

УДК 681.511.4

СИНТЕЗ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ ПОЛОЖЕНИЯ ЭЛЕКТРОДА-ИНСТРУМЕНТА ПРОЦЕССА РАЗМЕРНОЙ ОБРАБОТКИ ДУГОЙ С ПОМОЩЬЮ МОДАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ

Ю. А. Ермолаев, Г. В. Савеленко

Кировоградский национальный технический университет

просп. Университетский, 8, г. Кировоград, 25006, Украина. E-mail: savelenko@mail.ru

Исследование посвящено автоматизации станков электроэрозионной группы для размерной обработки дугой. Целью авторов является разработка математической модели электропривода электрода-инструмента по положению в виде многоконтурной структурной схемы и определение параметров регуляторов. Характерная особенность электроэрозионного процесса размерной обработки дугой состоит в том, что дуга между электродом и деталью горит в струе жидкости, которая подается под давлением в межэлектродный промежуток. Приведены функциональная схема системы автоматического управления подачи электрода-инструмента, а также структурная схема, построенная по принципу подчиненного регулирования параметров. При синтезе разработанной системы автоматического управления положением электрода применена операторная методика синтеза модальным методом. При этом релейный контур тока якоря представлен безынерционным звеном, регулятор скорости выбран пропорционально-интегральным. При втором варианте синтеза регулятор положения принят пропорционально-интегральным. Для разработанной математической модели привода подачи электрода-инструмента в виде структурной схемы произведен расчет числовых параметров регуляторов позиционного электропривода на станках размерной обработки дугой. Произведенные расчеты показали, что синтез системы электропривода электрода-инструмента процесса размерной обработки дугой модальным методом с использованием операторной методики можно осуществлять с использованием стандартного набора обратных связей по току, скорости и положению.

Ключевые слова: синтез системы, числовые параметры регулятора, позиционный электропривод.

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ. Характерная особенность электроэрозионного процесса размерной обработки дугой (РОД) состоит в том, что дуга между электродом и деталью горит в струе жидкости, которая подается под давлением в межэлектродный промежуток, что дает значительный прирост съема металла по сравнению с аналогичными электроискровыми и электроимпульсными способами обработки [1]. Действующие станки РОД оснащаются гидравлическими приводами подачи электрода-инструмента (ЭИ). Авторами разработана электро-механическая система подачи ЭИ на базе комплектного привода постоянного тока типа ЭШИМ-1, которая реализует принцип подчиненного регулирования параметров и включает в себя регуляторы тока, скорости и положения [2].

В связи с этим возникает проблема синтеза разработанной САУ подачи ЭИ. При синтезе контура положения будем исходить из требований к статическим и динамическим показателям микроэлектропривода (МЭП), основными из них будем считать:

- близкое к оптимальному быстродействие, при котором обеспечивается движение электрода-инструмента из одного положения в другое;
- обеспечение заданной точности положения.

К современным методам синтеза относятся методы, основанные на использовании модальных (корневых) характеристик систем. Эти методы рассматриваются в работах Вострикова А.С., Французовой Г.А. [3, 4], Симакова Г.М. [5]. Если электропривод работает в режиме малых перемещений, то регулятор положения выполняется чаще всего пропорциональным [4].

Целью данного исследования является разработка математической модели электропривода электрод-

да-инструмента по положению в виде многоконтурной структурной схемы и определение параметров регуляторов с помощью метода модального управления.

МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ. Структурная схема МЭП в режиме «малых» перемещений приведена на рис. 1. Для компенсации нулей в передаточной функции на входе контура скорости поставлен фильтр вида $\frac{I}{T_c s + I}$. Релейный

контур тока якоря представлен безынерционным звеном с коэффициентом усиления k_{rt} . Допустимость такого решения следует из анализа контура тока якоря, что было доказано в работе [4].

Регулятор скорости выбран пропорционально-интегральным, а регулятор положения – пропорциональным с коэффициентом передачи k_{rp} . Структурная схема МЭП при данных отличительных особенностях линейна, а «s» является оператором преобразования Лапласа. Структурная схема приведена в абсолютных значениях величин. Цель заключается в выборе параметров регулятора скорости (k_{rc} , T_c) и регулятора положения (k_{rp}).

