

УДК 62-83

Л. В. АКИМОВ (д-р техн.наук, проф.), Д. Г. ЛИТВИНЕНКО

Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»  
dilne@mail.ru

## СИНТЕЗ АСТАТИЧЕСКОГО РЕГУЛЯТОРА СКОРОСТИ ДЛЯ СИСТЕМЫ ВЕКТОРНОГО УПРАВЛЕНИЯ ОДНОМАССОВЫМ АСИНХРОННЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ С НЕЛИНЕЙНОЙ НАГРУЗКОЙ

*В статье реализован комплексный подход к проблеме оптимизации параметров частотно-управляемого асинхронного электропривода с векторным управлением при нелинейном характере нагрузки и исходной неустойчивости объекта использованием методов полиномиальных уравнений и диаграмм качества управления.*

*Асинхронный электропривод, векторное управление, астатический регулятор скорости, параметрическая оптимизация, динамические характеристики.*

**Введение.** В [1] показано, что системы векторного управления частотно-регулируемым электроприводом (ЭП) с асинхронным двигателем (АД) могут быть построены в рамках систем подчиненного регулирования (СПР). В этих системах при минимальном числе обратных связей успешно реализуется требуемая динамика и возможность ограничения управляемых координат на допустимых значениях.

Вместе с тем, методы синтеза СПР, основанные на модульном и симметричном критериях настройки контуров, оказываются малоэффективными в случае исходной неустойчивости объекта в контуре скорости, к которому приводит учет влияния отрицательного вязкого трения в характере нагрузки электропривода. Установлено [2], что в подобных случаях в электромеханических системах возникают автоколебательные режимы, ухудшающие качество технологического процесса и снижающие из-за поломок кинематических звеньев надежность работы механизмов.

С негативным влиянием отрицательного вязкого трения на динамику электропривода успешно справляется полиномиальный метод синтеза регуляторов [3, 4]. Данный метод без громоздких вычислительных процедур позволяет задать системе необходимые астатические свойства при широком диапазоне изменения параметров объекта. Как известно [5], его сущность состоит в обеспечении желаемой динамики электропривода, отвечающей любому из более чем двадцати типовых распределений полюсов стандартных полиномов и быстродействия, определяемого задаваемой величиной среднегеометрического корня. При этом, как правило, постановка вопроса о максимальной добротности или максимальном запасе устойчивости разрабатываемой системы не ставится.

Ранее в [6] была показана возможность оптимизации синтезированной полиномиальным методом астатической системы ЭП постоянного тока [4] по критерию максимальной добротности и запаса устойчивости (МДУ) с помощью диаграмм качества управления (ДКУ).

В связи с вышеизложенным актуальным является использование полиномиального метода для создания астатической системы регулирования скорости исходно неустойчивого одномассового асинхронного частотно-управляемого ЭП с векторным управлением и нелинейной нагрузкой. Улучшение динамических и точностных свойств синтезированной системы предлагается осуществить методом ДКУ.

**Постановка задач исследования.** Целью работы является устранение автоколебаний в частотно-регулируемом одномассовом асинхронном ЭП с нелинейной нагрузкой путем синтеза астатического регулятора скорости (РС) методом полиномиальных уравнений и последующей оптимизацией его параметров методом ДКУ, способствующей увеличению добротности системы и ее запаса устойчивости.

Для достижения поставленной цели в статье решаются следующие задачи: – синтез полиномиальным методом астатического регулятора скорости векторно-управляемого асинхронного ЭП; – оптимизация исследуемой системы методом диаграмм качества управления по критерию максимальной добротности и запаса устойчивости; – проведение сравнительного анализа переходных процессов в исходной, настроенной традиционным методом СПР, синтезированной полиномиальным методом и оптимизированной системах с полной двухканальной структурой асинхронного ЭП.

**Материалы исследования.** В основу исследования положим одноканальную структуру одномассового частотно-регулируемого асинхронного электропривода с ПИ - РС, представленную в общепринятых обозначениях на рис. 1.

Использование одноканальной структуры вместо полной двухканальной [1] обосновано учетом следующих допущений: 1) компенсация внутренних перекрестных связей в структуре АД; 2) обеспечение работы одноканальной системы регулирования скорости АД при установившемся значении потокосцепления ротора  $\psi_r = \text{const}$ .

Из рис.1 видно, что на двигатель действует нагрузка с нелинейным характером, зависящим от скорости. При этом ее падающий участок имеет отрицательное значение жесткости  $\beta c < 0$ .

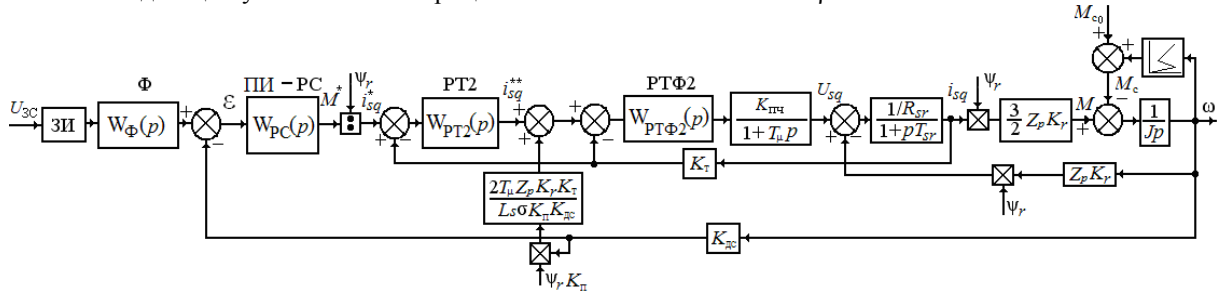


Рисунок 1 – Одноканальная структура асинхронного ЭП при  $\psi_r = \text{const}$

В предположении, что передаточная функция внешнего замкнутого контура тока с РТ2 равна

$$W_{KT}(p) = \frac{1/K_T}{(4T_\mu K_2 p + 1)} \tag{1}$$

и выполнена компенсация внутренней обратной связи по ЭДС двигателя звеном вида

$$W_{K.O.C.(E)}(p) = \frac{2T_\mu Z_p K_r K_T}{L_s \sigma K_\pi K_{DC}}, \tag{2}$$

