

УДК 681.382

А.Г. Стрижнев, Г.В. Ледник, А.А. Шихов, А.Н. Русакович

## КОМПЕНСАЦИЯ ОШИБКИ ПЕРЕХОДА ЦИФРОВОЙ СЛЕДЯЩЕЙ СИСТЕМЫ ПРИ КРУГОВОМ СЛЕЖЕНИИ

*Рассматривается алгоритм компенсации ошибки перехода, которая возникает при работе цифровой следящей системы в режиме кругового слежения за периодическим сигналом. Особенность данного алгоритма заключается в простой реализации при сохранении высокой устойчивости работы в режиме кругового слежения и наличии возмущений колебательного характера. Дается сравнительная оценка полученного алгоритма и существующих решений. Путем математического моделирования осуществляется проверка эффективности разработанного алгоритма. Предлагается к практическому применению структурная схема цифровой следящей системы, реализующая данный алгоритм компенсации.*

### Введение

Развитие средств вычислительной техники, особенно микропроцессоров и микроЭВМ, послужило основой широкого распространения цифровых систем автоматического управления (САУ). Описание моделей объектов управления и корректирующих устройств в дискретном времени позволяет существенно упростить синтез регуляторов и их техническую реализацию. Многие алгоритмы функционирования регуляторов, применяемые при расчете цифровых систем, часто могут быть реализованы только на микроконтроллерах или микроЭВМ. На основе цифрового управления могут быть построены САУ любых типов, а программное обеспечение систем можно корректировать как при проектировании, так и в процессе эксплуатации [1].

Одним из видов цифровых САУ являются цифровые следящие системы (ЦСС), которые в режиме кругового слежения широко используются на радиолокационных станциях, в оптико-механических системах обзора и другой технике [2, 3]. При наличии внешних возмущений колебательного характера (например, порывов ветра и др.) из-за инерционности механических элементов возникает ошибка перехода, которая снижает устойчивость слежения, а иногда делает невозможным круговое синхронное слежение. Существуют технические решения [4, 5], позволяющие повысить точность и устойчивость работы ЦСС при работе в режиме кругового слежения, однако данные решения либо не обеспечивают устойчивой работы ЦСС при наличии возмущений колебательного характера, либо сложны в реализации.

В настоящей работе проводится анализ эффективности применения существующих технических решений и предлагается новый алгоритм компенсации ошибки перехода.

### 1. Цифровая следящая система

ЦСС обычно имеет структурную схему [6, 7], которая представлена на рис. 1. Система содержит устройство управления УУ, цифровое вычислительное устройство ЦВУ, которое включает в себя цифровой вычислитель ЦВ и цифровой регулятор ЦР, усилительно-преобразовательное устройство УПУ, исполнительный двигатель ИД, приводной механизм ПМ, цифровой преобразователь угла ЦПУ и нагрузку Н.

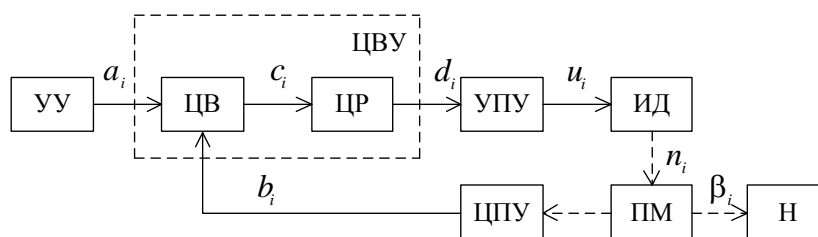


Рис. 1. Типовая структурная схема ЦСС

Система работает следующим образом. Устройство УУ вырабатывает управляющий сигнал  $a_i$  в виде цифрового кода, который поступает на суммирующий вход устройства ЦВ, где из управляющего сигнала вычитается сигнал  $b_i$  обратной связи, поступающий из преобразователя ЦПУ. Сигнал разности  $c_i$  с выхода устройства ЦВ, вычисленный по формуле  $c_i = a_i - b_i$ , поступает на регулятор ЦР, который обеспечивает требуемые динамические показатели системы и формирует сигналы в виде цифрового кода  $d_i$  для управления работой устройства УПУ. Устройство УПУ усиливает и преобразует эти сигналы в напряжения  $u_i$ , необходимые для управления двигателем ИД. Двигатель ИД через механизм ПМ поворачивает нагрузку и входную ось преобразователя ЦПУ на такой угол  $\beta_i$ , при котором  $c_i = 0$ . Устройства УПУ, ИД, ПМ, Н и ЦПУ образуют объект управления (ОУ) системы.

В установившемся режиме работы системы (рис. 1) предполагается, что сигнал  $c_i$  (ошибка системы) будет минимальным и не превысит заданного значения. Однако в реальности это не так. При работе системы в режиме кругового слежения за периодическим сигналом из-за инерционности элементов (двигателя ИД, механизма ПМ, нагрузки Н) имеет место временное запаздывание сигнала  $b_i$  обратной связи от управляющего сигнала  $a_i$ . Это приводит к тому, что при переходе значений цифровых кодов  $a_i$  и  $b_i$  с максимальных на минимальные или наоборот возникает ошибка перехода, которая значительно превышает установившуюся в линейной зоне динамическую ошибку  $c_i$  системы и имеет противоположный знак.

Временные диаграммы, поясняющие работу системы (рис. 1) в режиме кругового слежения, показаны на рис. 2.

