

УДК 62.83

Л. В. Акимов, д-р техн. наук,
С. Г. Буряковский, канд. техн. наук,
А. С. Маслий, В. В. Смирнов

УЛУЧШЕНИЕ ДИНАМИКИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО СТРЕЛОЧНОГО ПЕРЕВОДА С ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ ПРИ НЕСТАЦИОНАРНЫХ РЕЖИМАХ РАБОТЫ

Аннотация. Предложено использование метода полиномиальных уравнений для синтеза передаточной функции астатического регулятора скорости системы частотно-регулируемого электропривода переменного тока, способствующего улучшению динамики процесса перевода стрелочных остряков за счет ликвидации негативного влияния колебательных режимов.

Ключевые слова: стрелочный перевод, автоколебательные режимы, астатический регулятор скорости, метод полиномиальных уравнений.

L. V. Akimov, ScD,
S. G. Byrakovskiy, PhD,
A. S. Masliy, V. V. Smirnov

DYNAMICS IMPROVEMENT OF RAILWAY SWITCH BY MEANS OF FREQUENCY CONTROL OF ELECTRIC DRIVE IN UNSTEADY MODES

Abstract. Proposed use of the method of polynomial equations for the synthesis of the transfer function of the speed control system astatic frequency controlled AC motors, contributing to improve the dynamics of the translation process switches wits by eliminating the negative influence of the vibrational modes.

Keywords: railway switch, self-oscillating mode, astatic speed controller, the method of polynomial equations.

Л. В. Акімов, д-р техн. наук,
С. Г. Буряковський, канд. техн. наук,
А. С. Маслій, В. В. Смірнов

ПОЛІПШЕННЯ ДИНАМІКИ ЗАЛІЗНИЧНОГО СТІЛКОВОГО ПЕРЕВОДУ З ЧАСТОТНО-КЕРОВАНИМ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ ПРИ НЕСТАЦІОНАРНИХ РЕЖИМАХ РОБОТИ

Анотація. Запропоновано використання методу поліноміальних рівнянь для синтезу передавальної функції астатичного регулятора швидкості системи частотно-керованого електропривода змінного струму, що сприяє поліпшенню динаміки процесу переведу стрілкових остряків за рахунок ліквідації негативного впливу коливальних режимів.

Ключові слова: стрілковий перевод, автоколивальні режими, астатичний регулятор швидкості, метод поліноміальних рівнянь.

Введение. Существует проблема ускоренного возрастания величины зазоров в кинематической линии некоторых стрелочных переводов (СП), носящая случайный характер. По данным статистических исследований на железных дорогах Латвии [3] (отечественных данных по этому вопросу, к сожалению, нет), на определенных стрелках скорость роста зазоров в узле шибера–рабочая тяга составляет до 0,09 мм в месяц при средней скорости 0,05 мм в месяц. Это не только приводит к ухудшению динамических характеристик СП, но и нарушает периодичность

осмотров и ремонтов механической части перевода, установленного техническими инструкциями. Возможна даже аварийная ситуация в случае, если электромеханик не успеет вовремя произвести осмотр и выявить увеличенный зазор, так как наружный рельс при этом будет отстоять от рамного на суммарную величину зазоров.

Скорость увеличения зазоров может зависеть от фрикционных колебаний упругой силы. Доказательством такого нестационарного режима работы может служить состояние переводной поверхности, по которой движется рельс из одного положения в другое. В пяти представленных случаях на рис. 1 видны волнообразные деформации, кото-

© Акимов Л.В., Буряковский С. Г.,
Маслий А.С., Смирнов В.В., 2012

рые, по предположению авторов, являются следствием автоколебательных режимов.

Условие возникновения расходящихся и автоколебательных режимов – статическая и динамическая неустойчивость электромеханической системы, впервые обоснованная в [4]. Она обусловлена наличием участка с отрицательным вязким трением в характеристике нагрузки. Ликвидация динамической неустойчивости, особенно в двухмассовых системах, представляет определенные трудности.

Постановка задач исследования. В связи с изложенным, представляет научный и практический интерес поиск методов борьбы с автоколебательными режимами. В [2] показано, что для улучшения динамических качеств векторного частотно–управляемого асинхронного электропривода целесообразно применять метод полиномиальных уравнений.

Целью исследования является улучшение динамики за счет синтеза полиномиальным методом и реализации передаточной функции астатического регулятора скорости (РС) для электромеханической системы СП, основу которого составляет система ПЧ–АД с векторным управлением и существенной нелинейностью механической характеристики нагрузки. Важно отметить, что механическая характеристика нагрузки ЭП, имеющая зависимые от скорости провалы момента, приводит систему к исходной статической и динамической неустойчивости.