запишем передаточную функцию объекта в контуре регулирования скорости для режима работы ЭП на падающем участке нагрузки с  $\beta c < 0$ , как наиболее влияющего на динамику системы:

$$W_{об}(p) = \frac{U_{oc}(p)}{U_{pc}(p)} = \frac{K_o}{(4T_\mu K_2 p + 1)(T_c p - 1)}; \tag{3}$$

$$K_o = 1/K_T 1,5 Z_p K_r \psi_r K_{DC} 1/\beta c, \tag{4}$$

где  $K_T$  – коэффициент датчика тока;  $Z_p$  – число пар полюсов;  $K_r$  – коэффициент связи ротора;  $\psi_r$  – потокосцепление ротора;  $K_{DC}$  – коэффициент датчика скорости;  $\beta c$  – жесткость механической характеристики нагрузки;  $T_\mu$  – малая постоянная времени контура тока;  $T_c = J/|\beta c|$  – механическая постоянная времени;  $J$  – приведенный к валу двигателя момент инерции;  $K_2 = (T_{sr} + T_\mu)/(T_{sr} + 2T_\mu)$ ;  $T_{sr}$  – электромагнитная постоянная времени цепи статора.

В составе передаточной функции (3) присутствует неминимально фазовое звено, которое приводит к исходной неустойчивости объекта в контуре скорости. Это обосновывает необходимость использования метода полиномиальных уравнений для синтеза РС.

Представим передаточную функцию  $W_{об}(p)$  (3) в виде произведения отдельных полиномов числителя  $P(p)$  и знаменателя  $Q(p)$  как

$$W_{об}(p) = \frac{P(p)}{Q(p)} = \frac{K_o P_{k+}(p) P_{n+}(p) P_-(p)}{Q_{k+}(p) Q_{n+}(p) Q_-(p) p^s}, \tag{5}$$

где  $P_{k+}(p)$ ,  $Q_{k+}(p)$  – полиномы, имеющие в качестве своих нулей только левые нули и полюсы объекта, компенсируемые при помощи регулятора;  $P_{n+}(p)$ ,  $Q_{n+}(p)$  – полиномы, содержащие только левые нули и полюсы объекта, в компенсации которых нет необходимости;  $P_-(p)$ ,  $Q_-(p)$  – полиномы, содержащие правые и нейтральные нули и полюсы объекта, за исключением расположенных в точке  $p=0$ , компенсация которых неприемлема из-за нарушения условия грубости;  $s = 0, 1, 2$  – количество полюсов объекта в точке  $p=0$ .

Из сравнения (3) и (5) следует, что:

$$Q_{k+}(p) = (4T_\mu K_2 p + 1); \quad P_{k+}(p) = 1; \quad P_{n+}(p) = 1; \quad Q_{n+}(p) = 1; \quad P_-(p) = 1; \quad Q_-(p) = T_c p - 1; \quad s = 0.$$

Найдем, обозначаемые в виде | |, степени полиномов, входящих в (5), на основании передаточной функции объекта (3) и ее составляющих:  $|P_{k+}|=0$ ;  $|P_{n+}|=0$ ;  $|P_-|=0$ ;  $|P|=0$ ;  $|Q_{k+}|=1$ ;  $|Q_{n+}|=0$ ;  $|Q_-|=1$ ;  $|Q|=2$ .

На основании метода полиномиальных уравнений [5] примем передаточную функцию астатического РС в виде

$$W_{PC}(p) = \frac{Q_{k+}(p) M(p)}{K_o P_{k+}(p) N(p) p^{v-s}}, \tag{6}$$

где  $v$  – желаемый порядок астатизма замкнутой системы регулирования скорости, принимаемый равным единице ( $v=1$ );  $M(p)$ ,  $N(p)$  – неизвестные полиномы, соответственно имеющие вид:

$$M(p) = m_i p^i + m_{i-1} p^{i-1} + \dots + m_1 p + m_0; \quad N(p) = n_j p^j + n_{j-1} p^{j-1} + \dots + n_1 p + n_0. \quad (7)$$

Согласно [5] для степени полиномов  $M(p)$ ,  $N(p)$ , и  $G(p)$  будем иметь:

$$|M| = |Q_-| + |Q_{n+}| + v - 1 = 1 - 0 + 1 - 1 = 1; \quad |N| = |Q| - |P_{k+}| - 1 = 2 - 0 - 1 = 1; \quad |G| = |M| + |N| + 1 = 1 + 1 + 1 = 3,$$

т.е.  $M(p) = m_1 p + m_0$  и  $N(p) = n_1 p + n_0$ .

Полиномиальное уравнение синтеза имеет вид

$$M(p)P_-(p)P_{n+}(p) + N(p)Q_-(p)Q_{n+}(p) \cdot p^v = G(p) \quad (8)$$

и в развернутой форме слагаемых по мере убывания степени  $p$  представляется как

$$n_1 T_c p^3 + (n_0 T_c - n_1) p^2 + (m_1 - n_0) p + m_0 = T_0^3 p^3 + \alpha_2 T_0^2 p^2 + \alpha_1 T_0 p + \alpha_0, \quad (9)$$

где  $G(p)$  – характеристический полином замкнутой системы, задаваемый исходя из условия обеспечения желаемого переходного процесса, в частности, отвечающий одному из известных стандартных распределений [7, 8] или их видоизменений [3, 9];  $T_0 = 1/\omega_0$  – эквивалентная малая постоянная времени системы, определяющаяся величиной выбираемого значения среднегеометрического корня  $\omega_0$ .