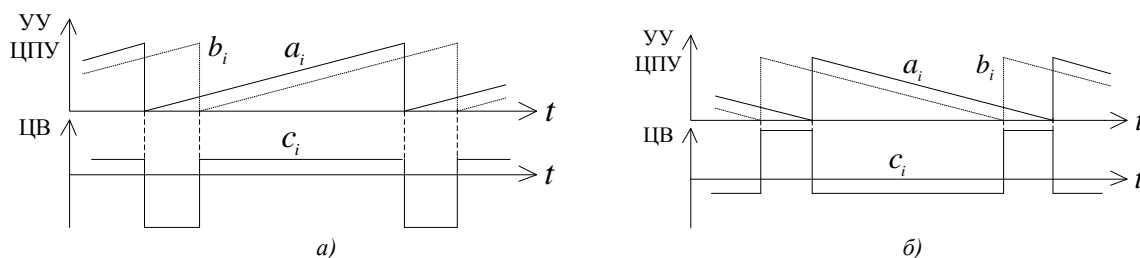


Рис. 2. Временные диаграммы для режима кругового слежения и различных направлений сигналов: а) прямого; б) обратного

Наличие данного недостатка приводит к появлению рывков при круговом слежении. В связи с этим возникает необходимость компенсации ошибки перехода и обеспечения устойчивой работы системы в режиме кругового слежения. Наиболее близкие существующие [5, 6] способы компенсации ошибки перехода предполагают изменение структурной схемы ЦСС. Эти способы отличаются не только структурной схемой, но и принципом работы, поэтому возникает необходимость их подробного рассмотрения.

## 2. Компенсация ошибки перехода путем запоминания текущей ошибки

Структурная схема ЦСС [4], реализующая компенсацию ошибки перехода путем запоминания текущей ошибки (рис. 3), в отличие от системы (рис. 1) дополнительно содержит цифровой регистр памяти РП, триггер Т, четыре элемента И1 – И4 совпадения, два логических элемента 2-2И-2ИЛИ ЛЭ1 и ЛЭ2, два формирователя ФИ1 и ФИ2 импульсов по переднему фронту и срезу соответственно.

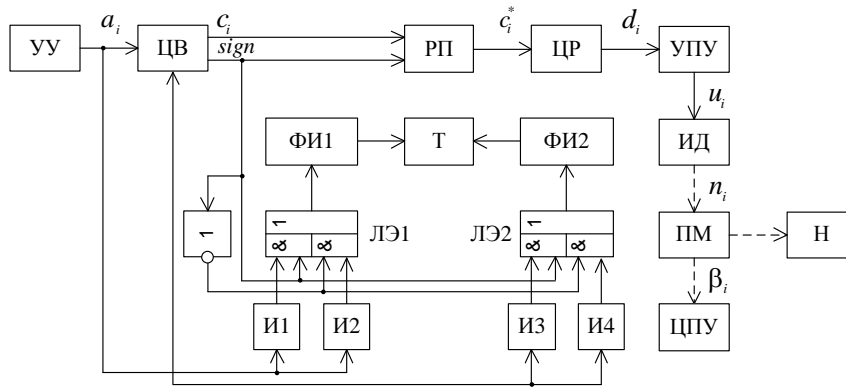


Рис. 3. Структурная схема ЦСС с компенсацией ошибки перехода путем запоминания текущей ошибки

Работа системы (рис. 3) на линейном участке ничем не отличается от работы рассмотренной ранее системы (рис. 1).

В режиме кругового вращения управляющий сигнал  $a_i$  и сигнал  $b_i$  обратной связи поступают на входы элементов совпадения И1, И2 и И3, И4 соответственно. Выделенные элементами совпадения четыре сигнала (элементом И1 –  $a_{\max}$ , элементом И2 –  $a_{\min}$ , элементом И3 –  $b_{\min}$ , элементом И4 –  $b_{\max}$ ) поступают на входы логических элементов ЛЭ1 и ЛЭ2.

При прямом изменении значений управляющего сигнала  $a_i$  ( $\dots, a_{\max} - 1, a_{\max}, a_{\min}, a_{\min} + 1, \dots$ ) в момент совпадения сигнала «знак разности» с сигналом  $a_{\max}$  на выходе элемента ЛЭ1 выделяется сигнал, который после прохождения формирователя ФИ1 импульсов по фронту устанавливает триггер Т в состояние логической единицы. В момент совпадения сигнала «знак разности» с сигналом  $b_{\min}$  сигнал, выделенный на выходе элемента ЛЭ2, после прохождения формирователя ФИ2 импульсов по срезу устанавливает триггер Т в состояние логического нуля (рис. 4, а).

При обратном изменении управляющего сигнала  $a_i$  ( $\dots, a_{\min} + 1, a_{\min}, a_{\max}, a_{\max} - 1, \dots$ ) в момент совпадения инверсного сигнала «знак разности» с сигналом  $a_{\min}$  на выходе элемента ЛЭ1 также выделяется сигнал, который устанавливает триггер Т в состояние логической единицы. В состояние логического нуля триггер Т возвращается при совпадении инверсного сигнала «знак разности» с сигналом  $b_{\max}$  (рис. 4, б).

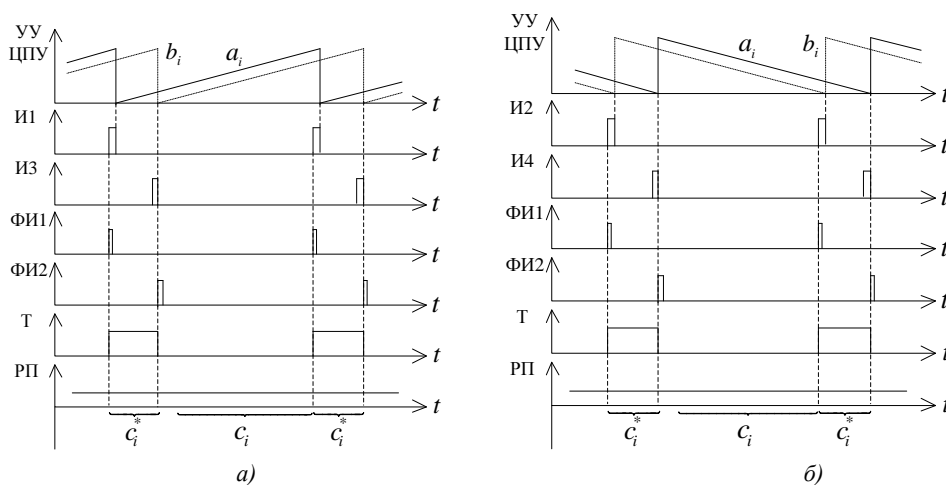


Рис. 4. Временные диаграммы работы ЦСС с компенсацией ошибки перехода путем запоминания текущей ошибки для различных направлений кругового слежения: а) прямого; б) обратного

