

МОДЕРНИЗАЦИЯ И ИЗСЛЕДВАНЕ НА СИСТЕМАТА ЗА ЗАДВИЖВАНЕ НА ОБРАБОТВАЩ ЦЕНТЪР С ЦИФРОВО-ПРОГРАМНО УПРАВЛЕНИЕ

Марин Жилевски, Михо Михов

Резюме: В статията е представен обобщен алгоритъм за избор на системата за електрозадвижване на един клас обработващи центри с цифрово-програмно управление. В табличен вид са показани последователните стъпки за изчисляване на подавателни и главни задвижвания при разстъргващи операции. Системата за електрозадвижване на разглеждания клас машини е изследвана посредством компютърно симулиране и на базата на практически внедрявания с разработени ладер диаграми. Получените резултати може да се използват при модернизацията на такъв тип металорежещи машини.

Ключови думи: електрозадвижване, обработващ център, система за ЦПУ

MODERNIZATION AND STUDY OF THE DRIVE SYSTEM OF A MACHINING CENTER WITH COMPUTER NUMERICAL CONTROL

Marin Zhilevski, Mikho Mikhov

Abstract: A generalized algorithm for selection of the electric drive system for a class of machining centers with computer numerical control is presented in this paper. The successive steps for the calculation of feed and spindle drives in scraping operations are shown in tabular form. The electric drive system for the considered class of machines has been studied through computer simulation and on the basis of practical implementations with developed ladder diagrams. Research carried out and the results obtained can be used in the modernization of such type of machine tools.

Keywords: electric drive, machining center, CNC system

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Обработващите центри са металорежещи машини с цифрово-програмно управление (ЦПУ), притежаващи устройство за автоматична смяна на инструментите. Предназначени са за извършване на обработка предимно на призматично-корпусни заготовки чрез фрезование на повърхнини с произволни контури и за обработване на отвори – пробиване, разстъргване, зенкерование, райберование, нарязване на резби [1, 2]. Тези машини са изградени от подавателни оси, шпиндел и спомагателни задвижвания, като основните изисквания към тези системи са формулирани в [3].

Все по-високите изисквания по отношение на бързодействието, гъвкавостта, диапазона на регулиране, точността и енергийната ефективност от една страна, както и бързото развитие на съвременната елементна база от друга, налагат постоянно усъвършенстване на системите за задвижване и на средствата за тяхното предварително програмиране, симулиране, оптимизиране и изследване [4, 5].

При модернизацията на разглеждания клас металорежещи машини с ЦПУ се въвеждат: две допълнителни управляеми подавателни координатни оси, реализирани с въртяща се маса, осъществяваща ъглово преместване в двете посоки (координатна ос c) и наклон на тази маса (координатна ос a); спомагателно задвижване за фиксирано ъглово позициониране на детайла; специализиран модул за обработка на шпонкови канали, който се закрепва на инструменталния магазин [3]. Следователно, задвижванията в изследвания клас машини се отнасят към: подавателните оси x , y , z , a и c ; шпиндела или главното движение; спомагателните системи, които са: инструменталният магазин, хидравличната система, устройството за фиксирано ъглово позициониране на детайлите, системата за дозаторно мазане и смазочно-охлаждащата система.

Целта на модернизацията е да се увеличат възможностите на тези машини за обработка на разнообразни видове детайли, при различни позиционирания, да бъдат постигнати изисквания като успоредност и перпендикулярност на заготовките. С направените подобрения, изследваният клас металорежещи машини дава възможност за извършване на механичните процеси: пробиване, разстъргване, фрезование, зенкерование, райберование, нарязване на резби и щосване. Това от своя страна поставя високи изисквания към системата за задвижване с необходимост за изчисляване и оптимален избор на двигатели, силови преобразуватели, датчици, механични предавки и управления, като се отчитат отделните механични операции при най-тежките режими на рязане за машината.

Методики за избор на линейни и въртящи се подавателни и главни задвижвания при фрезование и пробиване са представени в [6, 7, 8, 9].

Системата за цифрово-програмно управление е широко използвана за управление на спомагателните задвижвания [10]. Това става с помощта на разработени ладер диаграми, които се въвеждат в програмируемия логически контролер [11, 12]. Разработката на ладер диаграмите се осъществява по определен алгоритъм, представен в [13]. От друга страна, сложните програмируеми логически устройства се явяват един подходящ вариант за проектиране и реализация на тези спомагателни системи, като по този начин се осигурява възможност за независимо управление от системата за ЦПУ на вече съществуващите машини.

