

УДК 62.83

КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К УЛУЧШЕНИЮ ДИНАМИКИ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ ПОСТОЯННОГО И ПЕРЕМЕННОГО ТОКА МЕТОДАМИ ПОЛИНОМИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ И ДИАГРАММ КАЧЕСТВА УПРАВЛЕНИЯ

Д. Г. Литвиненко, Л. В. Акимов

Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»
ул. Фрунзе, 21, г. Харьков, 61002, Украина. E-mail: dilitne@mail.ru

Рассмотрен синтез регулятора скорости с астатизмом второго порядка для системы двухмассового векторно-управляемого асинхронного электропривода с нелинейной и постоянной нагрузкой. Выполнена оптимизация исследуемых систем методом диаграмм качества управления по критерию максимальной добротности и запаса устойчивости. Реализован комплексный подход к улучшению динамических характеристик электроприводов постоянного и переменного тока, основанный на поэтапном применении методов полиномиальных уравнений и диаграмм качества управления.

Ключевые слова: синтез, оптимизация, астатический регулятор.

КОМПЛЕКСНИЙ ПІДХІД ДО ПОКРАЩЕННЯ ДИНАМІКИ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ ПОСТІЙНОГО ТА ЗМІННОГО СТРУМУ МЕТОДАМИ ПОЛІНОМІАЛЬНИХ РІВНЯНЬ ТА ДІАГРАМ ЯКОСТІ КЕРУВАННЯ

Д. Г. Литвиненко, Л. В. Акімов

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»
вул. Фрунзе, 21, м. Харків, 61002, Україна. E-mail: dilitne@mail.ru

Розглянуто синтез регулятора швидкості з астатизмом другого порядку для системи двомасового векторно-керуваного асинхронного електроприводу з нелінійним та постійним навантаженням. Виконано оптимізацію досліджуваних систем методом діаграм якості керування за критерієм максимальної добротності та запасу стійкості. Реалізовано комплексний підхід до покращення динамічних характеристик електроприводів постійного й змінного струму, що базується на поетапному застосуванні методів поліноміальних рівнянь і діаграм якості керування.

Ключові слова: синтез, оптимізація, астатичний регулятор.

ВВЕДЕНИЕ. Известно, что сбалансированное улучшение динамических характеристик многократно интегрирующих систем (МИС) управления достигается оптимизацией параметров их астатических регуляторов по критерию максимальной добротности и запаса устойчивости (МДУ) с использованием метода диаграмм качества управления (ДКУ) [1].

Следует отметить, что в основном для синтеза МИС используются методы последовательной коррекции с типовой настройкой контуров. Однако для электропривода (ЭП) со сложной механической частью, при постоянной $M_c = \text{const}$ и нелинейной $M_c = f(\omega)$ нагрузках, синтезированная классическим методом система подчиненного регулирования (СПР) оказывается малоэффективной и при некоторых значениях параметров даже неработоспособной.

В работах [2, 3] показано, что для синтеза систем управления сложными электромеханическими объектами наиболее целесообразным является использование метода полиномиальных уравнений. Он позволяет при сохранении неизменной структуры СПР обеспечить желаемые динамические характеристики МИС даже в случае исходной неустойчивости объекта регулирования.

Учитывая указанные выше наработки, для улучшения динамических характеристик частотно-регулируемого ЭП со сложной механической частью в [4–7] был предложен и реализован комплексный подход, основанный на поэтапном применении методов полиномиальных уравнений и диаграмм качества управления.

Целью работы является улучшение динамических характеристик частотно-регулируемого двухмассового асинхронного ЭП с нелинейной и постоянной нагрузкой путем реализации предлагаемого комплексного подхода.

Для достижения поставленной цели решаются следующие задачи, распространяемые и на ЭП постоянного тока: синтез регулятора скорости (РС) с астатизмом $v=2$ для системы векторно-управляемого асинхронного ЭП для случаев нелинейной и постоянной нагрузки; оптимизация исследуемых систем методом ДКУ по критерию максимальной добротности и запаса устойчивости.

МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ. При условии постоянства потокосцепления ротора ψ_{r0} и компенсации взаимовлияния каналов асинхронного двигателя (АД) в основу исследований взята с традиционными обозначениями одноканальная структура (рис. 1).