Во время действия импульса, сформированного триггером Т, регистр памяти РП запоминает значение ошибки  $c_i$  системы и сигнал «знак разности», которые имели место при  $a_{\max}$  (для прямого направления вращения) или при  $a_{\min}$  (для обратного направления вращения). В результате ошибка перехода не поступает на регулятор ЦР и прямой контур системы обрабатывает запомненную ранее текущую ошибку. Благодаря этому повышается устойчивость работы системы при переходе числовых последовательностей сигналов задающего устройства и преобразователя угол-код с максимального на минимальное значение или наоборот.

Следует заметить, что система (рис. 3) хорошо работает при непрерывном круговом синхронном слежении с постоянной скоростью и отсутствии возмущений, имеющих колебательный характер. В ходе экспериментальных исследований было выявлено, что при наличии колебательных возмущений в момент обработки системой запомненной ошибки могут произойти изменения направлений слежения и сбой работы системы. Значительно лучшей устойчивостью работы в режиме кругового слежения и при наличии колебательных воздействий обладает система, в которой компенсация ошибки перехода осуществляется путем выделения сигнала перехода [5].

### 3. Компенсация ошибки перехода путем выделения сигнала перехода

Структурная схема ЦСС [5], реализующая компенсацию ошибки перехода путем выделения сигнала перехода (рис. 5), в отличие от системы (рис. 1) дополнительно содержит два цифровых сумматора ЦС1 и ЦС2, четыре цифровых компаратора ЦК1 – ЦК4, два элемента совпадения И1 и И2.

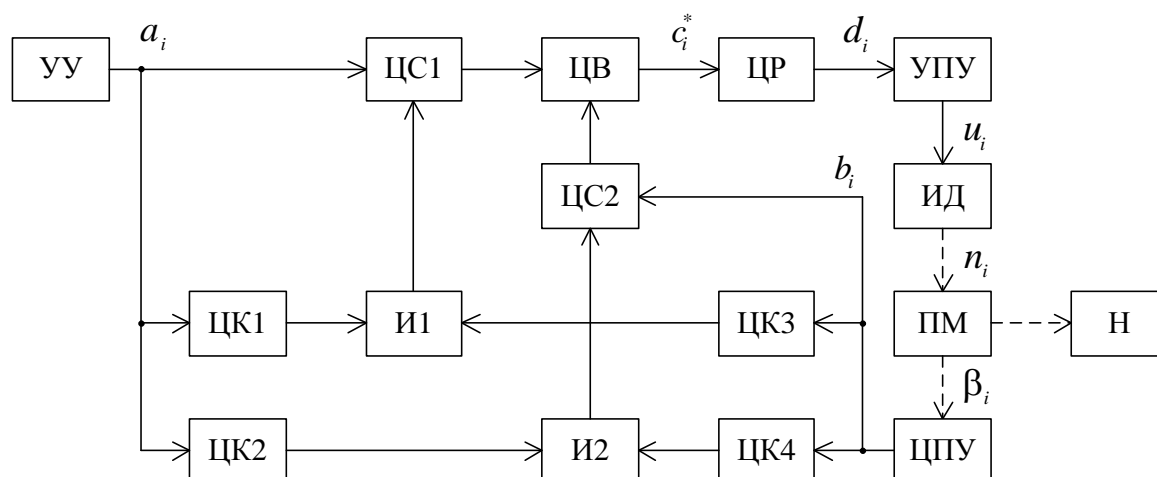


Рис. 5. Структурная схема ЦСС с компенсацией ошибки перехода путем выделения сигнала перехода

Временные диаграммы (рис. 6) поясняют работу структурной схемы ЦСС. Цифровой компаратор (рис. 7) содержит два элемента совпадения И3 и И4 и триггер Т.

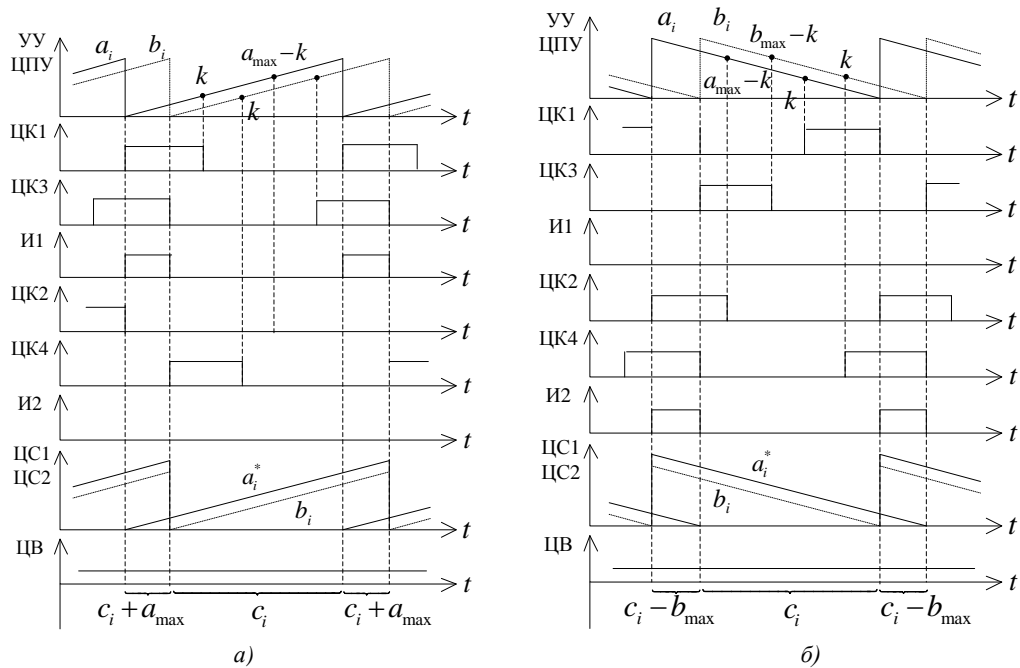


Рис. 6. Временные диаграммы работы ЦСС с компенсацией ошибки перехода путем выделения сигнала перехода для различных направлений кругового слежения: а) прямого; б) обратного