Материалы исследования. На рис. 2 представлена структурная схема исследуемого объекта с учетом компенсации перекрестных связей звеном вида $W_K(p) = T_{PT} Z_p K_r / K_{PT} K_i \times \hat{E}_{\Delta\bar{N}}$ и коэффици-

ентом усиления объекта $K_O = \frac{3}{2} Z_p K_r \Psi_r K_{\Delta\bar{N}} / (K_T |\beta_c|)$, где K_T – коэффициент датчика тока, K_r – коэффициент связи ротора, $K_{ДС}$ – коэффициент датчика скорости, Ψ_r – потокосцепление ротора, Вб, $K_{РТ}$ – коэффициент усиления регулятора тока; $T_{РТ}$ – постоянная времени регулятора тока; $K_{ПЧ}$ – коэффициент усиления преобразователя частоты; Z_p – количество пар полюсов двигателя; $|\beta_c|$ – модуль коэффициента вязкого трения.

Передаточная функция объекта в контуре регулирования скорости первой массы ω_1 [1, 5]

$$W_{i_d}(\delta) = \frac{U_{i_N}(p)}{U_{\delta\bar{N}}(p)} = \frac{\frac{3/2 Z_p K_r \Psi_r K_{\Delta\bar{N}}}{\hat{E}_{\Delta\bar{N}} |\beta_c|}}{(2\delta_\mu \delta + 1)} \times \frac{\left(\frac{\gamma}{\Omega_{12}^2} p^2 - \frac{|\beta_c|}{C_{12}} p + 1 \right)}{\left(\frac{T_c}{\Omega_{12}^2} p^3 - \frac{\gamma}{(\gamma - 1)\Omega_{12}^2} p^2 + T_c p - 1 \right)}, \quad (1)$$

где T_μ – малая постоянная времени контура тока, с; $J_\Sigma = J_1 + J_2$ – суммарный приведенный к валу двигателя момент инерции привода, кг·м²; $\gamma = (J_1 + J_2) / J_1$ – параметр, характеризующий соотношение масс; $\Omega_{12}^2 = C_{12} \gamma / J_2$ – квадрат резонансной частоты упругих колебаний, с⁻², $T_c = (J_1 + J_2) / |\beta_c|$ – механическая постоянная времени, с.

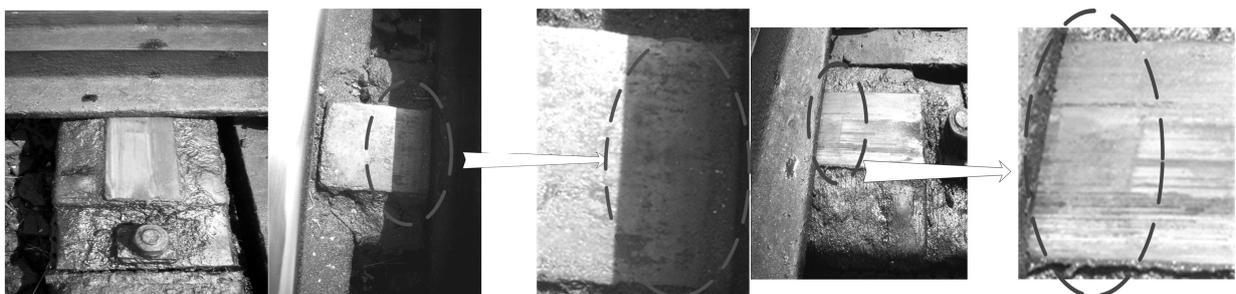


Рис. 1. Деформации переходных поверхностей

$$\begin{aligned}
 & n_2 \frac{\dot{\Omega}_c}{\Omega_{12}^2} \delta^6 + \left[n_1 \frac{T_c}{\Omega_{12}^2} + n_2 \frac{\gamma}{(\gamma-1) \cdot \Omega_{12}^2} \right] p^5 + \\
 & + \left[\frac{\gamma}{\Omega_{12}^2} m_2 + \frac{T_c}{\Omega_{12}^2} n_0 - \frac{\gamma}{(\gamma-1) \cdot \Omega_{12}^2} n_1 + T_c n_2 \right] p^4 \\
 & + \left[\frac{\gamma}{\Omega_{12}^2} m_1 - \frac{|\beta_{\bar{n}}|}{\tilde{N}_{12}} m_2 - \frac{\gamma}{(\gamma-1) \cdot \Omega_{12}^2} n_0 + T_c n_1 - n_2 \right] p^3 + \\
 & + \left[\frac{\gamma}{\Omega_{12}^2} m_0 - \frac{|\beta_{\bar{n}}|}{\tilde{N}_{12}} m_1 - \frac{\gamma}{(\gamma-1) \cdot \Omega_{12}^2} n_1 + T_c n_2 \right] p^2 + \\
 & + \left[m_1 - \frac{|\beta_{\bar{n}}|}{\tilde{N}_{12}} m_0 - n_0 \right] p + m_0 = \alpha_6 T_0^6 p^6 + \alpha_5 T_0^5 p^5 + \\
 & + \alpha_4 T_0^4 p^4 + \alpha_3 T_0^3 p^3 + \alpha_2 T_0^2 p^2 + \alpha_1 T_0 p + \alpha_0, \quad (7)
 \end{aligned}$$

где α_i – коэффициенты выбираемого стандартного распределения.