Неизвестные коэффициенты  $m_i$  и  $n_j$  полиномов  $M(p)$ ,  $N(p)$  находятся из сравнения сомножителей при одинаковых степенях  $p$  левой и правой частей уравнения (8). Они имеют вид:

$$n_1 = \frac{1}{T_c \omega_0^3}; \quad n_0 = \frac{1}{T_c} \left( \frac{\alpha_2}{\omega_0^2} + n_1 \right); \quad m_1 = \frac{\alpha_1}{\omega_0} + n_0; \quad m_0 = \alpha_0. \quad (10)$$

Анализ (9) показывает, что в данном случае недопустимо понижение порядка степени полиномов  $M(p)$ ,  $N(p)$  и  $G(p)$  на единицу, так как при потере коэффициентов  $m_1$  и  $n_1$  коэффициенты при  $p$  вступают в противоречие:  $-n_0 p$  не может быть равно  $+\alpha_1 T_0 p$ .

Согласно (6), передаточная функция синтезируемого РС определяется как

$$W_{PC}(p) = \frac{K_{PC} (4T_\mu K_2 p + 1)(T_1 p + 1)}{(T_2 p + 1)p}, \quad (11)$$

где  $K_{PC} = m_0/K_0 n_0 = m_0 K_1 \beta c / 1,5 Z p K_r \psi_r K_{дс} n_0$ ;  $T_1 = m_1/m_0$ ;  $T_2 = n_1/n_0$ .

Проверку работоспособности системы регулирования скорости с синтезированным регулятором (11) проведем на базе АД типа *МТКФ* 312-8 со следующими параметрами:  $P_H = 13$  кВт;  $n_H = 690$  об/мин;  $U_H = 380$  В;  $I_H = 31,8$  А;  $\psi_{r0} = 0,6834$  Вб;  $I_0 = 27,7$  А;  $\cos \varphi_0 = 0,088$ ;  $\cos \varphi = 0,63$ ;  $\eta = 76\%$ ;  $GD^2 = 1,55$  кгм<sup>2</sup>;  $R_s = 0,45$  Ом;  $X_{sl} = 0,53$  Ом;  $R'_r = 0,64$  Ом;  $X'_{rl} = 0,42$  Ом;  $T_M = 0,012$  с;  $T_\Omega = 0,0074$  с;  $m = T_M/T_\Omega = 1,62$ ;  $\beta = 28,58$  Н·м·с;  $T_c = 0,013$  с и преобразователя частоты, для которого  $K_{пч} = 38$ ;  $T_\mu = 0,002$  с.

В результате расчетов для полной двухканальной структуры частотно-регулируемого асинхронного ЭП, представленной на рис.2а, б, получено:  $K_1 = 0,4129$ ;  $K_2 = 0,7065$ ;  $K_r = 0,9808$ ;  $Z_p = 4$ ;  $T_{sr} = 0,0028$  с;  $R_{sr} = 1,0657$  Ом;  $J = 0,3875$  кгм<sup>2</sup>;  $T_r = 0,1088$  с;  $L_s = 0,07$  Гн;  $L_m = 0,0683$  Гн;  $\sigma = 0,0428$ . При  $U_{3c} = U_{3п} = 10$  В учтем, что:  $K_T = 0,1258$  В/А;  $K_{дс} = 0,1384$  Вс;  $K_{пч} = 14,6326$  В/Вб.

В приведенной структурной схеме рис.2б передаточные функции регуляторов тока и потока имеют численные значения:

$$W_{рТФ1}(p) = W_{рТФ2}(p) = 0,1568; \quad W_{рТ1}(p) = W_{рТ2}(p) = \frac{428,49}{p}; \quad W_{рП}(p) = \frac{1,2089(0,1088p + 1)}{0,1088p}.$$

При этом синтезированный по традиционной методике [1] без учета нелинейного характера нагрузки ПИ - РС скорости имеет вид:

$$W_{PC}(p) = \frac{JK_T (16T_\mu K_2 p + 1)}{192\psi_r T_\mu^2 K_2^2 Z_p K_{дс} K_r p} = \frac{7,75(0,0226p + 1)}{0,0226p}. \quad (12)$$

При модуле жесткости механической характеристики АД  $\beta = 28,58$  Н·м·с величина жесткости падающего участка механической характеристики нагрузки взята на уровне  $\beta_c = -30$  Н·м·с, при котором параметр  $b = \beta_c/\beta = -1,05$ . В этом случае система становится динамически неустойчивой, что существенно усложняет настройку всей системы.