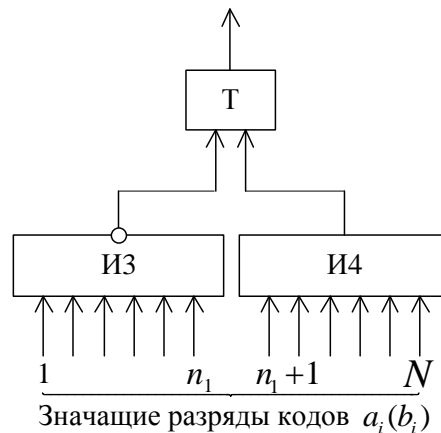


Рис. 7. Структурная схема цифрового компаратора

Работа системы (рис. 5) на линейном участке ничем не отличается от работы рассмотренной ранее системы (рис. 1).

Во время работы системы (рис. 5) в режиме кругового слежения управляющий сигнал  $a_i$  и сигнал  $b_i$  обратной связи поступают на входы цифровых компараторов ЦК1, ЦК2 и ЦК3, ЦК4 соответственно. Цифровые компараторы ЦК1 и ЦК4 вырабатывают логическую единицу в диапазоне  $[\min; k]$ , а цифровые компараторы ЦК2 и ЦК3 – в диапазоне  $[\max-k; \max]$  значений кодов  $a_i$  и  $b_i$  соответственно, где  $k$  – граница срабатывания цифровых компараторов, которая выбирается в диапазоне  $\min - 0,5\max$  (оптимальное значение  $k = 1/3\max$ ) значений кодов  $a_i$  или  $b_i$ .

За счет инерционности элементов (исполнительного двигателя, приводного механизма, нагрузки и др.) имеет место запаздывание во времени выходного сигнала  $b_i$  относительно управляющего сигнала  $a_i$ . Это приводит к тому, что импульсы, выделенные цифро-

выми компараторами ЦК1, ЦК2 и ЦК3, ЦК4, в определенные моменты будут совпадать во времени.

При прямом изменении значений управляющего сигнала  $a_i$  ( $\dots, a_{\max} - 1, a_{\max}, a_{\min}, a_{\min} + 1, \dots$ ) совпадут сигналы, снимаемые с выходов цифровых компараторов ЦК1 и ЦК3, а значит, элемент И1 сработает и выдаст сигнал перехода в виде логической единицы на второй вход сумматора ЦС1 (см. рис. 6, а).

При обратном изменении управляющего сигнала  $a_i$  ( $\dots, a_{\min} + 1, a_{\min}, a_{\max}, a_{\max} - 1, \dots$ ) совпадут сигналы, снимаемые с выходов цифровых компараторов ЦК2 и ЦК4, а значит, элемент И2 сработает и выдаст сигнал перехода в виде логической единицы на второй вход сумматора ЦС2 (см. рис. 6, б).

Наличие на выходах элементов И1 или И2 сигнала перехода в виде логической единицы означает подачу максимальных значений кодов  $a_i$  или  $b_i$  на вторые входы цифровых сумматоров ЦС1 или ЦС2 соответственно.

В результате цифровые сумматоры ЦС1 или ЦС2 будут производить сложение  $a_i + a_{\max}$  ( $b_i + b_{\max}$ ) при наличии сигнала перехода или  $a_i + a_{\min}$  ( $b_i + b_{\min}$ ) при его отсутствии.

Таким образом, несмотря на наличие в числовых последовательностях входного сигнала  $a_i$  и сигнала  $b_i$  обратной связи перехода с максимального на минимальное значение или наоборот, сигнал ошибки, снимаемый с выхода цифрового вычитателя ЦВ, будет соответствовать реальному. Это значит, что ЦСС в режиме кругового вращения и при наличии колебательных возмущений будет работать устойчиво в широком диапазоне скоростей и без рывков.

Следует заметить, что система (рис. 5) в отличие от системы (рис. 3) значительно лучше работает при непрерывном круговом синхронном слежении с различной скоростью и при наличии возмущений, имеющих колебательный характер. Основным недостатком системы (рис. 5) является ее сложность. Структура системы может быть существенно упрощена, если для компенсации ошибки перехода использовать сигнал ошибки системы.

#### 4. Компенсация ошибки перехода с использованием сигнала ошибки системы

С целью упрощения системы (рис. 5) при сохранении высокой устойчивости работы в режиме кругового слежения и при наличии возмущений, имеющих колебательный характер, была разработана ЦСС, реализующая компенсацию ошибки перехода с использованием сигнала ошибки системы (рис. 8). Временные диаграммы, поясняющие ее работу, показаны на рис. 9.