Передаточная функция замкнутого контура регулирования скорости имеет вид:

$$W_{rc}(s) = \frac{k_{rc}(T_c s + I)k_{rt} \frac{R_y}{c}}{T_c T_m s^2 + k_{rc}(T_c s + I)k_{rt} \frac{R_y}{c} k_{\omega}} \quad (1)$$

С учетом на входе контура скорости фильтра и введения обозначения $k_c = k_{rc} k_{rt} \frac{R_y}{c} \frac{r_b}{i_p}$ запишем передаточную функцию контура положения:

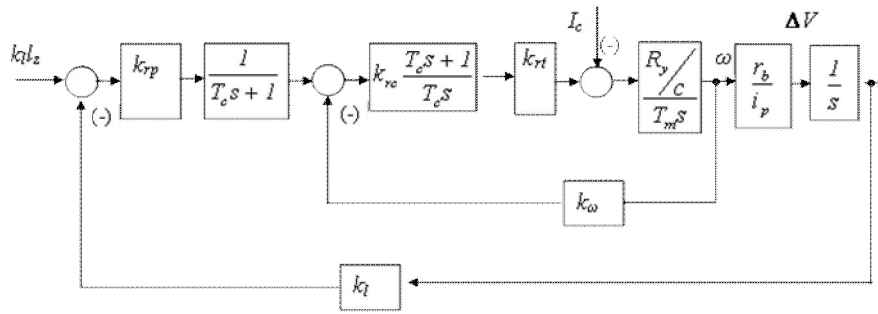


Рисунок 1 – Структурная схема МЭП в режиме «малых» перемещений с П-регулятором положения: k_{rp}, k_{rc}, k_{rt} – коэффициенты усиления регуляторов положения, скорости и тока; k_ω, k_l – коэффициенты обратных связей по скорости и положению; c – коэффициент связи между моментом и током двигателя; R_y – сопротивление якорной цепи; i_p – передаточное число редуктора; r_b – радиус вала входного механизма; ΔV – линейная скорость движения электрода; l – перемещение электрода-инструмента; T_c – постоянная времени регулятора; T_m – постоянная электромеханическая постоянная времени привода

$$W_{kp}(s) = \frac{k_{rp} k_c}{T_c T_m s^3 + k_\omega k_c T_c s^2 + k_\omega k_c s + k_{rp} k_c k_l}, \quad (2)$$

где $k_l = k_d \frac{r_b}{i_p}$ – коэффициент пропорциональности по перемещению; k_d – коэффициент передачи датчика положения.

Путем преобразований получим соотношения для определения параметров регуляторов (k_{rp}, k_{rc}, T_c) с П-регулятором тока. Для позиционного МЭП наиболее предпочтительным является биномиальное распределение корней характеристического уравнения. Для системы третьего порядка $A_2 = A_1 = 3$.

$$k_{rp} = \frac{k_\omega}{A_1 T_1 k_l}; \quad (3)$$

$$T_c = \frac{A_2 T_1^2 k_{rp} k_l}{k_\omega}; \quad (4)$$

$$k_{rc} = \frac{T_c T_m}{T_1^3 k_{rp} k_{rt} \frac{R_y}{c} k_l}. \quad (5)$$

Из выражений (3–5) могут быть найдены параметры регуляторов. Получены следующие результаты расчета параметров регуляторов для привода ЭШИМ-1 с двигателем ДП-60-90-4-24-Р11-Д0940-УХЛ4: $k_{rp} = 205$; $T_c = 0,0133$ с; $k_{rc} = 0,189$.

В случае применения пропорционально-интегрального регулятора положения параметры получаются следующие: $T_p = 0,0399$ с; $k_{rp} = 615$; $k_{rc} = 1,46$.

При проведении работ по прожигу полостей и отверстий с использованием графитового электрода проводились замеры: напряжений и токов дуги и двигателя, обороты двигателя и давление в электроэрозионной камере. При этом использовался измерительный комплекс [6]. На рис. 2 приведены два фрагмента осциллограмм обработки возмущений при различных настройках регуляторов. Переходной процесс на рис. 2,б имеет меньшее перерегулирова-

ние (на 12 %) и число колебаний.

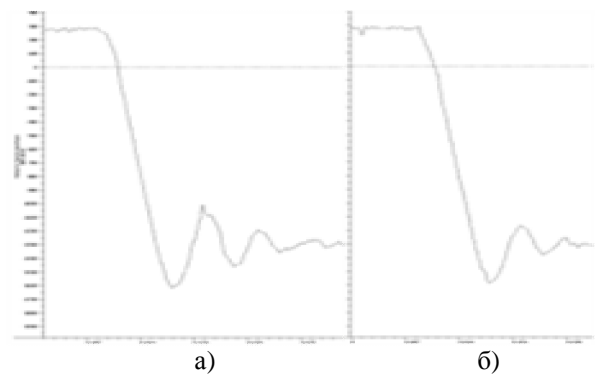


Рисунок 2 – Осциллограммы переходного процесса при различных настройках регуляторов: а) при стандартных настройках; б) с помощью модального управления

ВЫВОДЫ. Выведены соотношения для нахождения параметров регуляторов при применении П- и ПИ-регуляторов положения с приведением структурных схем позиционного МЭП.