В работе [7] для двухмассового ЭП с постоянной нагрузкой были предложены три методики синтеза РС с астатизмом второго порядка. Первая основывается на непосредственном синтезе полиномиальным методом РС с астатизмом первого порядка и использовании явления параметрического астатизма для получения РС с $v=2$. Вторая методика предполагает использование РС с $v=1$ и повышение его порядка астатизма методами СПР. Третья методика основана на непосредственном синтезе полиномиальным методом РС с $v=2$. После введения варьируемых параметров k и b или b_1 и b_2 передаточные функции РС, синтезированных по трем указанным выше методикам, представляются как:

$$W_{RS1.1}(p) = \frac{k \times K_{RS1.1} (2T_{\mu} p + 1)}{(T_3 p + 1)} \times \frac{(b^2 \times T_2^2 p^2 + b \times T_1 p + 1)}{p^2}, \quad (1)$$

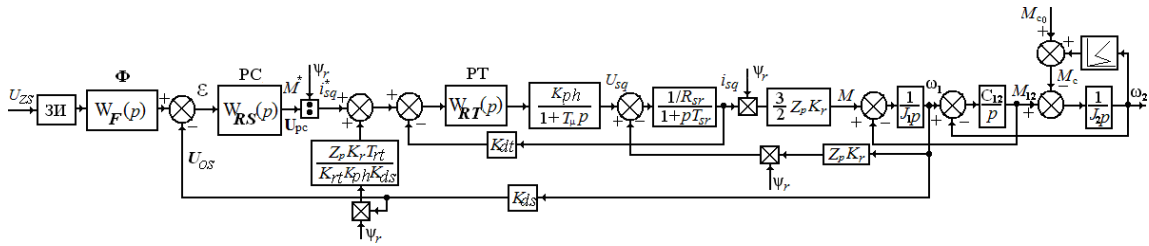


Рисунок 1 – Одноканальная структура асинхронного ЭП при $\psi_r = \text{const}$

$$W_{RS1.2}(p) = \frac{K_{RS1.2}(2T_{\mu}p + 1)}{(T_4^{*2}p^2 + T_3^*p + 1)} \times \frac{(b_1^2 T_2^{*2} p^2 + b_1 T_1^* p + 1)(b_2 7,72 T_0 p + 1)}{7,72 \times T_0 p} \quad (2)$$

$$W_{RS.2}(p) = \frac{K_{RS.2}(2T_{\mu}p + 1)}{(T_5^{\wedge 2} p^2 + T_4^{\wedge} p + 1)} \times \frac{(b_1^2 T_2^{\wedge 2} p^2 + b_1 T_1^{\wedge} p + 1)(b_2 T_3^{\wedge} p + 1)}{p} \quad (3)$$

Для системы с РС (3) на рис. 2 приведена ДКУ в плоскости параметров b_1 и b_2 – а) и ее фрагмент – б); амплитудные частотные характеристики замкнутой системы по скорости ω_2 – в) и переходные характеристики по управлению – г).

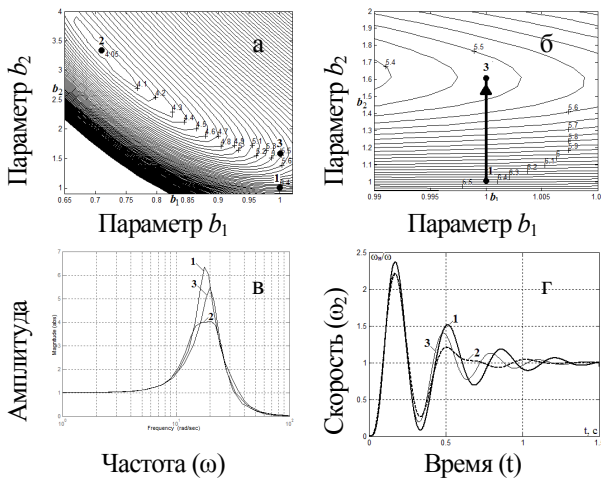


Рисунок 2 – Результаты оптимизации параметров РС (3)

На ДКУ (рис. 2,а) точка 1 соответствует исходной настройке РС (3) при $b_1=1$ и $b_2=1$ с показателем колебательности $M=6,4$. Оптимизация параметров РС $b_1=\text{const}$ и $b_2=\text{var}$ ($b_1=1, b_2=1,6$) приводит систему в точку 3, где M понижается до 5,47, что на 17 % меньше его исходного значения. При одновременной настройке b_1 и b_2 ($b_1=0,71, b_2=3,35$) (точка 2) достигнуто уменьшение показателя колебательности M на 58 % с 6,4 до 4,05. АЧХ и переходные характеристики по скорости ω_2 для трех рассматриваемых точек подтверждают улучшение динамических характеристик трехкратноинтегрирующей системы в точках 2 и 3 по сравнению с исходной 1.