Анализ уравнения (7) показывает, что определению подлежат не только шесть неизвестных коэффициентов полиномов $M(p)$, $N(p)$, но и величина среднегеометрического корня $\omega_0 = 1/T_0$, которая в данном случае также зависит от параметров объекта регулирования (1). Следует отметить, что РС реализуется только в случаях всех положительных значений коэффициентов полиномов $M(p)$, $N(p)$, а именно m_i и n_j .

Из сравнения сомножителей при степенях $p^6, p^5, p^4, p^3, p, p^0$ следуют шесть нелинейных уравнений, определяющих значения неизвестных коэффициентов:

$$n_2 = \frac{\alpha_6 \Omega_{12}^2}{\omega_0^6 T_c}; \quad (8)$$

$$n_1 = \frac{\Omega_{12}^2}{T_c} \left[\frac{\alpha_5}{\omega_0^5} + n_2 \frac{\gamma}{(\gamma-1) \Omega_{12}^2} \right]; \quad (9)$$

$$n_0 = \frac{1}{T_c(\gamma-1) - \frac{\gamma \beta_c^2}{C_{12}}} \times$$

$$\begin{aligned}
 & \times \left[\frac{\alpha_2 \gamma}{\omega_0^2} - \frac{\alpha_4 \Omega_{12}^2}{\omega_0^4} - \frac{\alpha_3}{\omega_0^3} + \frac{\alpha_1 |\beta_c| \gamma}{C_{12} \omega_0} + \gamma \left(\frac{|\beta_c|}{C_{12}} \right)^2 - \right. \\
 & \left. - \frac{\gamma^2}{\Omega_{12}^2} - \left(1 - \frac{1}{\gamma-1} \right) n_1 + T_c \Omega_{12}^2 n_2 \right]; \quad (10)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 m_{21} = \frac{1}{\gamma} \left[\frac{\alpha_4 \Omega_{12}^2}{\omega_0^4} - T_c n_0 + \left(1 - \frac{1}{\gamma-1} \right) n_1 - \right. \\
 \left. - T_c \Omega_{12}^2 n_2 \right]; \quad (11)
 \end{aligned}$$

$$m_1 = \frac{\alpha_1}{\omega_0} + \frac{\alpha_0 |\beta_c|}{C_{12}} + n_0; \quad (12)$$

$$m_0 = \alpha_0. \quad (13)$$

Из равенства сомножителей уравнения (7) при p^2 может быть получено второе выражение для m_2 . При этом второе значение коэффициента m_{22} при выборе желаемого распределения полюсов $G(p)$ обязательно должно равняться m_{21} . Это выражение имеет вид

$$\begin{aligned}
 m_{22} = \frac{C_{12}}{|\beta_c|} \left[\frac{\gamma}{\Omega_{12}^2} m_1 - \left(1 - \frac{1}{\gamma-1} \right) n_1 + \right. \\
 \left. + T_c n_1 - n_2 - \frac{\alpha_3}{\omega_0^3} \right]. \quad (14)
 \end{aligned}$$

Второе нелинейное уравнение m_{22} (14) может быть положено в основу выбора величины среднегеометрического корня системы, отвечающего желаемому распределению полюсов и обеспечивающее однозначность коэффициента m_2 . Данное уравнение представляется как

$$\begin{aligned}
 & \alpha_6 D \omega_0^6 + \alpha_5 E \omega_0^5 + \alpha_4 \gamma A \omega_0^4 - \alpha_3 \omega_0^3 - \\
 & \alpha_2 F \omega_0^2 + \alpha_1 \frac{B \Omega_{12}^2}{T_c} + \alpha_0 \frac{C \Omega_{12}^2}{T_c} = 0, \quad (15)
 \end{aligned}$$

где

$$A = \left(\frac{\gamma^2}{\Omega_{12}^2} + \frac{T_c |\beta_{\bar{n}}|}{\gamma \tilde{N}_{12}} - \frac{\gamma}{(\gamma-1) \Omega_{12}^2} \right) / \left((\gamma-1) T_c - \frac{|\beta_{\bar{n}}| \gamma}{\tilde{N}_{12}} \right);$$

$$B = T_c - \frac{|\beta_{\bar{n}}|}{(\gamma-1) \Omega_{12}^2} - A \left(\frac{\gamma}{(\gamma-1)} - \gamma \right);$$

$$C = \frac{B \gamma}{(\gamma-1) T_c} + A T_c \Omega_{12}^2 + \frac{T_c |\beta_{\bar{n}}| \Omega_{12}^2}{\gamma \tilde{N}_{12}} - 1;$$

$$F = \frac{\gamma}{\tilde{N}_{12}} + \frac{\Omega_{12}^2 |\beta_{\bar{n}}|}{\gamma \tilde{N}_{12}} + A \Omega_{12}^2;$$

$$D = \frac{B \gamma}{(\gamma-1) T_c} + A T_c \Omega_{12}^2 + \frac{\gamma |\beta_{\bar{n}}|}{\Omega_{12}^2 \tilde{N}_{12}} +$$

$$+ \left(\frac{|\beta_{\bar{n}}|}{\tilde{N}_{12}} \right)^2 \gamma A - \frac{\gamma^2}{\Omega_{12}^2} A; E = \frac{\gamma}{\tilde{N}_{12}} + \frac{\gamma |\beta_{\bar{n}}|}{\tilde{N}_{12}} A.$$

Важно отметить, что найденные из уравнения (15) одно либо несколько положительных значений среднегеометрического корня ω_i могут быть приняты для синтеза регулятора только при условии положительных значений коэффициентов неизвестных полиномов $M(p)$ и $N(p)$.