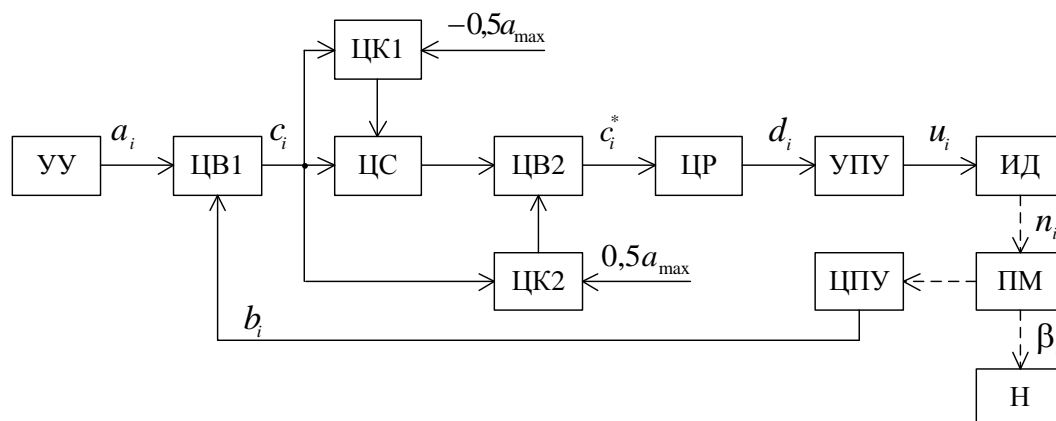


Рис. 8. Структурная схема ЦСС, компенсирующая ошибку перехода с использованием сигнала ошибки системы

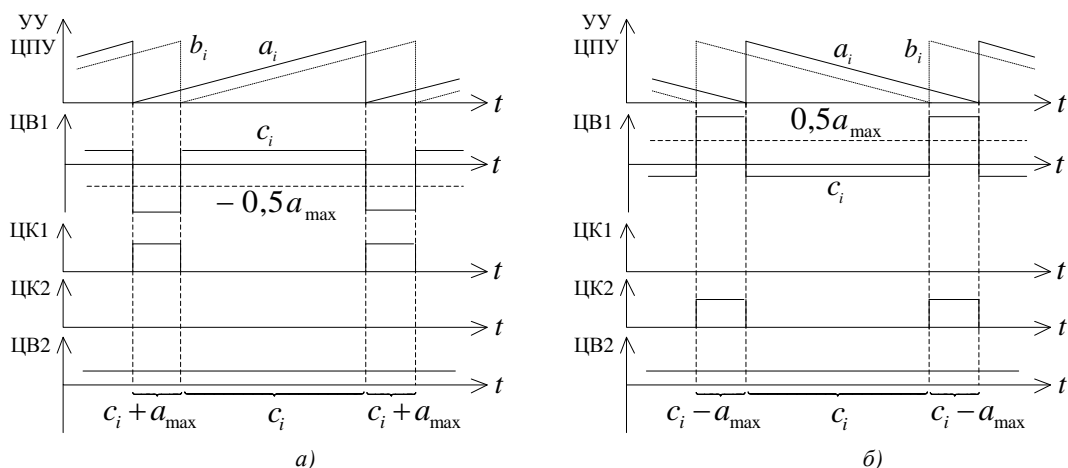


Рис. 9. Временные диаграммы работы ЦСС, компенсирующей ошибку перехода с использования сигнала ошибки системы для различных направлений кругового слежения: а) прямого; б) обратного

Система (рис. 8) в отличие от системы (рис. 1) дополнительно содержит цифровой сумматор ЦС, цифровой вычитатель ЦВ2 и два цифровых компаратора ЦК1 и ЦК2. Цифровой компаратор имеет два цифровых входа (информационный и опорный) и один логический выход.

Работа системы (рис. 8) на линейном участке ничем не отличается от работы рассмотренной ранее системы (рис. 1).

Во время работы системы (рис. 8) в режиме кругового слежения за счет инерционности элементов (двигателя ИД, механизма ПМ, нагрузки Н и др.) имеет место запаздывание во времени выходного сигнала  $b_i$  относительно управляющего сигнала  $a_i$ . Это приводит к тому, что при переходе числовых последовательностей устройства УУ и преобразователя ЦПУ с максимального на минимальное значение или наоборот на выходе вычитателя ЦВ возникает сигнал ошибки  $|c_i| > 0,5a_{\max}$  и компараторы ЦК1 или ЦК2 будут срабатывать.

При прямом изменении значений управляющего сигнала  $a_i$  ( $\dots, a_{\max} - 1, a_{\max}, a_{\min}, a_{\min} + 1, \dots$ ) в работе участвует компаратор ЦК1, который сравнивает текущий сигнал ошибки  $c_i$ , действующий на информационном входе, с постоянным установочным сигналом  $-0,5a_{\max}$ , действующим на опорном входе. Когда сигнал ошибки  $c_i < -0,5a_{\max}$ , компаратор ЦК1 сработает и выдаст логическую единицу на второй вход сумматора ЦС (рис. 9, а).

При обратном изменении значений управляющего сигнала  $a_i$  ( $\dots, a_{\min} + 1, a_{\min}, a_{\max}, a_{\max} - 1, \dots$ ) в работе участвует компаратор ЦК2, который сравнивает текущий сигнал ошибки  $c_i$ , действующий на информационном входе, с постоянным установочным сигналом  $0,5a_{\max}$ , действующим на опорном входе. Когда сигнал ошибки  $c_i > 0,5a_{\max}$ , цифровой компаратор ЦК2 сработает и выдаст логическую единицу на вычитающий вход второго вычитателя ЦВ2 (рис. 9, б).

Наличие на выходе компараторов ЦК1 или ЦК2 логической единицы означает подачу кода  $a_{\max}$ , а отсутствие – подачу кода  $a_{\min}$  на второй вход сумматора ЦС или вычитающий вход второго вычитателя ЦВ2 соответственно. В результате цифровой сумматор ЦС будет выполнять сложение  $c_i + a_{\max}$ , а цифровой вычитатель ЦВ2 – вычитание  $c_i - a_{\max}$  при наличии логической единицы или  $c_i + a_{\min}$ ,  $c_i - a_{\min}$  при ее отсутствии соответственно.

В результате ошибка перехода не возникает и прямой контур системы обрабатывает обычную текущую ошибку. Благодаря этому обеспечивается устойчивая работа системы при переходе числовых последовательностей сигналов задающего устройства и преобразователя угол-код с максимального на минимальное значение или наоборот.