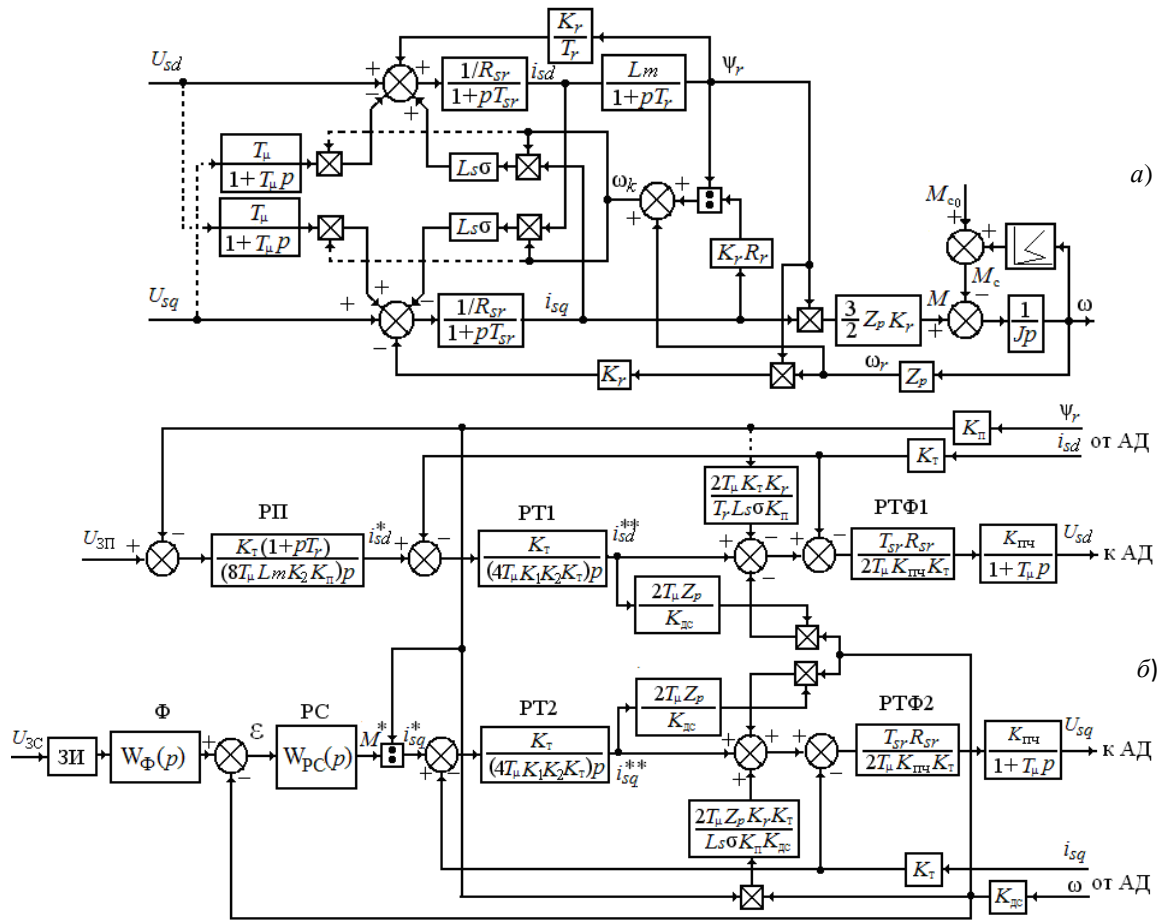


Рисунок 2 – Структурная схема АД с КЗ ротором во вращающейся системе координат, ориентированной по потокоцеплению ротора а) и система его векторного управления с компенсацией перекрестных обратных связей б)

В исследованиях принято, что нелинейная нагрузка ЭП имеет следующий характер

$$M_c = \begin{cases} M_{c0} + \beta_{c1}\omega; & \beta_{c1} = 18 \text{ Н}\cdot\text{м}\cdot\text{с}; & M_{c0} = 0 \text{ Н}\cdot\text{м}; & 0 \leq \omega \leq 10 \text{ с}^{-1}; \\ -\beta_c\omega; & |\beta_c| = 30 \text{ Н}\cdot\text{м}\cdot\text{с}; & & 10 \leq \omega \leq 15 \text{ с}^{-1}; \\ +\beta_{c2}\omega; & \beta_{c2} = 2,5 \text{ Н}\cdot\text{м}\cdot\text{с}; & & 15 \leq \omega \leq 75 \text{ с}^{-1}. \end{cases} \quad (13)$$

Определение параметров передаточной функции астатического РС (11) осуществим, используя распределение Баттерворта [7] с коэффициентами:  $\alpha_0=1$ ;  $\alpha_1=2$ ;  $\alpha_2=2$ . Зададимся значением среднегеометрического корня замкнутой системы  $\omega_0=100 \text{ с}^{-1}$ .

По зависимостям (10) рассчитываются величины коэффициентов полиномов  $M(p)$  и  $N(p)$ :  $n_1=0,0000774 \text{ с}^2$ ;  $n_0=0,0215 \text{ с}$ ;  $m_1=0,0415 \text{ с}$ ;  $m_0=1$ , что определяет необходимые значения передаточных функции РС и фильтра Ф на входе системы рис.2б:

$$W_{PC}(p) = \frac{315,67(0,0057p + 1)(0,0415p + 1)}{(0,0036p + 1)p}; \quad W_{\Phi}(p) = \frac{1}{(0,0415p + 1)}. \quad (14)$$

На рис.3 показаны результаты компьютерного исследования одномассового асинхронного ЭП (рис.2) с традиционным ПИ - РС при его работе на пониженной скорости  $\omega=11 \text{ с}^{-1}$ , соответствующей падающему участку нелинейной характеристики нагрузки с расчетной величиной  $\beta_c=-30 \text{ Н}\cdot\text{м}\cdot\text{с}$  (осц. а). Случаю  $\beta_c=0$  отвечает осц. б. Выходу ЭП на участок с  $\beta_c=2,5 \text{ Н}\cdot\text{м}\cdot\text{с}$  при номинальной скорости  $\omega=72,2 \text{ с}^{-1}$  соответствует осц. в. Разгон ЭП с фильтром на входе от задатчика интенсивности (ЗИ) до скорости  $\omega=11 \text{ с}^{-1}$  представлен на осц. г.