Анализ (8)–(13) показывает, что положительность коэффициентов n_2, n_1, m_0, m_1 , в случае $n_0 > 0$ гарантирована при всех ω_i . Однако это нельзя сказать о коэффициентах m_2, n_0 . Таким образом, решение уравнения (15) не всегда обеспечивает определение необходимого значения ω_0 . Поэтому поиск ω_0 по уравнению (15) носит итерационный характер и связан с коэффициентами α_i выбираемого распределения.

Процедура поиска необходимого распределения и желаемой величины среднегеометрического корня может быть упрощена построением зависимостей n_0 (10), m_{21} (11) и m_{22} (14) в функции произвольно задаваемого ω_0 .

Однако при попытке осуществить итерационный поиск неизбежно возникает вопрос об определении всех величин, входящих в уравнения (8)–(13).

Коэффициент вязкого трения нагрузки β_c имеет случайный характер и в работе [1] при расчете регулятора варьируется в пределах $1 \leq |\beta_c|/\beta \leq 2$, где β – модуль жесткости механической характеристики двигателя. В общем случае, такие параметры, как момент инерции второй массы J_2 , а следовательно, γ , жесткость упругой связи C_{12} также могут быть переменными величинами. В связи с этим простой перебор некоторых значений упомянутых параметров с целью построения зависимостей $n_0 = f(\omega_0)$, $m_{21} = f(\omega_0)$, $m_{22} = f(\omega_0)$ может потребовать значительных затрат времени, но так и не обеспечить желаемых результатов. Тем более, что необходимо получить наибольшее значение ω_0 , при котором $m_{21} = m_{22}$, так как величина среднегеометрического корня определяет быстроедействие системы.

В работе предлагается численный алгоритм определения значений среднегеометри-

ческого корня, обеспечивающий при его максимуме положительность коэффициентов полиномов $M(p)$ и $N(p)$. В его основе лежит двойной циклический расчет зависимостей (8)–(13) с достаточно высокой точностью (шаг порядка 0,01). В качестве операторов цикла служат неизвестные величины, для которых задаются диапазоны значений. В теле цикла выполняется анализ полученных точек по следующим критериям:

$$\begin{cases} \omega_0 = \omega_{0i}, n_{0i} > 0 \wedge \\ \wedge m_{21i} > 0 \wedge m_{22i} > 0 \wedge \omega_{0i} \neq \omega_{0end} \\ \omega_0 = 0, n_{0i} > 0 \vee \\ \vee m_{21i} > 0 \vee m_{22i} > 0 \vee \omega_{0i} = \omega_{0end}, \end{cases} \quad (16)$$

где ω_{0end} – последнее значение из массива $\omega_{0i}, i \in [1:1000]$.

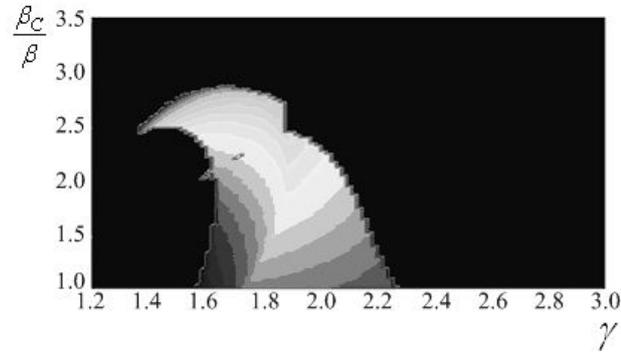
Элемент массива ω_0 , при котором возможно пересечение $m_{21} = f(\omega_0)$ и $m_{22} = f(\omega_0)$, определяется из условия его равенства минимальному значению среднеквадратичного отклонения, но при возведении подкоренного выражения в четвертую степень