Переходной процесс при использовании модального управления имеет лучшие показатели качества.

ЛИТЕРАТУРА

1. Носуленко В.І. Розмірна обробка металів електричною дугою: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня д-ра техн. наук: спец. 05.03.07. – К., 1999. – 36 с.
2. Єрмолаєв Ю.О., Савеленко Г.В. Синтез регуляторів позиційного електропривода подачі електрода-інструмента на верстатах РОД з використанням стандартних налаштувань // Збірник наукових праць КНТУ. – Кіровоград: КНТУ, 2013. – Вип. 26. – С. 280–284.
3. Востриков А.С. Операторная методика синтеза одноканальных систем модальным методом // Автоматическое управление объектами с переменными характеристиками: Межвуз. сб. науч. тр.

– Новосибирск: изд-во Новосиб. электротехн. ин-та, 1991. – С. 5–10.

4. Востриков А.С., Французова Г.А., Гаврилов Е.Б. Основы теории непрерывных и дискретных систем регулирования. – Новосибирск: НГТУ, 2008. – 476 с.

5. Симаков Г.М. Развитие теории и основы построения быстродействующего позиционного микроэлектродпривода постоянного тока с разрывным

управлением: дис. докт. техн. наук. – Новосибирск, 2004. – 344 с.

6. Єрмолаєв Ю.О., Савеленко Г.В. Звіт про НДР № держреєстрації 0111U007657. Розробка інформаційно-вимірювального комплексу для реєстрації стохастичних параметрів роботи електроерозійного верстата для розмірної обробки дугою. – Кіровоград: КНТУ, 2012. – 25 с.

SYNTHESIS SYSTEM OF REGULATION POSITION ELECTRODE TOOL DIMENSIONAL PROCESSING OF ARC OF BY MEANS MODAL MANAGEMENT

Yu. Yermolayev, G. Savelenko

Kirovograd National Technical University

prosp. Universitetskiy, 8, Kirovograd, 25006, Ukraine. E-mail: savelenko@mail.ru

The publication is devoted to the automation of machines EDM groups for dimensional processing of arc. Her aim is development of mathematical model electric drive electrode tool on the position in the form of multiplanimetric structural schemes and determination of parameters of regulators. Electric arc between an electrode tool and workpiece in the stream of liquid which is given under constraint in an interelectrode interval is the characteristic feature of dimensional processing of arc. Resulted functional diagram of the system of automatic control of serve of electrode-instrument, and also structure diagram built on principle of the subordinate regulation parameters. At the synthesis of the worked out system of automatic control position of electrode is used methodology synthesis of modal method. Contour armature current presented inertialess element, the speed controller proportional-integral selected. At the second variant of synthesis the regulator of position is accepted by proportionally-integral. The produced calculations showed that synthesis of the system of electric drive of electrode-instrument of dimensional processing of arc with the use methodology of modal method is possible to carry out with the use of standard set of feed-backs on a current, speed and position.

Key words: synthesis system, the numerical regulator parameters, the positional of drive.

REFERENCES

1. Nosulenko, V.I. (1999), "Dimensional metal processing electric arc", Abstract of Doct. Sci. (Tech.) dissertation, 05.03.07, NTUU "KPI", Kiev, Ukraine. (in Ukrainian)

2. Yermolayev, Yu.O. and Savelenko, G.V. (2013), "Synthesis of positional controls the electric feeder electrode-tool processing rod with standard settings", *Zbirnyk naukovykh prats KNTU*, Vol. 26, pp. 280–284. (in Ukrainian)

3. Vostrikov, A.S. (1991), "Operator technique of synthesis of single-modal systems method", *Mezhvuzovskiy sbornik nauchnykh trudov*, pp. 5–10. (in Russian)

4. Vostrikov, A.S., Frantsuzova, G.A. and Gavrilov, Ye.B. (2008), *Osnovy teorii nepreryvnykh i diskretnykh sistem regulirovaniya* [Fundamentals of the

theory of continuous and discrete control systems], NGTU, Novosibirsk, Russia. (in Russian)

5. Simakov, G.M. (2004), "Development of theory and the basics of building a high-speed micro-positioner dc drive with discontinuous control", Dissertation of Doct. Sci. (Tech.), NGTU, Novosibirsk, Russia. (in Russian)

6. Yermolayev, Yu.O. and Savelenko, G.V. (2012), *Zvit pro NDR № 0111U007657. Rozrobka informatsiyno-vymiryvalnoho kompleksu dlya reyestratsiyi stokhastychnykh parametriv roboty elektroeroziynoho verstata dlya rozmirnoyi obrobky duhoyu* [Development of information-measuring system for the registration of stochastic parameters of the electrical machine for processing arc dimension]. KNTU, Kirovograd. Ukraine. (in Ukrainian)