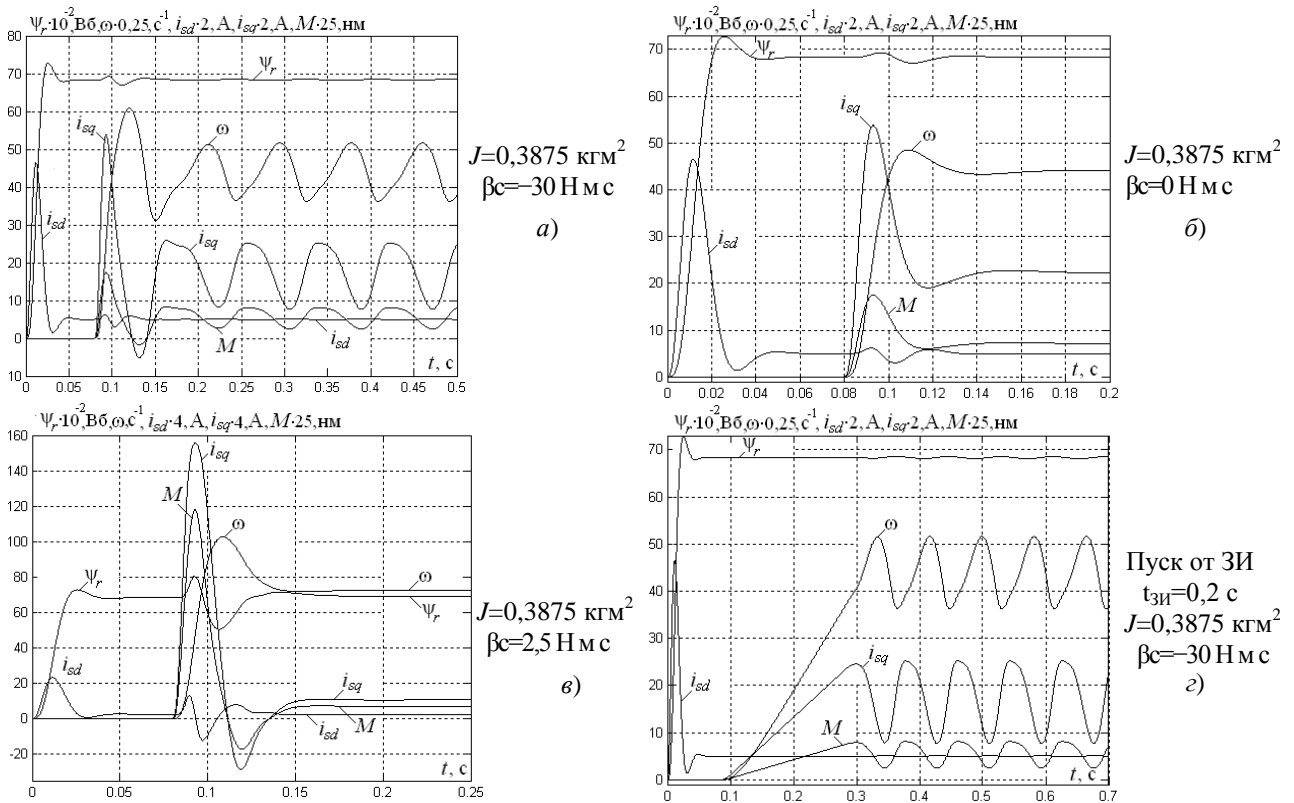


Рисунок 3 – Переходные характеристики асинхронного ЭП с традиционным ПИ – РС (12)

Как и ожидалось, работа ЭП с традиционно рассчитанным ПИ - РС на падающем участке характеристики нагрузки, сопровождается возникновением автоколебаний, которые оказывают негативное влияние на качество переходных процессов.

Работа системы с синтезированным полиномиальным методом астатическим РС в тех же режимах работы приведена на рис 4.

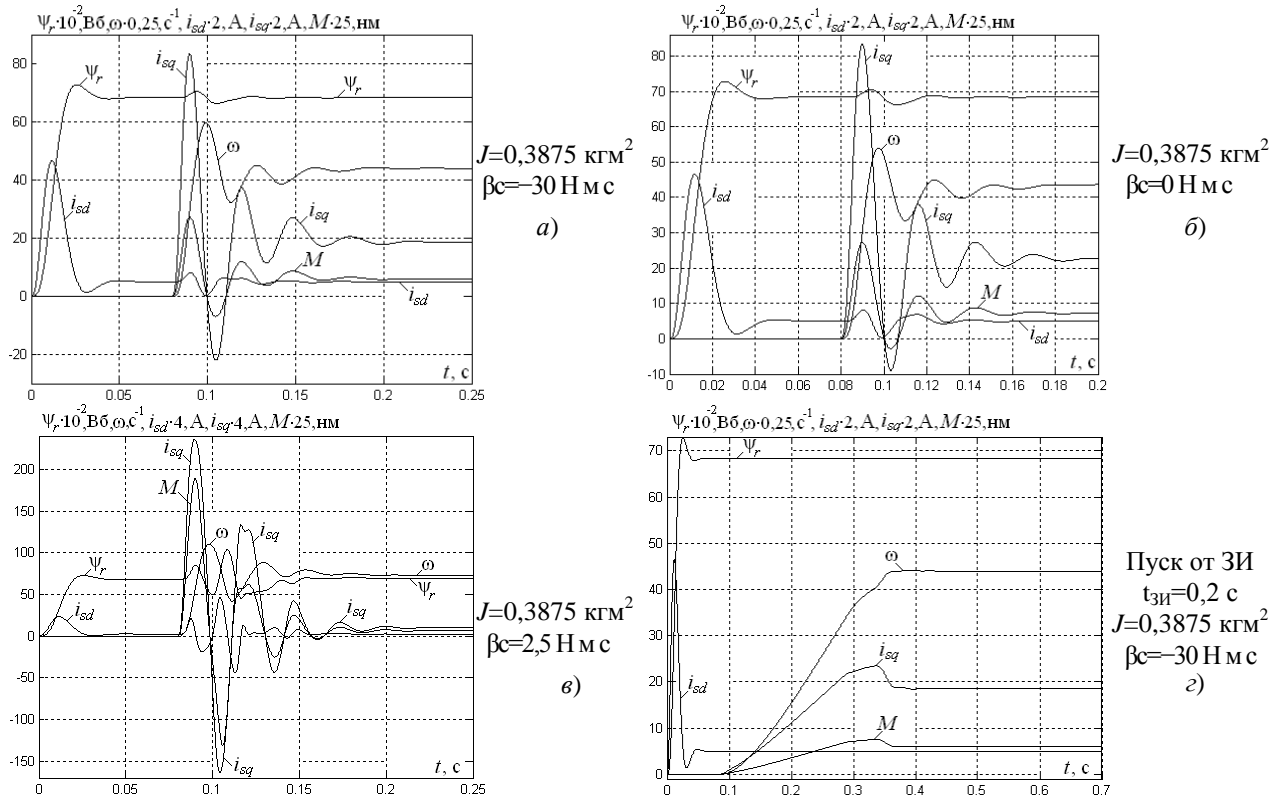


Рисунок 4 – Переходные характеристики асинхронного ЭП с РС (14), синтезированным полиномиальным методом

Представленные осциллограммы подтверждают возможность полиномиального метода обеспечить устойчивость исходно неустойчивого объекта с нелинейным характером нагрузки. Система успешно работает на падающем участке нагрузки с  $\beta c = -30$  Н·м·с (а), при  $\beta c = 0$  Н·м·с (б), и на восходящем участке при  $\beta c = 2,5$  Н·м·с (в). Имеющиеся в системе колебания скорости полностью устраняются при работе системы с фильтром от датчика интенсивности (з).