Устойчивая работа системы полностью сохраняется при запаздывании значений сигнала  $b_i$  обратной связи от значений управляющего сигнала  $a_i$ , а также при наличии колебательных возмущений в режиме кругового слежения. Независимо от того какая возникает по величине и знаку ошибка в процессе работы, система всегда обрабатывает координату в сторону, меньшую  $0,5a_{\max}$ . Структурная схема системы (рис. 8) значительно проще предыдущей схемы (рис. 5). Для качественной оценки разработанного алгоритма компенсации ошибки перехода необходимо провести проверку системы (рис. 8) в различных условиях работы, которую проще всего осуществить с помощью имитационного моделирования.

### 5. Имитационное моделирование

Моделирование работы системы проведено в среде Simulink [8] пакета программ MATLAB на примере объекта управления, математическая модель которого описывается передаточной функцией

$$G(s) = \alpha[s(s + a)(s + b)]^{-1}, \tag{1}$$

где  $\alpha = 4971,15 \text{ c}^{-3}$ ,  $a = 48,54 \text{ c}^{-1}$ ,  $b = 1,415 \text{ c}^{-1}$ .

ОУ имеет цифровой вход и выход с квантованием по времени 0,001 с и уровню 1 дел. и обладает нелинейностью типа «насыщение», которая составляет  $\pm 255$  дел., что соответствует максимальному напряжению питания ИД. Коррекция динамических свойств системы осуществляется с помощью оптимального цифрового регулятора [1] с передаточной функцией

$$W(z) = K_0 \frac{1 + b_1 z^{-1} + b_2 z^{-2}}{1 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2}}, \tag{2}$$

где  $K_0 = 39$ ;  $a_1 = 0,7908$ ;  $a_2 = 0,1271$ ;  $b_1 = -1,3509$ ;  $b_2 = 0,3682$ ;  $h = 0,02 \text{ с}$ .

На вход системы подается периодический сигнал  $a_i$ , изменяющийся в диапазоне  $0 \dots a_{\max}$ , где  $a_{\max} = 2^{16}$  дел. Максимальное значение сигнала  $a_i$  соответствует углу  $360^\circ$ . Для проверки были выбраны две скорости кругового слежения  $\omega_1 = 728 \text{ дел./с}$  и  $\omega_2 = 7280 \text{ дел./с}$ .

Схема моделирования системы с ОУ  $G(s)$  и цифровым регулятором  $W(z)$  показана на рис. 10, а схемы блоков системы – на рис. 11.

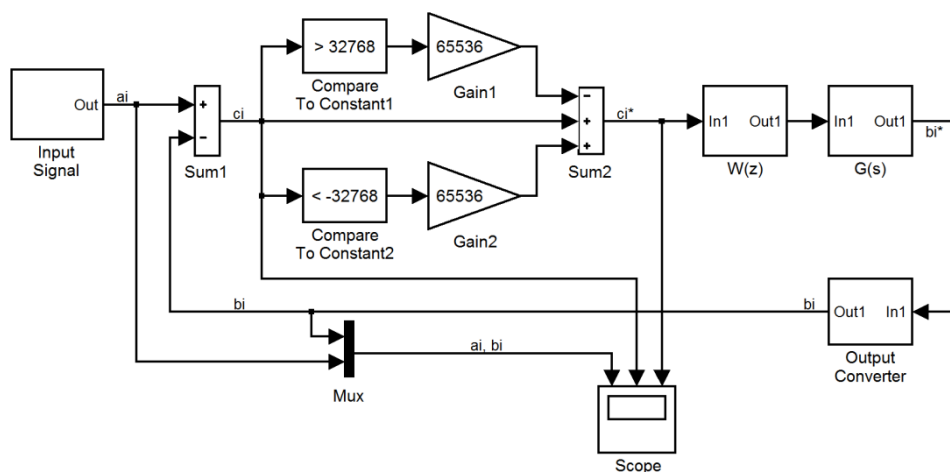


Рис. 10. Схема моделирования работы системы



На схеме моделирования (рис.10), выполненной согласно схеме (рис. 8), устройство УУ представлено блоком Input Signal, устройство ЦВ1 – блоком Sum1, регулятор ЦР – блоком  $W(z)$ , ОУ – блоком  $G(s)$ , преобразователь ЦПУ – блоком Output Converter. Устройства, обеспечивающие компенсацию ошибки перехода (ЦК1, ЦК2, ЦС, ЦВ2), реализованы с помощью блоков Compare To Constant1, 2 с параметрами  $>2^{15}$  и  $<-2^{15}$  соответственно, усилителей Gain1, 2 с коэффициентом усиления  $2^{16}$  и сумматора (вычитателя) Sum2.