Методики синтеза [7] использованы для рассматриваемой здесь системы ЭП (рис. 1) с нелинейной нагрузкой. В результате исследований получены три передаточные функции РС:

$$W_{RS1.1}(p) = \frac{k \times \tilde{K}_{RS1.1}(2T_{\mu}p + 1)}{(\tilde{T}_3 p + 1)} \cdot \frac{(b^2 \times \tilde{T}_2^2 p^2 + b \times \tilde{T}_1 p + 1)}{p^2}; \quad (4)$$

$$W_{RS1.2}(p) = \frac{\tilde{K}_{RS1.2}(2T_{\mu}p + 1)}{(\tilde{T}_4^{*2} p^2 + \tilde{T}_3^* p + 1)} \times \frac{(b_1^2 \tilde{T}_2^{*2} p^2 + b_1 \tilde{T}_1^* p + 1)(b_2 10 \times \tilde{T}_0 p + 1)}{10 \times \tilde{T}_0 p} \quad (5)$$

$$W_{RS.2}(p) = \frac{\tilde{K}_{RS.2}(2T_{\mu}p + 1)}{(\tilde{T}_5^{\wedge 2} p^2 + \tilde{T}_4^{\wedge} p + 1)} \times \frac{(b_1^2 \tilde{T}_2^{\wedge 2} p^2 + b_1 \tilde{T}_1^{\wedge} p + 1)(b_2 \tilde{T}_3^{\wedge} p + 1)}{p} \quad (6)$$

Для системы (рис. 1) с нелинейной нагрузкой и с РС (6) на рис. 3 приведена диаграмма качества управления в плоскости параметров b_1 и b_2 – а) и ее фрагмент – б); амплитудные частотные характеристики замкнутой системы по скорости ω_2 – в) и переходные характеристики по управлению – г).

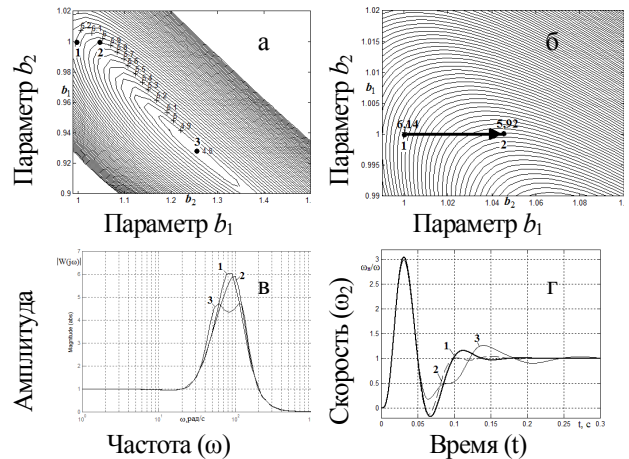


Рисунок 3 – Результаты оптимизации параметров РС (6)

На ДКУ (рис. 3,а) точка 1 соответствует исходной настройке РС (6) при $b_1=1$ и $b_2=1$ с $M=6,14$. Оптимизация параметров РС $b_1=\text{const}$ и $b_2=\text{var}$ ($b_1=1, b_2=1,05$) приводит систему в точку 2, где показатель колебательности M понижается до 5,92, что на 3,7 % меньше его исходного значения. При одновременной настройке b_1 и b_2 ($b_1=0,925, b_2=1,27$) (точка 3) достигнуто уменьшение показателя колебательности M на 28 % с 6,14 до 4,8. АЧХ и переходные характеристики по скорости ω_2 для трех рассматриваемых точек подтверждают улучшение динамических характеристик двукратноинтегрирующей системы в точках 2 и 3 по сравнению с исходной 1.

Аналогичная оптимизация параметров выполнена в случае использования РС (1), (2) для ЭП с постоянной нагрузкой и РС (4), (5) с нелинейной нагрузкой.

ВЫВОДЫ. 1. На примере двухмассового частотно-управляемого асинхронного электропривода с постоянной и нелинейной нагрузкой реализован комплексный подход по улучшению динамических характеристик, основанный на поэтапном применении методов поли-

номиальных уравнений и диаграмм качества управления. Подтверждена эффективность разработанных методик синтеза и оптимизации систем с астатическими регуляторами скорости различной степени сложности. 2. Синтезированные регуляторы для двухмассового ЭП при $M_c = \text{const}$ оказываются неработоспособными на падающем участке характеристики нагрузки. Вместе с тем РС, синтезируемые для работы ЭП на падающем участке характеристики нагрузки, успешно работают при нагрузках $M_c = \text{const}$. 3. Указанные выводы носят общий характер и распространяются на электроприводы постоянного тока с аналогичной структурой системы управления.

ЛИТЕРАТУРА

1. Клепиков В.Б., Кузнецов Б.И., Гуль А.И., Богаенко И.И. Многократноинтегрирующие системы управления. – К.: НВК «КІА», 1998. – 244 с.
2. Акимов Л.В., Колотило В.И., Марков В.С. Динамика двухмассовых систем с нетрадиционными регуляторами скорости и наблюдателями состояния: монография. – Харьков: ХГПУ, 2000. – 93 с.
3. Акимов Л.В., Долбня В.Т., Клепиков В.Б., Пирожок А.В. Синтез упрощенных структур двухмассовых электроприводов с нелинейной нагрузкой // Под общей редакцией В.Б. Клепикова. – Харьков: НТУ «ХПИ»; Запорожье: ЗНТУ, 2002. – 160 с.