Таким образом, можно заключить, что полиномиальный метод синтеза позволил существенно расширить диапазон изменения параметров системы в различных режимах работы асинхронного ЭП с нелинейной нагрузкой и в большинстве из них обеспечил удовлетворительное качество переходных процессов.

Проведем оптимизацию системы рис.2б с синтезированным РС (14) методом диаграмм качества управления по критерию МДУ. Для этого введем безразмерные переменные  $k$  и  $b$  в коэффициент усиления и большую постоянные времени числителя передаточной функции РС. С учетом этого получим:

$$W_{PC}(p) = \frac{k \times 315,67(0,0057p + 1)(b \times 0,0415p + 1)}{(0,0036p + 1)p}, \quad (15)$$

где  $k$  – регулировочный параметр добротности системы;  $b$  – параметр, определяющий низкочастотное сопряжение асимптотической логарифмической амплитудной частотной характеристики разомкнутого контура скорости.

По предложенной в [10] методике выполним построение диаграммы качества управления в плоскости параметров  $k$  и  $b$  синтезированного РС для линеаризованной одноканальной структуры асинхронного ЭП рис.1 с  $\beta c = -30$  Н·м·с без учета фильтра и датчика интенсивности.

В частотной области ДКУ имеет вид, приведенный на рис.5а. Отметим, что мерой запаса устойчивости в данном случае принят частотный показатель колебательности  $M$ . Из диаграммы следует, что при исходном значении добротности  $k=1$  и показателя колебательности  $M=4,35$  (точка 1), перенастройка системы на линию МДУ при  $k=1$  и  $b=0,91$  (точка 2) обеспечивает показатель колебательности  $M=3,75$ , что на 16% меньше исходной величины.

Максимальному значению добротности с  $k=1,18$  при заданном запасе устойчивости соответствует точка 3.

Результаты оптимизации во временной области полной структуры асинхронного ЭП с учетом нелинейного характера нагрузки показаны на рис.5б в виде семейства переходных характеристик, соответствующих характерным точкам 1, 2 и 3 диаграммы качества управления. Переходная характеристика под номером 1 отвечает исходной настройке регулятора (14) с использованием фильтра Баттерворта 3-го порядка. Характерной точке 2 соответствует переходная характеристика, отвечающая понижению перерегулирование с 37% до 15%, достигаемому при  $k=1$  и  $b=0,75$ . Точке с максимальной добротностью системы при заданном запасе устойчивости 37% соответствует переходная характеристика 3. Для данной характеристики получены значения параметров  $k=1,365$  и  $b=0,6$ , при которых добротность системы повышается на 36,5%.

На рис.5в показаны переходные характеристики по возмущению в полной структуре векторно-управляемого ЭП при набросе постоянной нагрузки. Наибольшей добротности системы соответствует кривая 3, имеющая минимальную площадь отклонения от установившегося значения и минимальное время восстановления скорости не превышающее 0,39 сек.

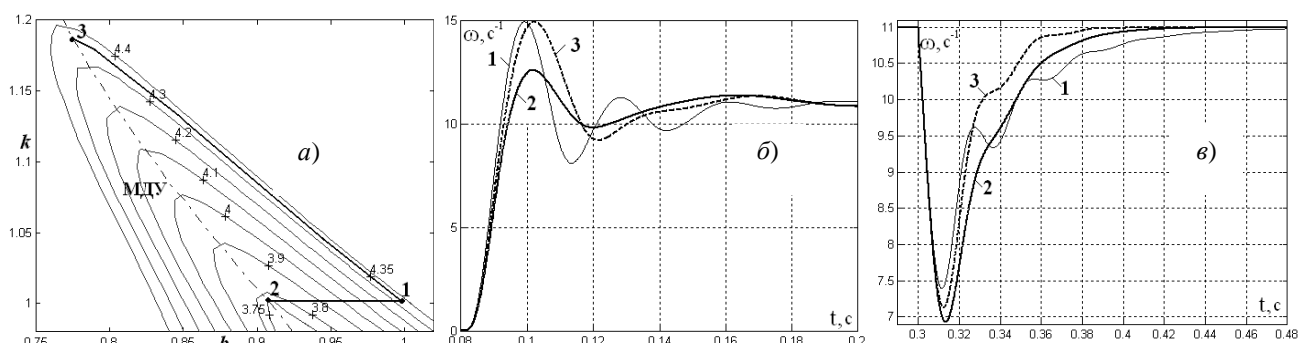


Рисунок 5 – Диаграмма качества управления в частотной области (а);  
переходные характеристики для трех характерных точек (б);  
просадка скорости при набросе постоянной нагрузки (в)

Переходные характеристики скорости, потока, токов и момента асинхронного ЭП с настройкой синтезированного астатического регулятора (14) на линию МДУ в точки 2 и 3 с соответствующими передаточными функциями фильтра  $W_{\Phi}(p) = 1/(b \times 0,0415p + 1)$  представлены на рис.6 и 7. Осциллограммы соответствуют режимам работы ЭП, ранее показанным на рис.3 и 4.