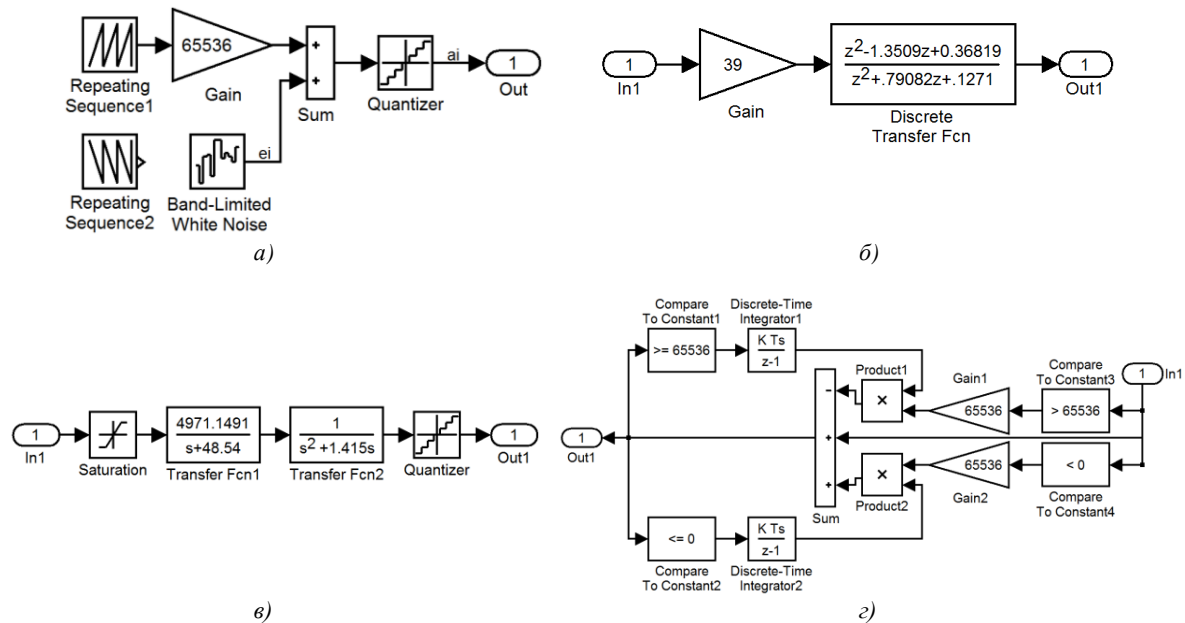


Рис. 11. Модели составных блоков схемы моделирования работы системы: а) УУ; б) ЦР; в) ОУ; г) ЦПУ

Устройство УУ (рис.11, а) состоит из блоков Repeating Sequence 1, 2 с параметрами Time Values = [0 9] для  $\omega_1$  и [0 90] для  $\omega_2$ , Output Values = [0 1] для прямого и [1 0] для обратного направлений кругового слежения; усилителя Gain с коэффициентом усиления  $2^{16}$ ; сумматора Sum; квантователя по уровню и времени Quantizer с параметрами Quantization interval = 1 и Sample time = 0,001. Для имитации колебательного возмущения к задающему сигналу добавляется сигнал  $e_i$  вида «дискретный белый шум», который реализован с помощью блока Band-Limited White Noise с параметрами Noise Power = 0,5, Sample time = 0,001, Seed = 23 341.

Регулятор ЦР (рис.11, б) представлен блоками Discrete Transfer Function и Gain с параметрами, приведенными в (2).

ОУ (рис.11, в) содержит нелинейность типа «насыщение», блок Saturation с параметрами Upper limit = 255 и Lower Limit = -255, блоки Transfer Fcn1, Fcn2 с параметрами, приведенными в (1), блок оцифровки Quantizer с параметрами Quantization interval = 1 и Sample time = 0,001.

Преобразователь ЦПУ (рис.11, г) реализован в виде однооборотного абсолютного энкодера с разрешением 16 бит и содержит следующие блоки: компараторы Compare To Constant1...4 с параметрами  $\geq 2^{16}$ ,  $\leq 0$ ,  $> -2^{16}$  и  $< 0$  соответственно; цифровые интеграторы Discrete-Time Integrator1, 2 с параметрами Gain value = 1000 и Sample time = 0,001; умножители Product1, 2; сумматор Sum и усилители Gain1, 2 с коэффициентом  $2^{16}$ . Максимальное значение выходного сигнала ЦПУ соответствует углу  $360^\circ$ .

Результаты моделирования для прямого и обратного направлений кругового слежения со скоростями  $\omega_1$  и  $\omega_2$  показаны на рис. 12. По оси абсцисс отложено текущее время в секундах, по оси ординат – текущие значения сигналов управления  $a_i$ , выходного  $b_i$ , ошибок  $c_i$  и  $c_i^*$  в делениях.