$$\omega_{0i} = \min \left(\sqrt[4]{(m_{22i} - m_{21i})^4} \right). \quad (17)$$

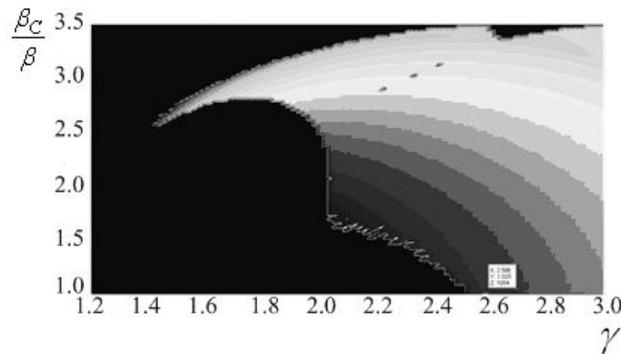
Поскольку возможно наличие двух точек пересечения графиков $m_{21} = f(\omega_0)$ и $m_{22} = f(\omega_0)$ при $n_0 = f(\omega_0) > 0$, то учитывается также следующее после минимального значения (17). Таким образом, для каждого из исследуемых параметров (в работе это $|\beta_c|/\beta$ и γ) ставится в соответствие либо ω_0 , либо 0, в зависимости от того, выполняется ли условие (16). В результате этого строится графическая зависимость в виде поверхности, где по осям x и y в качестве аргументов отложены $|\beta_c|/\beta$ и γ , а по оси z – значение ω_0 (рис. 3).

Анализ рис. 3 показывает, что для объекта регулирования с данными параметрами механической части ($\gamma = 2,597$) при распределении, например, по Баттерворту, нет таких значений $|\beta_c|/\beta$, при которых выполнялось бы условие $m_{21} = m_{22}$. Следовательно, необходим поиск другого стандартного рас-

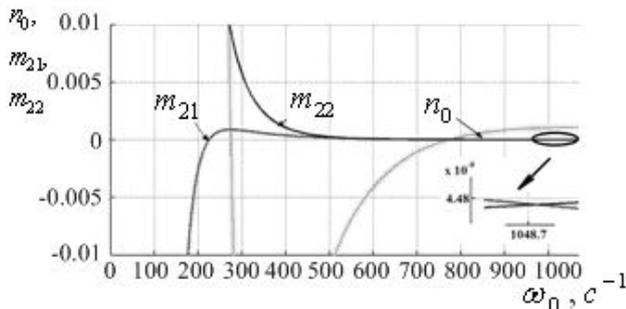
предела либо выполнение перераспределения корней текущего [1,2]. С помощью предложенного алгоритма легко определить для любого распределения диапазон параметров, при котором выполняется $m_{21} = m_{22}$.



а



б



в

Рис. 3. Поверхности поиска параметров кинематической схемы стрелочного перевода:

- а) распределение по Баттерворту;
- б) видоизмененное распределение по Баттерворту из [1];
- в) результат окончательного выбора ω_0

В дальнейшем выбрано видоизмененное нормированное распределение по Баттерворту из [1], для которого: $\alpha_6=1$; $\alpha_5=7$; $\alpha_4=20,8$; $\alpha_3=12,5$; $\alpha_2=5$; $\alpha_1=6$; $\alpha_0=1$. Из рис. 3,в следует, что максимальное быстродействие для

$\gamma = 2,597$ будет обеспечено в окрестностях $\omega_0 = 1054 \text{ с}^{-1}$.

В результате расчетов получены следующие значения переменных, входящих в состав двухканальной модели системы управления СП (рис.4): $\hat{E}_r = 0,9485$, $\hat{E}_{\tilde{A}\tilde{N}} = 0,033$, $\hat{E}_o = 1,42$, $\hat{E}_j = 30,15$, $K_{ПЧ} = 19$, $R_{sr} = 7,33 \text{ Ом}$, $T_{sr} = 0,026 \text{ с}$, $\Psi_{R0} = 0,3316 \text{ Вб}$, $L_s = 0,1934 \text{ Гн}$, $L_\mu = 0,1835 \text{ Гн}$, $\sigma = 0,1004$, $U_{3C} = U_{3П} = 10 \text{ В}$. Исходными данными для расчета взяты параметры стрелочного электропривода СП-6м: $P_H = 600 \text{ Вт}$, $n_H = 2850 \text{ об/мин}$, $\omega_H = 298,3 \text{ с}^{-1}$; $M_H = 2,37 \text{ Н·м}$, $I_{SH} = 2,8 \text{ А}$, $U_{SH} = 190 \text{ В}$, $J_1 = 0,0004 \text{ кгм}^2$, $J_2 = 0,00063 \text{ кгм}^2$, $R_s = 5,74 \text{ Ом}$, $R_r = 1,77 \text{ Ом}$, $X_s = X_r = 3,13 \text{ Ом}$, $\cos \phi = 0,84$, $T_\mu = 0,0002 \text{ с}$, $Z_p = 1$, $\beta = 0,1280 \text{ Н·мс}$, $|\beta_C| = 0,1312 \text{ Н·мс}$.

