

КОМБИНИРОВАННЫЕ ДВУКРАТНОИНТЕГРИРУЮЩИЕ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ СКОРОСТИ С УЧЕТОМ ОГРАНИЧЕНИЙ УСКОРЕНИЯ И РЫВКА

Коцегуб П.Х., Минтус А.Н.

Донецкий государственный технический университет, кафедра ЭАПУ

E-mail: swit@fcita.dn.ua

Abstract

P.Kotstgub, A.Mintus. Combined twice multiple integrating speed control systems with considering of constraints of acceleration and tug. The questions of synthesis and optimization of twice multiple integrating speed control systems of electric drives with considering of constraints of acceleration and tug, has described. The solutions, providing of maximal quickaction of system, under required constraints.

Рассматриваются многократные цифровые двукратноинтегрирующие системы регулирования скорости (СРС). Эффективность применения комбинированного управления в СРС при отсутствии ограничения рывка подтверждена исследованиями, изложенными в [1]. Ниже рассматривается комбинированное управление в СРС с ограничением рывка и излагаются вопросы синтеза этих систем.

Линеаризованная структурная схема многократной двукратноинтегрирующей СРС приведена на рис.1.

Она включает в себя контуры регулирования тока (КРТ) и скорости. Период квантования в контуре тока T_2 принят равным дискретности вентильного преобразователя, а период квантования в контуре регулирования скорости $T_1 = k \cdot T_2$, где k - целое число.

Контур регулирования скорости (КРС) условно представлен в виде двух контуров: внутреннего и внешнего. Каждый из контуров имеет свой цифровой регулятор РС1 и РС2 соответственно.

В рассматриваемой системе РС1 является пропорциональным с передаточной функцией

$$D_{\omega 1}(z_{T1}) = T_u / T_{c1},$$

а РС2 имеет интегральную структуру с передаточной функцией

$$D_{\omega 2}(z_{T1}) = D_u(z_{T1}) / T_{c2},$$

где

T_{c1} и T_{c2} - постоянные интегрирования разомкнутых внутреннего и внешнего КРС;

$D_u(z_{T1})$ - передаточная функция, определяющая алгоритм интегрирования в РС2.

В РС2 используется алгоритм интегрирования, определяемый передаточной функцией

$$D_u(z_{T1}) = \frac{T_i z_{T1}}{z_{T1} - 1}$$

исключительно из условия обеспечения наилучших, по сравнению с другими алгоритмами интегрирования, динамических показателей КРС.

В канале обратной связи по скорости используется датчик мгновенного значения скорости с передаточной функцией

$$D_{дс}(p) = 1.$$

Между РС1 и регулятором тока (РТ) установлен экстраполятор Э нулевого порядка с фиксацией на период T_i ,

$$W_3(p) = \frac{1 - e^{-T_i p}}{p} = \frac{z_{T1} - 1}{z_{T1} p},$$

информация которым хранится в течение периода T_i и k раз опрашивается дискретной частью системы, работающей с периодом квантования T_2 .

Для удобства выкладок активное сопротивление якорной цепи $R_{я}$, постоянная двигателя C , а также коэффициенты передачи датчиков тока и скорости приняты равными единице. Это не влияет на результаты

исследований, так как соответствующим выбором относительных единиц реальная система всегда может быть приведена к рассматриваемой.

Другие обозначения на рис.1:

K_n - коэффициент передачи по напряжению вентильного преобразователя;

T_n, T_m - электромагнитная постоянная якорной цепи и электромеханическая постоянная времени привода соответственно.

На рис.1 показан также канал выделения среднего значения рывка.

Предполагаем, что КРТ настроен в соответствии с методикой [2], согласно которой в качестве его выходного сигнала рассматривается среднее за T_2 значение тока i_{cp} , а в качестве желаемого характера его изменения принят экспоненциальный закон

$$i_{cp}(nT_2) = 1 - \exp(-nT_2/T_x).$$

Запаздывание в КРТ компенсировано. Последний на рис.1 представлен передаточной функцией от выхода экстраполятора Э до выхода РТ, в которой передаточные функции РТ и разомкнутого КРТ соответственно равны [2]:

$$D_i(z_{T2}) = \frac{1}{K_n} \cdot \frac{1-d_x}{1-d_i} \cdot \frac{z_{T2}-d_i}{z_{T2}-1};$$

$$W_{кр}(z_{T2}) = \frac{1-d_x}{z_{T2}-1},$$

где $d_x = e^{-\frac{T_2}{T_x}}$; $d_i = e^{-\frac{T_2}{T_i}}$; T_x - постоянная времени экспоненты желаемого изменения среднего значения тока.