COMPLEX APPROACH TO IMPROVE DYNAMICS OF ALTERNATING AND DIRECT CURRENT ELECTRIC DRIVES BY METHODS POLYNOMIAL EQUATIONS AND DIAGRAMS QUALITY CONTROL

D. Litvinenko, L. Akimov

National Technical University "Kharkov Polytechnic Institute"
ul. Frunze, 21, Kharkov, 61002, Ukraine. E-mail: dilitne@mail.ru

Synthesis of second order astatic speed controller for the system of two-mass vector-controlled asynchronous electric drive with non-linear and constant load are considered. Optimization of researched systems by the method of quality control diagrams by criterion a maximum of good quality and stability margin are made. Complex approach to improve dynamic characteristics of alternating and direct current electric drive, based on the gradual application of the methods of polynomial equations and quality control diagrams are realized.

Key words: synthesis, optimization, astatic regulator.

REFERENCES

1. Klepikov V.B., Kuznecov B.I., Gull A.I., Bogachenko I.I. *Multiple integrating control systems*. – K.: NEC "KIA", 1998. – 244 p. [in Russian]
2. Akimov L.V., Kolotilo V.I., Markov V.S. *Dynamics of two-mass systems with non-traditional speed controls and state observers*: monograph. – Kharkov: KSPU, 2000. – 93 p. [in Russian]
3. Akimov L.V., Dolbnya V.T., Klepikov V.B., Pirojok A.V. *Synthesis of simplified structure of two-mass electric drives with a nonlinear load* // Edited by V.B. Klepikov. – Kharkov: NTU "KhPI"; Zaporozhye: ZNTU, 2002. – 160 p. [in Russian]
4. Akimov L.V., Litvinenko D.G. Synthesis of astatic speed controller for one-mass system of vector control asynchronous electric drive with a nonlinear load // *Scientific work "Donetsk National Technical University", series "Electrical and Power Engineering"*. – Donetsk: SHEE "DonNTU." – 2011. – Iss. 11 (186). – PP. 16–23. [in Russian]
5. Akimov L.V., Litvinenko D.G. Improving the dynamics of triply integration asynchronous electric drive with vector control by the quality control diagrams method. // *Sci-Tech. magazine «Electrical and computer systems»*. – K.: Tecknika, 2011. – № 02 (78). – PP. 13–19. [in Russian]

4. Акимов Л.В., Литвиненко Д.Г. Синтез астатического регулятора скорости для системы векторного управления одномассовым асинхронным электроприводом с нелинейной нагрузкой // *Наукові праці Донецького національного технічного університету, серія «Електротехніка і енергетика»*. – Донецьк: ДВНЗ «ДонНТУ», 2011. – Вип. 11 (186). – С. 16–23.

5. Акимов Л.В., Литвиненко Д.Г. Улучшение динамики трехкратноинтегрирующего асинхронного электропривода с векторным управлением методом диаграмм качества управления // *Научно-технический журнал «Электротехнические и компьютерные системы»*. – К.: Техника, 2011. – № 2 (78). – С. 13–19.

6. Акимов Л.В., Литвиненко Д.Г., Вакуленко А.А. Синтез двукратноинтегрирующей системы векторного управления одномассовым асинхронным электроприводом с нелинейной нагрузкой // *Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут"*. Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Проблеми удосконалення електричних машин і апаратів. Теорія і практика. – Харків: НТУ "ХПИ", 2011. – № 12. – С. 96–111.

7. Акимов Л.В., Литвиненко Д.Г. Динамика трехкратноинтегрирующей системы векторного управления двухмассового асинхронного электропривода с постоянной нагрузкой // *Научно-технический журнал «Электротехнические и компьютерные системы»*. – К.: Техника, 2012. – № 05 (81). – С. 7–15.

6. Akimov L.V., Litvinenko D.G. Vakulenko A.A. Synthesis of doubly integrating one-mass system of vector control asynchronous electric drive with a nonlinear load // *Bulletin of the National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute". Collection of scientific works. Thematic iss.: Problems of improving the electrical machinery and apparatus. Theory and Practice*. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2011. – № 12. – PP. 96–111. [in Russian]

7. Akimov L.V., Litvinenko D.G. Dynamics of triply integrating vector control system of two-mass asynchronous electric drive with constant load // *Scientific and technical magazine «Electrical and computer system»*. – K.: Tecknika, 2012. – № 05 (81). – PP. 7–15. [in Russian]

Стаття надійшла 1.06.2012.
Рекомендовано до друку
к.т.н., доц. Сергіємком С.А.