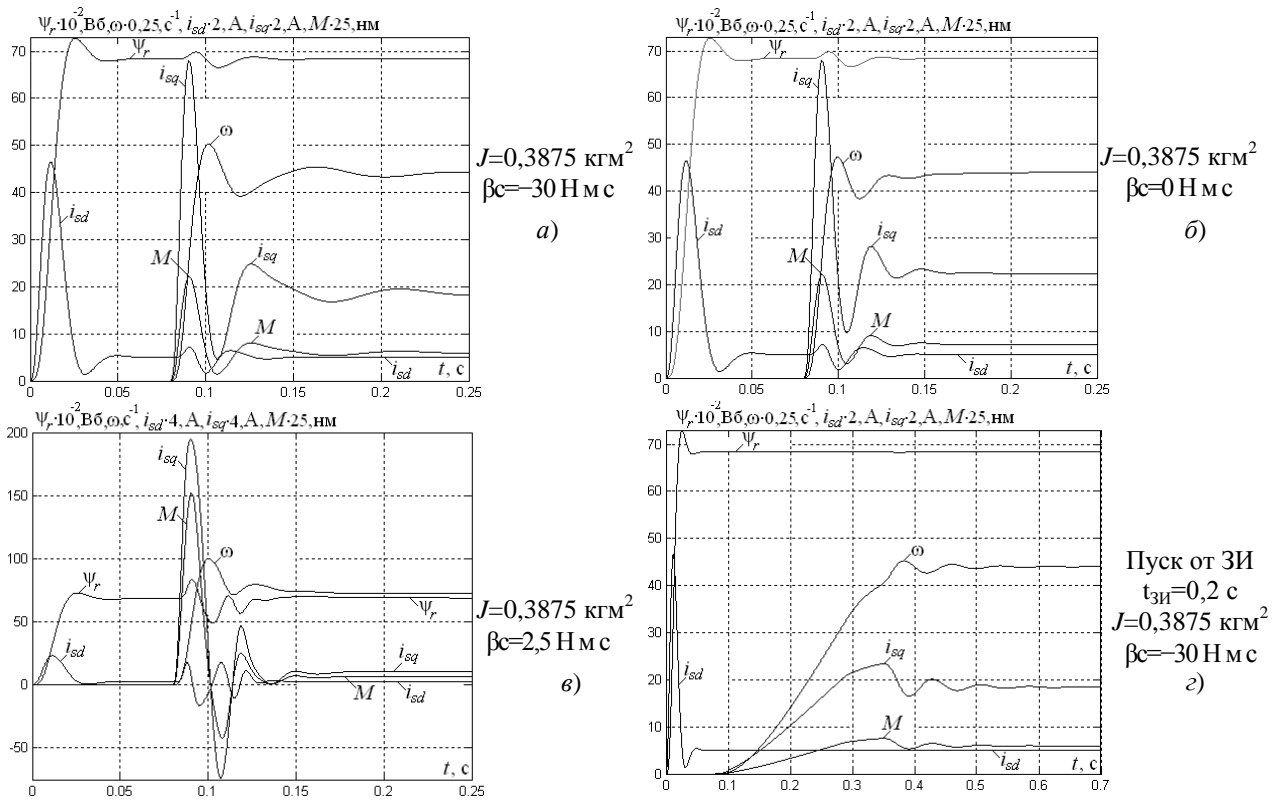


Рисунок 6 – Переходные характеристики асинхронного ЭП с оптимизированным РС (14) в точке 2 максимальной запаса устойчивости