Контуры регулирования скорости настроены из условий обеспечения модульного оптимума. Выражения для определения постоянных интегрирования T_{c1} и T_{c2} имеют вид [1]:

$$\tau_{c1,м} = \frac{T_{c1}}{T_i} = 1 + \frac{2}{k(1-d_x)}; \quad \tau_{c2,м} = \frac{T_{c2}}{T_i} = 2\tau_{c1,м} - 1.$$

Задача ограничения ускорения и рывка может быть решена посредством установки на входе типовых систем подчиненного регулирования скорости

задающих устройств (ЗУ), выходная часть которых представлена последовательным соединением двух интеграторов. Структурная схема цифрового задающего устройства для КРС с ограничением рывка ρ и ускорения ε приведена на рис.2 (коэффициенты $\beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = 0$). Арифметико-логическое устройство (АЛУ) на основании информации о заданном значении скорости ω , и максимальных значениях ускорения ε_m и рывка ρ_m формирует сигнал желаемого изменения рывка ρ_x , а на выходах первого $D_{\text{ин1}}(z_{T1})$ и второго $D_{\text{ин2}}(z_{T1})$ интеграторов формируются соответственно сигналы желаемых изменений ускорения ε_x и скорости ω_x .

Такой подход дает хорошие результаты, однако не обеспечивает максимально возможного при заданных ограничениях быстродействия систем при отработке управляющего воздействия. Улучшение динамических свойств систем возможно на основе реализации комбинированного управления путем формирования на входе КРС помимо сигнала, пропорционального желаемому изменению регулируемой координаты, еще и сигналов, пропорциональных его разностям.

Это достигается за счет введения дополнительных корректирующих связей с коэффициентами β_1, β_2 и β_3 , параметры которых и подлежат определению.

Передаточная функция приведенного на рис.2 ЗУ вне зависимости от используемых алгоритмов цифрового интегрирования, определяемых передаточными функциями $D_{\text{ин1}}(z_{T1})$ и $D_{\text{ин2}}(z_{T1})$, после переноса корректирующей связи с выхода РС2 на вход всегда может быть приведена к виду

$$D_{\text{пр3}}(z_{T1}) = \frac{g(z_{T1})}{\rho_x(z_{T1})} = \frac{k_3 z_{T1}^3 + k_2 z_{T1}^2 + k_1 z_{T1} + k_0}{z_{T1}(z_{T1} - 1)^2}, \quad (1)$$

где k_i - коэффициенты, численное значение которых зависит от используемых алгоритмов интегрирования и коэффициентов β_1, β_2 и β_3 .

Например для случая, когда $D_{\omega 1}(z_{T1}) = \frac{T_1}{z_{T1} - 1}$ и $D_{\omega 2}(z_{T1}) = \frac{T_1}{2} \cdot \frac{z_{T1} + 1}{z_{T1} - 1}$,

коэффициенты k_i определяются из уравнений

$$k_0 = -\tau_{c2}\beta_3; \quad k_1 = (6\tau_{c2}\beta_3 + 2\beta_2 - 2\beta_1T_1 + T_1^2)/2;$$

$$k_2 = (-6\tau_{c2}\beta_3 - 4\beta_2 + 2\beta_1T_1 + T_1^2)/2; \quad k_3 = (2\tau_{c2}\beta_3 + 2\beta_2)/2.$$

Дискретная передаточная функция от задания на скорость g до среднего значения рывка ρ_{cp} определяется по выражению

$$K_i(z_{T1}) = \frac{\rho_{cp}(z_{T1})}{g(z_{T1})} = \frac{D_{\omega 2}(z_{T1})W_{npl}(z_{T1})}{1 + W_{pas}(z_{T1})(1 + D_{\omega 1}(z_{T1}))}, \quad (2)$$