В приведенной структурной схеме (рис. 4) передаточные функции ПИ регуляторов тока и потока имеют численные значения

$$W_{PT1}(p) = W_{PT2}(p) = \frac{1,78(0,0026\delta + 1)}{0,0026\delta}$$

$$W_{PI}(p) = \frac{12,82(0,1093\delta + 1)}{0,1093\delta}$$

Передаточная функция астатического РС пониженного порядка согласно (3):

$$W_{PC}(p) = \frac{(2 \cdot T_\mu p + 1)(T_2^2 p^2 + T_1 p + 1)}{T_{II} p (T_3^2 p^2 + T_4 p + 1)}, \quad (18)$$

где постоянные времени $T_{II} = \frac{n_0 K_O}{m_0}$;

$$T_1 = \frac{m_1}{m_0}; \quad T_2^2 = \frac{m_2}{m_0}; \quad T_3^2 = \frac{n_2}{n_0}; \quad T_4 = \frac{n_1}{n_0}$$

Для сравнения ниже приведены передаточные функции рассчитанных по традиционной методике СПР ПИ-РС и фильтра:

$$W_{PC}(p) = \frac{JK_T (8T_\mu \delta + 1)}{48\Psi_{r0} T_\mu^2 Z_p K_{\tilde{A}\tilde{N}} K_r \delta}$$

$$= \frac{0,000571 \cdot (0,0016p + 1)}{2,023 \cdot 10^{-8} p};$$

$$W_{\delta}(p) = \frac{1}{8T_{\mu} \delta + 1} = \frac{1}{(0,0016p + 1)}. \quad (19)$$

Применение регуляторов (18) и (19) обеспечивает системе с неустойчивым двухмассовым объектом астатизм первого порядка при $\beta_C < 0$. В данном исследовании считается, что электропривод находится под воздействием нелинейной нагрузки вида

$$M_C = \begin{cases} M_C = \beta_C \omega_2 \\ -\beta_N \omega_2 \\ M_C = 0,5M_i \end{cases} \wedge \begin{cases} \beta_C = 0,01 \\ |\beta_C/\beta| = 1,025 \wedge \\ \beta_C/\beta = 0 \end{cases}$$

$$\wedge \begin{cases} 0 \leq \omega_2 \leq 0,95\omega_i \\ 0,95\omega_i < \omega_2 \leq 1,05\omega_i \\ 1,05\omega_i < \omega_2 \leq 2\omega_i. \end{cases} \quad (20)$$

Результаты компьютерных исследований системы с синтезированным регулятором полиномиальным методом (ПЛ) (18) в сравнении с традиционным ПИ–регулятором (19) приведены на рис. 5. Чтобы исключить наложение графиков скорости и упругой силы, процесс в системе с ПЛ–регулятором происходит с небольшой выдержкой времени. В результате расчетов получены следующие значения коэффициентов полиномов:

$$n_0 = 0,0011; n_1 = 7,98 \cdot 10^{-6} \text{ с}; n_2 = 1,052 \cdot 10^{-10};$$

$$m_0 = 1; m_1 = 0,063 \text{ с}; m_2 = 4,57 \cdot 10^{-6} \text{ с}^2. \text{ Они определяют необходимые значения}$$

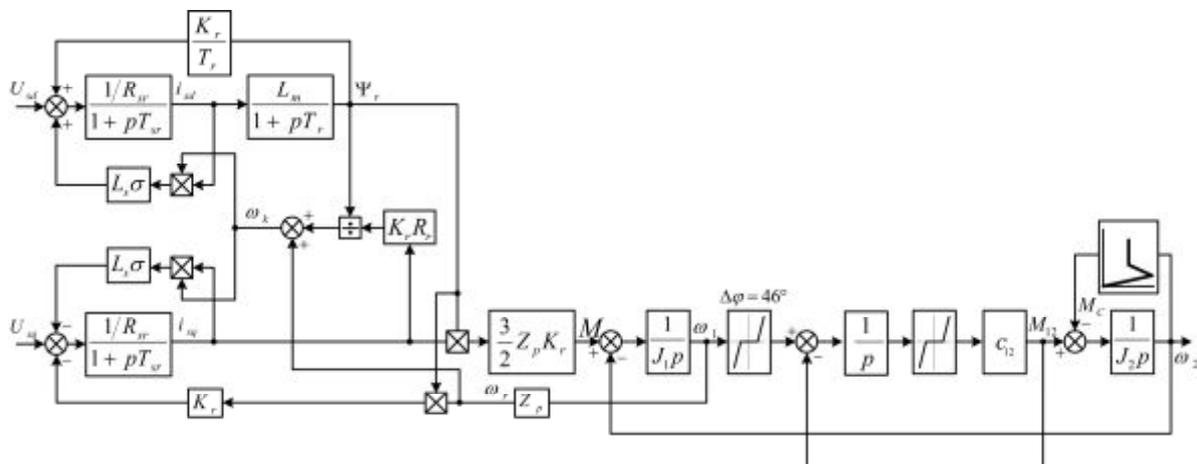
постоянных времени в передаточной функции РС (18), а также фильтра на входе: $\dot{O}_E = 2,69 \cdot 10^{-4} \text{ с}; T_1 = 0,0188 \text{ с}; T_2^2 = 4,57 \cdot 10^{-6}; T_3^2 = 9,93 \cdot 10^{-8} \text{ с}; T_4 = 7,53 \cdot 10^{-4} \text{ с};$

$$W_{PC}(p) = \frac{(0,0004 \delta + 1)}{2,69 \cdot 10^{-4} \delta} \times \frac{4,57 \cdot 10^{-6} \delta^2 + 0,0188p + 1}{9,93 \cdot 10^{-8} \delta^2 + 7,53 \cdot 10^{-4} \delta + 1};$$