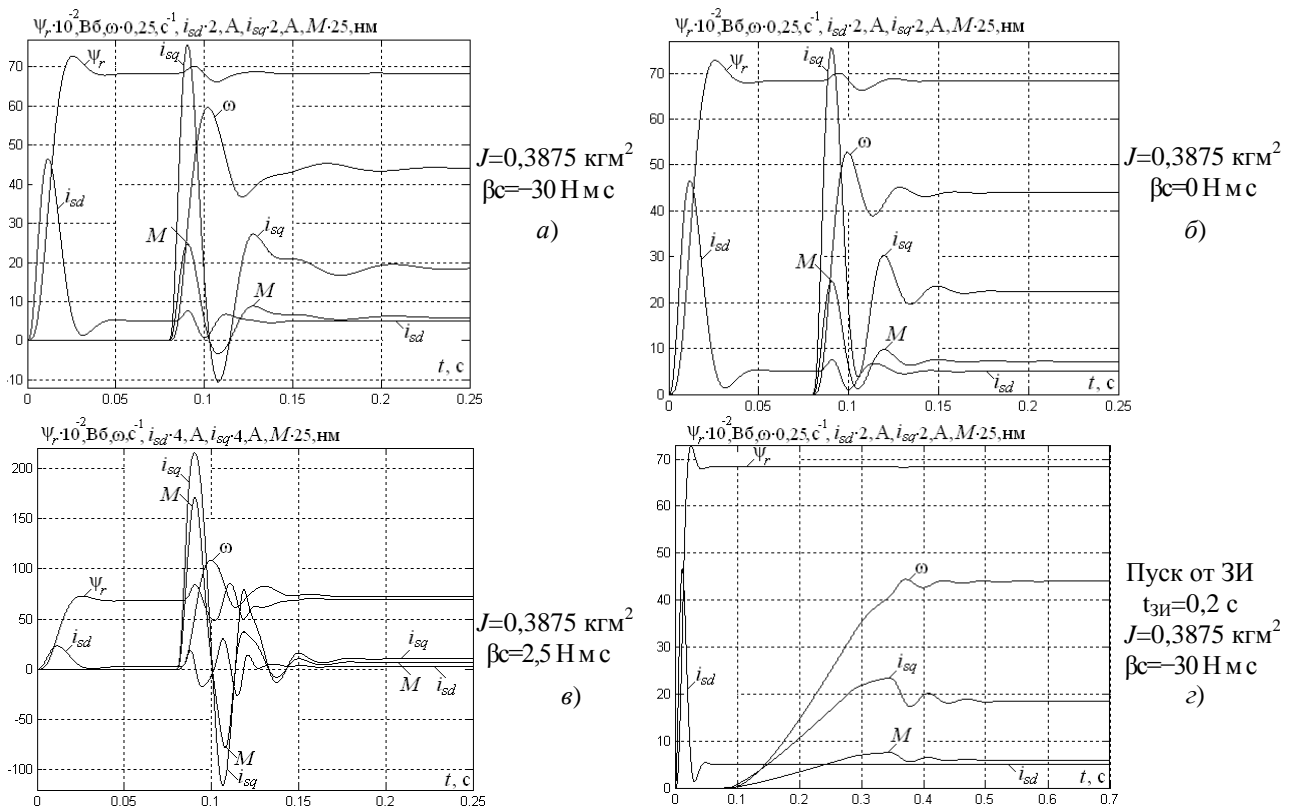


Рисунок 7 – Переходные характеристики асинхронного ЭП с оптимизированным РС (14) в точке 3 максимальной добротности

Сравнительный анализ результатов исследований исходной, синтезированной и оптимизированной на линию МДУ систем показал возможность не только устранения нежелательных автоколебаний в ЭП, но и существенное улучшение динамических процессов: снижение перерегулирования с 37% до 15% либо повышение добротности на 36,5% при исходном перерегулировании 37%.

**Выводы.** 1. Реализован комплексный подход к проблеме оптимизации параметров частотно-управляемого асинхронного электропривода с векторным управлением при нелинейном характере нагрузки и исходной неустойчивости объекта использованием методов полиномиальных уравнений и диаграмм качества управления. 2. Разработанная методика оптимизации основывается на поэтапном применении, вначале, полиномиального метода синтеза для придания системе заданных динамических свойств и последующей оптимизацией параметров синтезированного астатического регулятора скорости методом ДКУ. 3. Установлено, что добротность системы может быть увеличена в 1,4 раза при исходном запасе устойчивости, а при исходной добротности возможно повышение запаса устойчивости на 22%. 4. Показано, что система успешно работает на падающем и восходящем участках нелинейной нагрузки, включая случай  $M_s = \text{const}$ , при котором  $\beta_s = 0$ .

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Системы подчиненного регулирования электропривода переменного тока с вентильными преобразователями / [Слежановский О.В., Дацковский И.С., Кузнецов И.С. и др.] – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 256 с.
2. Клепиков В.Б. О проблеме фрикционных автоколебаний в электроприводах / В.Б. Клепиков // Электричество. – 1986. – №4. – С. 59-62.
3. Акимов Л.В. Динамика двухмассовых систем с нетрадиционными регуляторами скорости и наблюдателями состояния: Монография / Л.В. Акимов, В.И. Колотило, В.С. Марков; под общей редакцией В.Б. Клепикова, Л.В. Акимова – Харьков: ХГПУ, 2000. – 93 с.
4. Синтез упрощенных структур двухмассовых электроприводов с нелинейной нагрузкой / [Акимов Л.В., Долбня В.Т., Клепиков В.Б., Пирожок А.В.]; под общей редакцией В.Б. Клепикова. – Харьков: НТУ «ХПИ», Запорожье: ЗНТУ, 2002. – 160 с.
5. Залялеев С.Р. О применении метода полиномиальных уравнений для синтеза непрерывных систем электропривода / Залялеев С.Р. // Электротехника. – 1998. – №2. – С.48-53.
6. Гуль А.И. Параметрическая оптимизация СПР спирально-винтового транспортера методом диаграмм качества управления / Гуль А.И., Кунченко Т.Ю. // Вісник Національного технічного університету «ХПИ». – Харків: НТУ «ХПИ», 2005. – №45. – С.200-202.
7. Крассовский А.А. Основы автоматики и технической кибернетики / Крассовский А.А., Поспелов Г.С. – М.: Госэнергоиздат, 1962. – 600 с.
8. Осичев А.В. Стандартные распределения корней в электроприводе / Осичев А.В., Котляров В.О., Марков В.С. // Труды конф. Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика. – Харьков: Основа. – 1997. – С. 104-110.
9. Толочко О.І. Аналіз та синтез електромеханічних систем зі спостерегачами стану: [Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів] / Толочко О.І. – Донецьк: Норд – Прес, 2004. – 298 с.
10. Гуль А.И. Оптимизация условно устойчивых СПР с неминимально фазовыми звеньями методом диаграмм качества управления / Гуль А.И., Кунченко Т.Ю. // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. – Кременчук: КДПУ, 2005. – Вип.. 4/2005(33). – С.30 – 32.

Надійшла до редколегії 11.03.2011

Рецензент: О.І.Толочко

Л.В. АКІМОВ, Д.Г. ЛИТВИНЕНКО  
Національний технічний університет  
«Харківський політехнічний інститут»

L. AKIMOV, D. LITVINENKO  
National Technical University  
«Kharkiv Polytechnic Institute»

**Синтез астатичного регулятора швидкості для системи векторного управління одномасовим асинхронним електроприводом з нелінійним навантаженням.** У статті реалізований комплексний підхід до проблеми оптимізації параметрів частотно-керованого асинхронного електроприводу з векторним управлінням при нелінійному характері навантаження і початкової нестійкості об'єкту використанням методів поліноміальних рівнянь і діаграм якості керування.  
*Асинхронний електропривод, векторне управління, астатичний регулятор швидкості, параметрична оптимізація, динамічні характеристики.*

**Synthesis of Astatic Speed Regulator for the Vector Control System by an Onemass Asynchronous Drive with the Nonlinear Loading.** In the article complex approach to the problem of parameters optimization of the frequency-guided asynchronous drive with a vector control at nonlinear character of loading and initial object instability the use of methods of polynomial equations and diagrams of control quality is realized.  
*Asynchronous electric drive, vector control, astatic speed regulator, parametrical optimization, dynamic characteristics.*