где

$$W_{npl}(z_{T1}) = D_{\omega 1}(z_{T1})Z_{T1} \left\{ W_s(z_{T2}) \frac{D_i(z_{T2})z_{T2}^{-1}}{1 + W_{kr}(z_{T2})} Z_{T2} \left\{ \frac{K_n T_2}{T_m(T_m p + 1)} \right\} \right\} \frac{z_{T1} - 1}{T_1 z_{T1}}$$

- передаточная функция прямой части, расположенной между входом внутреннего КРС и выходом $\rho_{cp}(z_{T1})$ системы;

$$W_{pas}(z_{T1}) = D_{\omega 1}(z_{T1})Z_{T1} \left\{ W_s(z_{T2}) \frac{D_i(z_{T2})z_{T2}^{-1}}{1 + W_{kr}(z_{T2})} Z_{T2} \left\{ \frac{K_n T_2}{T_m p (T_m p + 1)} D_{KRC}(p) \right\} \right\}$$

- передаточная функция разомкнутого внутреннего КРС.

В последних выражениях Z_{T1} и Z_{T2} - символы Z -преобразований с периодами квантования T_1 и T_2 соответственно.

После выполнения соответствующих преобразований передаточная функция (2) принимает вид

$$K_i(z_{T1}) = \frac{\rho_{cp}(z_{T1})}{g(z_{T1})} = \frac{(1 - d_{ж})(1 - d_{ж}^k)}{T_1 T_m (1 - d_i)} \cdot \frac{(z_{T1} - 1)^2}{a_3 z_{T1}^3 + a_2 z_{T1}^2 + a_1 z_{T1} + a_0}, \quad (3)$$

где

$$a_3 = k\tau_{c2,m}\tau_{cl,m}(1 - d_{ж}); \quad a_2 = b_1(\tau_{c2,m} + 1) - k\tau_{c2,m}\tau_{cl,m}(1 - d_{ж})(2 + d_{ж}^k);$$

$$a_1 = b_0 - \tau_{c2,m}(b_1 - b_0) + k\tau_{c2,m}\tau_{cl,m}(1 - d_{ж})(1 + 2d_{ж}^k); \quad a_0 = -\tau_{c2,m}b_0 - k\tau_{c2,m}\tau_{cl,m}d_{ж}^k(1 - d_{ж}).$$

В (3) использованы коэффициенты b_0 и b_1 , которые определяются по уравнениям

$$b_0 = 1 - kd_x^k + kd_x^{k+1} - d_x^k;$$

$$b_1 = k - 1 - kd_x + d_x^k.$$

Передаточная функция комбинированной системы от желаемого $\rho_x(z_{T1})$ до среднего $\rho_{cp}(z_{T1})$ значений рывка с учетом выражений (1) и (3) имеет вид

$$K(z_{T1}) = \frac{\rho_{cp}(z_{T1})}{\rho_x(z_{T1})} = D_y(z_{T1})K_1(z_{T1}) = \frac{(1-d_x)(1-d_x^k)}{T_1 T_*(1-d_1)} \cdot \frac{1}{z_{T1}} \frac{\sum_{i=0}^3 k_i z_{T1}^i}{\sum_{i=0}^3 a_i z_{T1}^i} \quad (4)$$

при полностью управляемых коэффициентах числителя.

Это позволяет определение параметров коэффициентов корректирующих связей $\beta_i, i=1,2,3$ осуществлять из условия обеспечения конечной длительности переходных процессов при обработке управляющего воздействия, которое достигается при выполнении равенств

$$k_i, k_0 = a_i, a_0, \quad (5)$$

где i последовательно принимает значения от 1 до 3.