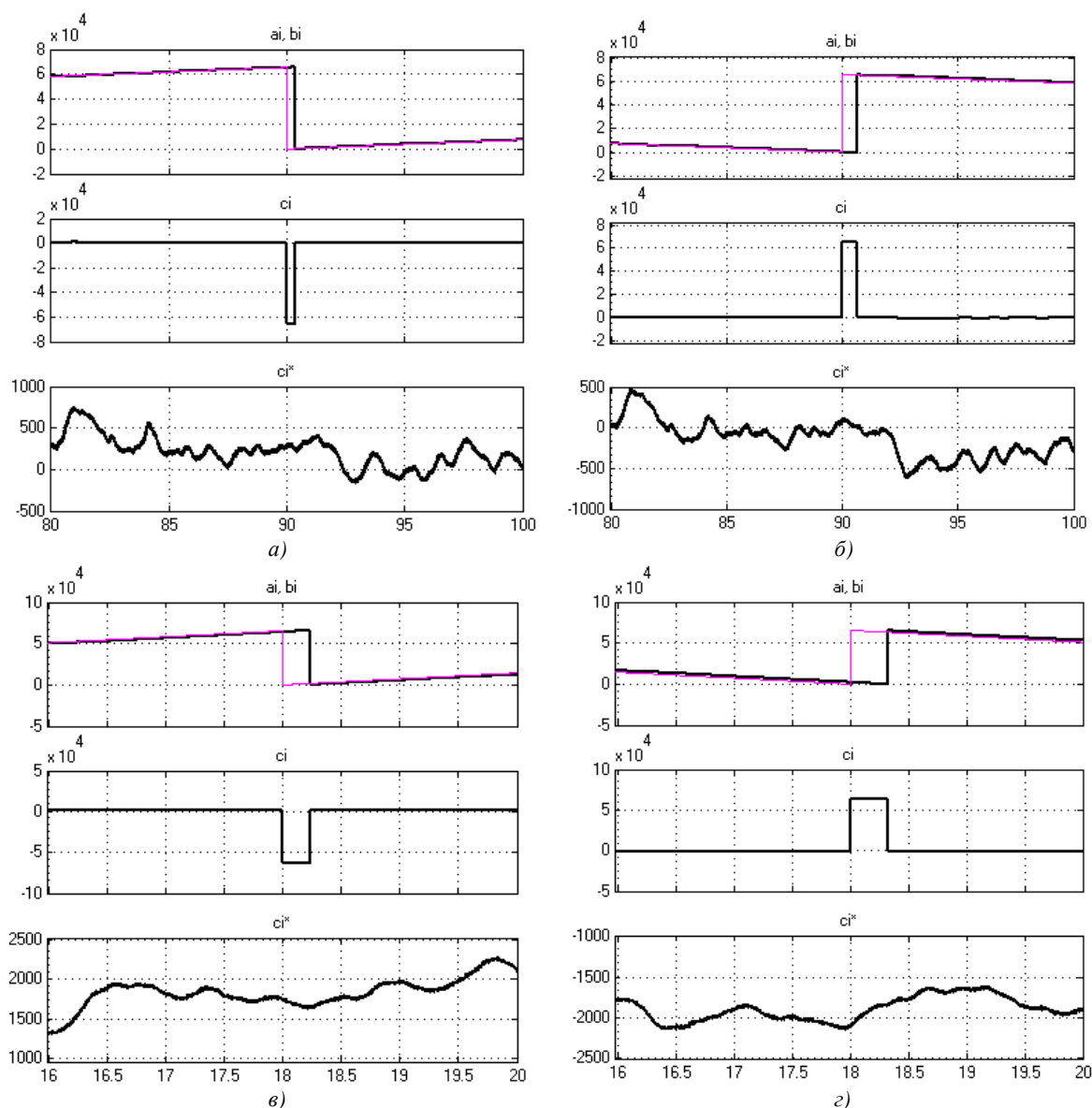


Рис. 12. Результаты моделирования работы системы:

- а) прямое направление движения, скорость  $\omega_1$ ; б) обратное направление движения, скорость  $\omega_1$ ;  
 в) прямое направление движения, скорость  $\omega_2$ ; з) обратное направление движения, скорость  $\omega_2$

В процессе моделирования получены следующие результаты. При прямом и обратном изменениях задающего сигнала  $a_i$  динамическая ошибка в линейной зоне кругового слежения (рис. 12, а, б) со скоростью  $\omega_1$  составляет величину  $|c_i| \leq 750$  дел., со скоростью  $\omega_2$  (рис. 12, в, з) – величину  $|c_i| \leq 2300$  дел. Следует заметить, что при отсутствии шума величина динамической ошибки системы значительно меньше и составляет  $|c_i| \leq 29$  дел. для скорости  $\omega_1$  и  $|c_i| \leq 290$  дел. для скорости  $\omega_2$ . При переходе сигнала  $a_i$  с максимального на минимальное значение или наоборот на выходе блока Sum1 возникает значительный всплеск ошибки в системе до значения  $c_i \approx 2^{16}$  дел. Несмотря на это, скомпенсированная ошибка  $c_i^*$  на выходе блока Sum2 не изменяется и остается в тех же пределах, что и в зоне линейного слежения. Результаты моделирования подтверждают работоспособность и устойчивость работы системы с

данным алгоритмом компенсации ошибки перехода, а также правильность положений и выводов, сделанных ранее.

### Заключение

Проведенный анализ работы существующих технических решений помог найти новый алгоритм компенсации ошибки перехода, основанный на использовании сигнала ошибки системы. Данный алгоритм реализован в виде структурной схемы ЦСС, которая отличается от рассмотренных прототипов значительной простотой и устойчивостью работы. Работоспособность и устойчивость системы с данным алгоритмом компенсации подтверждены результатами имитационного моделирования. Слаботочная часть предложенной ЦСС может быть реализована аппаратно или программно с использованием микроконтроллерной и микропроцессорной техники. Данное техническое решение рекомендуется к широкому практическому применению в технике и промышленности.

### Список литературы

1. Гостев, В.И. Системы автоматического управления с цифровыми регуляторами : справ / В.И. Гостев, В.К. Стеклов. – Киев : Радиоаматор, 1998. – 704 с.
2. Ллойд, Дж. Системы тепловидения / Дж. Ллойд. – М. : Мир, 1978. – 407 с.
3. Охрименко, А.Е. Основы радиолокации и радиоэлектронная борьба / А.Е. Охрименко. – М. : Военное издательство министерства обороны СССР, 1983. – 457 с.
4. Цифровая следящая система : а. с. 1149216 СССР, МПК G 05 B 15/02 / В.М. Богуш, А.Г. Стрижнев; ВНИИПИ. – № 3607732/24-24; заявл. 08.04.83; опубл. 07.04.85 // Бюл. № 13. – 1985. – 3 с.
5. Цифровая следящая система : а. с. 1200716 СССР, МПК G 05 B 11/01 / А.Г. Стрижнев; ВНИИПИ. – № 3723269/24-24; заявл. 02.02.84; опубл. 22.08.85. – 9 с.
6. Fadali, M.S. Digital Control Engineering: Analysis and Design / M.S. Fadali, A. Visioli. – Burlington : Elseiver, 2009. – 536 p.
7. Цифровые электроприводы с транзисторными преобразователями / С.Г. Герман-Галкин [и др.]. – Л. : Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1986. – 248 с.
8. Черных, И.В. SIMULINK: среда создания инженерных приложений / И.В. Черных ; под общ. ред. к.т.н. В.Г. Потемкина. – М. : ДИАЛОГ–МИФИ, 2003. – 496 с.

Поступила 4.09.2013

НПООО «ОКБ Техносоюзпроект»,  
Минск, пр. Независимости, 115  
e-mail: aliaksei.rusakovich@gmail.com.

**A.G. Stryzhniou, G.V. Lednik, A.A. Shykhau, A.N. Rusakovich**

### **COMPENSATION OF THE DIGITAL SERVOSYSTEM CIRCULAR TRACKING TRANSITION ERROR**

The paper presents a new algorithm for digital servosystem circular tracking transition error compensation. This algorithm is easily realized and ensures high system stability in the circular mode of operation with oscillating perturbations. Comparative assessment of this algorithm with other solving procedures for this problem is made. Digital modeling is applied to verify the effectiveness of this algorithm. A block diagram that realizes this algorithm is presented to be used in a practical application.