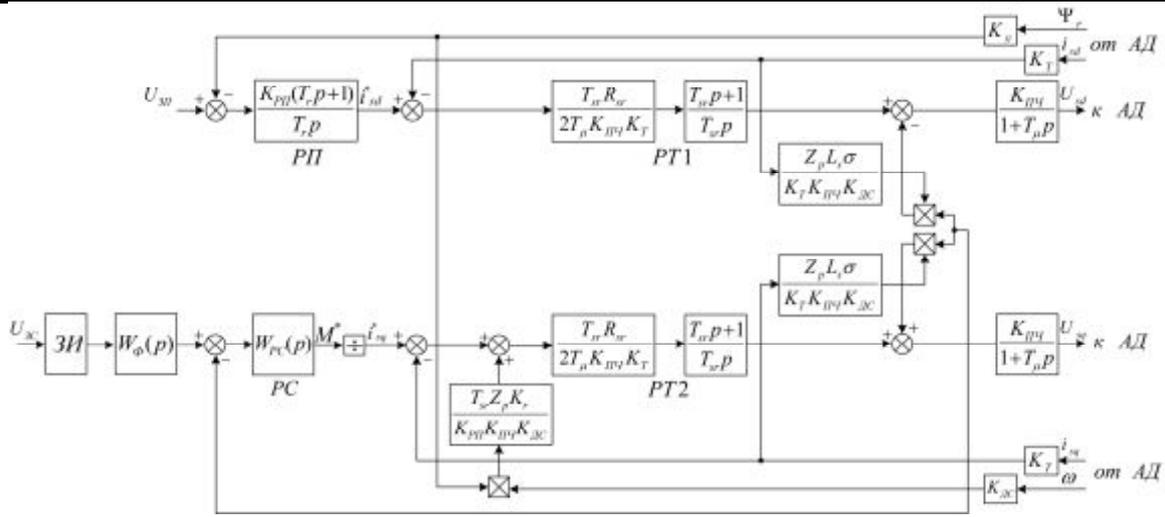
$$W_{\Phi}(p) = \frac{1}{T_2^2 p^2 + T_1 p + 1} = \frac{1}{4,57 \cdot 10^{-6} \delta^2 + 0,0188p + 1}. \quad (21)$$

На рис. 5,а,б виден автоколебательный процесс. Частота колебаний составляет 43 Гц. В начальный момент перевода стрелок заметно пиковое возрастание упругого момента. Причиной этого является конструктивная особенность переводов марки СП – наличие технологического зазора в 46^0 в четвертой ступени редуктора. Он нужен для облегчения условий пусковых режимов двигателя в существующей релейной схеме управления с прямым пуском АД.

Поскольку предлагаемая система частотного управления позволяет получить больший момент при пуске, необходимость использования такого узла отпадает.

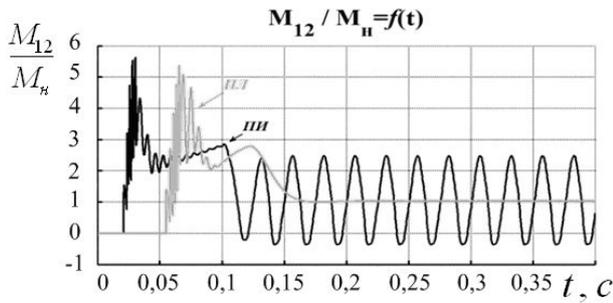


а

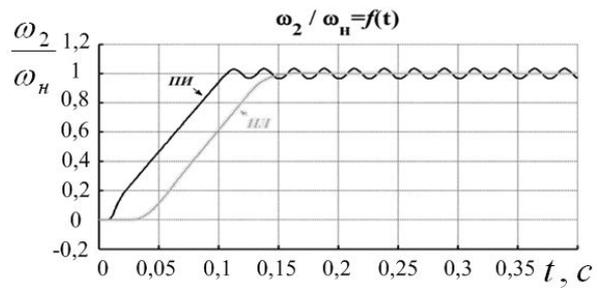


б

Рис. 4. Структурная схема АД с КЗ ротором во вращающейся системе координат, ориентированной по потоку сцепления ротора (а) и система его векторного управления (б)