Полученные в результате оптимизации значения коэффициентов корректирующих связей определяются из выражений:

$$\beta_1 = \frac{T_1}{2} \left(2\tau_{c2.m} + \frac{b_1 - b_0}{b_1 + b_0} \right);$$

$$\beta_2 = T_1^2 \left(\tau_{c2.m} \tau_{c1.m} - \frac{\tau_{c2.m} b_0}{b_1 + b_0} \right);$$

$$\beta_3 = T_1^2 \left(\frac{\tau_{c1.m} d_x^k}{1 - d_x^k} + \frac{b_0}{b_1 + b_0} \right).$$

При найденных значениях коэффициентов $\beta_1, \beta_2, \beta_3$ передаточная функция (4) принимает вид

$$K(z_{T1}) = \frac{\rho_{cp}(z_{T1})}{\rho_x(z_{T1})} = \frac{1}{z_{T1}} \frac{T_2}{T_*(1-d_1)}. \quad (6)$$

Из (6) следует, что скачок задания среднего рывка будет обрабатываться за один такт дискретности, а ускорение до своего заданного значения будет изменяться линейно. Причем среднее значение рывка будет отличаться от

заданного в $(T_2, T_x(1-d_i))$ раз, что следует учитывать при формировании ρ_x . Частично это подтверждается приведенными на рис.3 графиками изменения тока i и скорости ω в двукратноинтегрирующих СРС с обратной связью по мгновенному значению скорости при регулировании по отклонению (индекс "о") и при комбинированном управлении (индекс "к"), которые получены в результате математического моделирования систем.

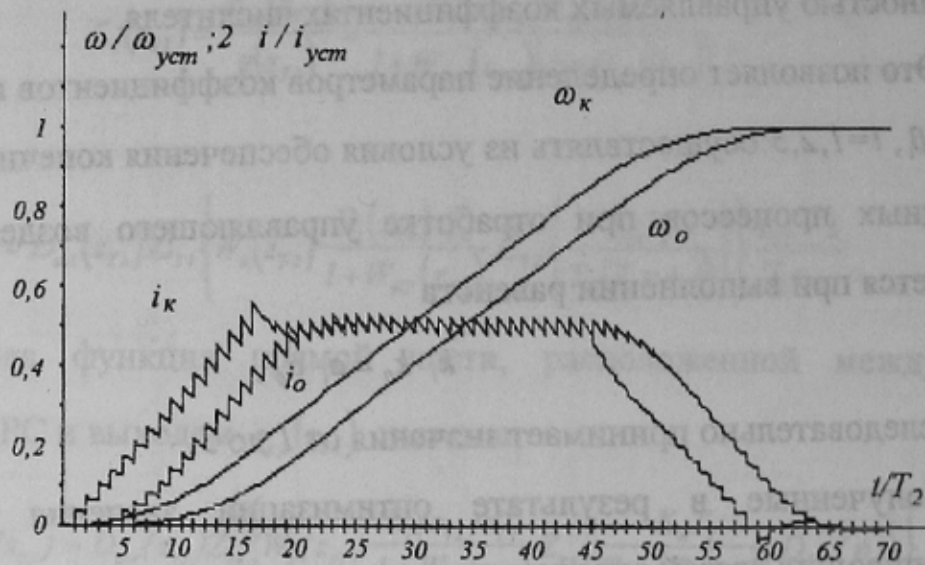


Рисунок 3 - Графики изменения тока и скорости в двукратноинтегрирующих СРС с ограничением ускорения и рывка и обратной связью по мгновенному значению скорости при $k=1$

Проведенный анализ позволяет также утверждать, что эффект от применения комбинированного управления повышается с увеличением кратности периодов квантования k и с увеличением T_x (уменьшением быстродействия КРТ), поскольку в этом случае быстродействие работающих по отклонению СРС уменьшается, а быстродействие комбинированных систем не зависит от указанных причин и остается постоянным, максимальным при требуемых ограничениях.

Литература

1. Коцегуб П.Х., Баринберг В.А., Минтус А.Н. Синтез двукратноинтегрирующих комбинированных цифровых систем подчиненного регулирования электропривода постоянного тока с двумя периодами квантования //Изв. вузов. Электромеханика. 1996. № 5-6. - С.86-93.

1. Файнштейн В.Г., Файнштейн Э.Г. Микропроцессорные системы управления тиристорными электроприводами. -М.: Энергоатомиздат, 1986. - 240 с.