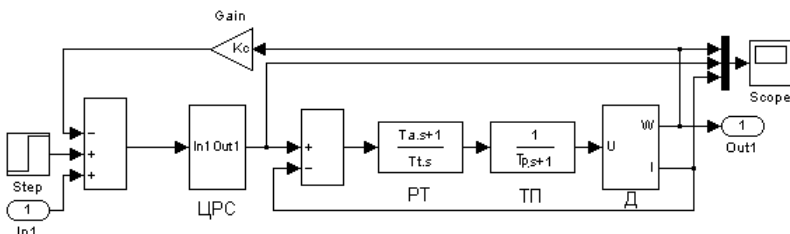


Рис. 1. Модель цифро-аналоговой системы регулирования скорости

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

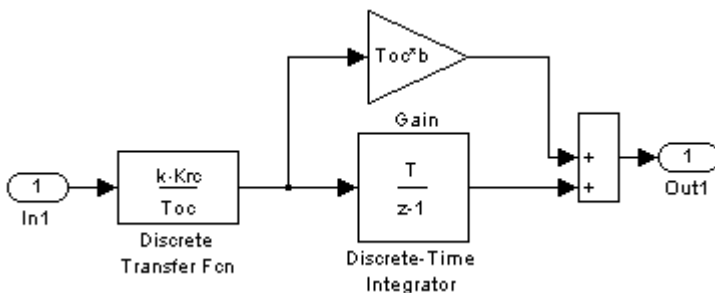


Рис. 2. Структура подсистемы ЦРС

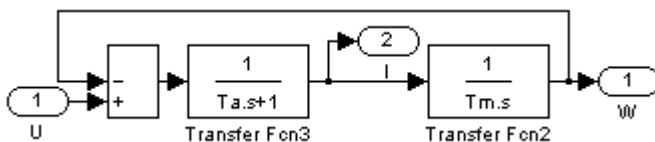


Рис. 3. Структура подсистемы Д

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  $0,5/T$ .

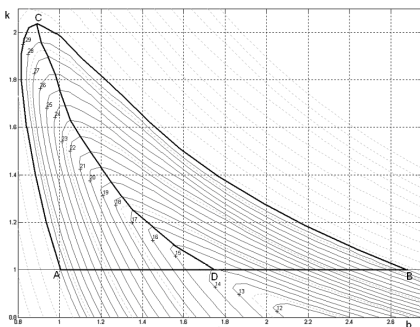


Рис. 4. Диаграмма качества управления

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  $A$

[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.

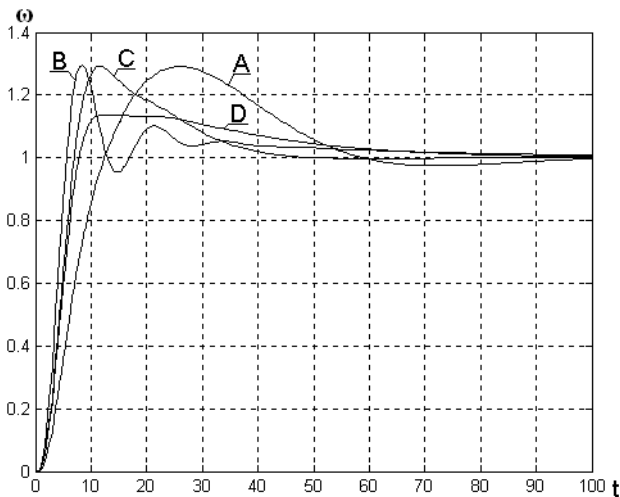


Рис. 5. Переходные функции

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.

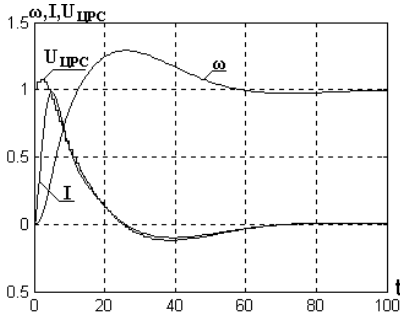


Рис. 7. Точка А ( $k_{\min}$   $\sigma_{\max}$ )

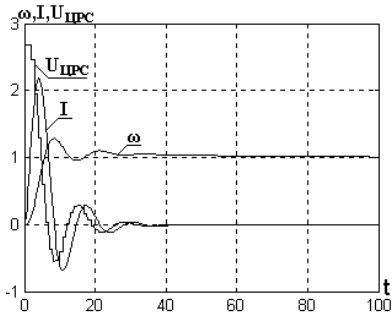


Рис. 8. Точка В ( $k_{\min}$   $\sigma_{\max}$ )

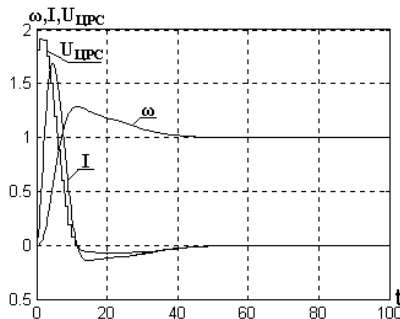


Рис. 9. Точка С ( $k_{\max}$   $\sigma_{\max}$ )

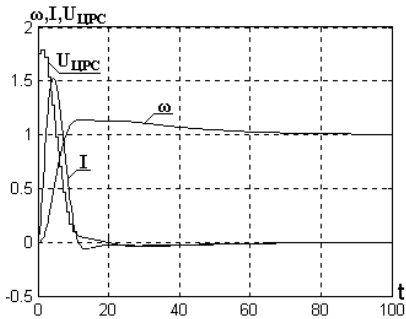


Рис. 10. Точка D ( $k_{\min}$   $\sigma_{\min}$ )

Таблица 2 – Результаты моделирования

	$k$	$b$	Перерегулирование, $\sigma$ , %	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*