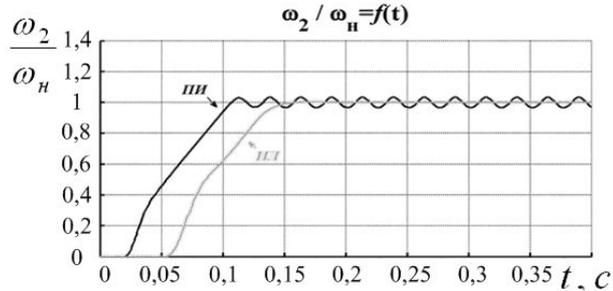


а

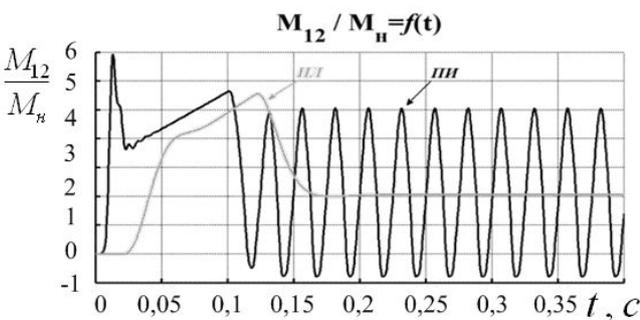


б

Рис. 5. Графики переходных процессов в системе с ПИ-регулятором (19) и ПЛ-регулятором (18) с учетом технологического зазора 46^0 (а,б) и без него (в,г)



б



в

Это существенно улучшает динамику начала процесса перевода, как видно из рис. 5, в. Из рис. 5, б и г следует, что использование регулятора (18) полностью исключает колебания скорости электропривода стрелочного перевода, что способствует плавному ходу остряков.

Выводы

1. Обосновано применение метода полиномиальных уравнений для синтеза передаточной функции регулятора скорости частотно-управляемого электропривода стрелочного железнодорожного перевода с двухмассовой механической частью, работающей при нелинейном характере реактивной нагрузки, включающем падающий участок, обусловленный влиянием вязкого трения, приводящий к исходному неустойчивому объекту управления.

2. Синтезирована передаточная функция астатического регулятора скорости, позволяющая уменьшить негативное влияние упругого момента.

3. По результатам компьютерных исследований установлено, что при синтезе РС следует отдать предпочтение видоизмененному распределению по Баттерворту из [1], позволяющему найти нужные значения постоянных времени регулятора.

4. Применение синтезированного регулятора совместно с фильтром на входе системы позволяет исключить режим фрикционных автоколебаний, обуславливающий причину ускоренного роста зазоров в местах соединений стрелочных тяг и ускоренному износу перевода.

5. Обоснована необходимость исключения из кинематики стрелочного перевода технологического зазора в 46^0 , использующегося для облегчения пуска двигателя, но вызывающего в механизме удары при переводе стрелок.

Список использованной литературы:

1. Акимов Л.В. Динамика двухмассовых систем с нетрадиционными регуляторами скорости и наблюдателями состояния: Монография / Л.В.Акимов, В.И.Колотило, В.С.Марков. – Харьков: ХГПУ, 2000. – 93 с.

2. Акимов Л.В. Синтез упрощенных структур двухмассовых электроприводов с нелинейной нагрузкой / Л.В. Акимов, В.Т. Долбня, В.Б. Клепиков, А.В. Пирожок // Под общей редакцией В.Б. Клепикова. – Харьков: НТУ «ХПИ» – Запорожье: ЗНТУ, 2002. –160 с.

3. Информационный бюллетень латвийской железной дороги. Режим доступа: ita.times.lv/Automatika/Otzimi1.html

4. Клепиков В.Б. О фрикционных колебаниях в электроприводах / В.Б. Клепиков // *Электричество*. – 1986. – № 4. –С.59–62.

5. Ключев В.И. Теория электропривода. / В.И. Ключев.–М.: Энергоатомиздат, 2001. – 704 с.

Получено 29.01.2012

References

1. Akimov L.V., Kolotilo V.L., Markov V.S. Dynamics of two–mass system with unconventional speed regulators and observes states: monograph. – Kharkov: KSPU, 2000. – 93 p. [in Russian].

2. Akimov L.V., Dolbnya V.T., Klepikov V.B., Patty A.V. Syntesis of simplified structures of the two–mass actuators with nonlinear load / Edited by V.B. Klepikov. – Kharkov: NTU «KPI». – Kiev: ZNTU: 2002, – 160 p. [in Russian].

3. Newsletter of the Latvian Railway. Mode of access: ita.times.lv/Automatika/Otzimi1.html

4. Klepikov V.B. About frictional vibration in electrical drives / *Electricity*. – 1986. № 4. P59–62 [in Russian].

5. Kluchev V.I. Theory of electrical drive. – Moscow: Energoatomizdat, 2001. – 704 p. [in Russian].



Акимов
Леонид
Владимирович, д.т.н., проф.
каф. «Автоматизированные
эл. механ. системы» НТУ
«ХПИ»,
т. (057) 70-76-445



Буряковский
Сергей Геннадиевич,
канд. техн. наук, доц. каф.
«СЭТ» УкрГАЖТ,
г. Харьков,
т.: (050) 3012069



Смирнов
Василий Васильевич,
ст. инженер ЗАО «Элак»,
г. Харьков,
т.: (063)8642443



Маслий
Артем Сергеевич,
инженер каф. СЕТ,
УкрГАЖТ,
г. Харьков,
т.: (097) 4137970