Моделирането и компютърното симулиране дават възможност за адаптиране и изследване на задвижванията при различни режими на обработка, начини на управление и условия на работа [14, 15].

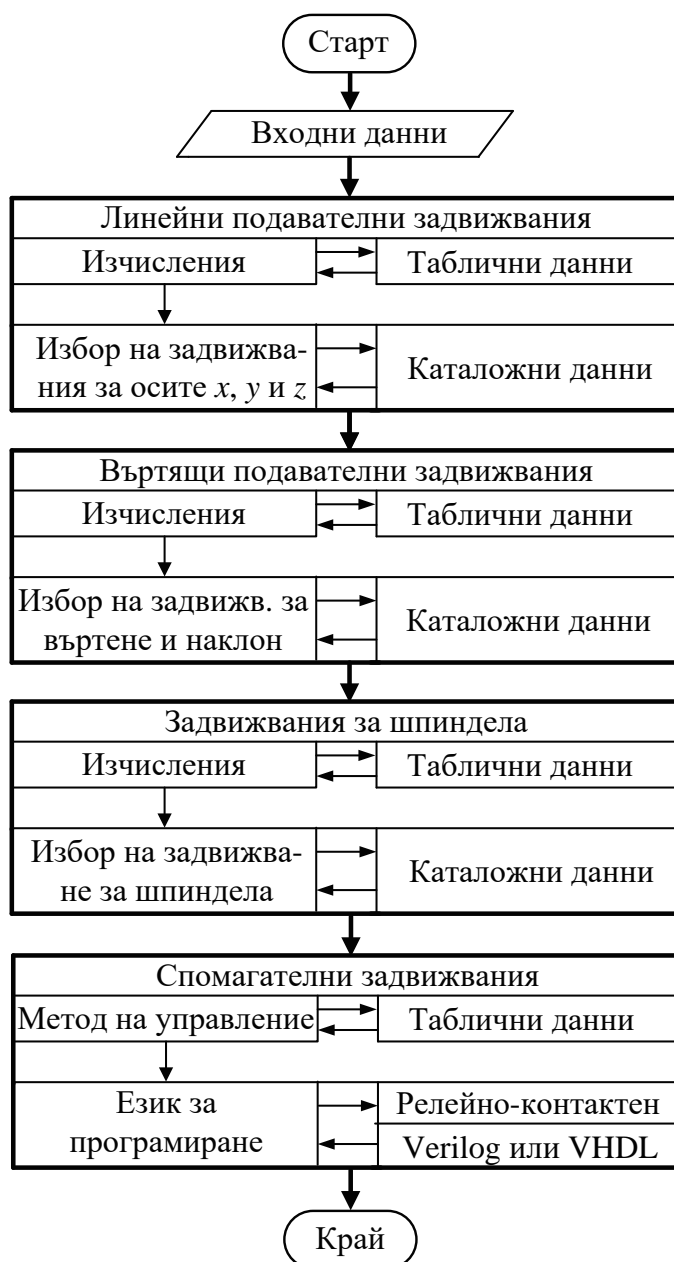
В тази статия е представен обобщен алгоритъм за избор на система за електрозадвижване на обработващ център. На тази база, в табличен вид са представени основните стъпки при изчисляването на подавателни и главни задвижвания при разстъргващи операции. Изборът на подходящи задвижвания за шпиндела и

съответните координатни оси е направен на основата на технико-икономически анализ.

Проведени са изследвания посредством компютърно симулиране и на базата на практически внедрявания с разработени съответни ладер диаграми за управлението на електрозадвижванията в разглеждания клас машини при различни режими на работа.

2. ИЗБОР НА СИСТЕМА ЗА ЕЛЕКТРОЗАДВИЖВАНЕ

На фиг. 1 е дадена обобщената блокова схема на алгоритъма за избор на система за електрозадвижване. Линеините подавателни задвижвания включват осите x , y и z , като те се използват за позициониране на детайла и инструмента на желаното място. Въртящите оси (a и c) служат за ъглово позициониране на детайла.



Фиг. 1. Блокова схема на алгоритъма за избор на система за електрозадвижване

Главното движение или шпиндела участва в процеса на механичната обработка, влияейки съществено върху качеството на обработваните детайли и производителността на цялата машина.

Като входни данни в алгоритъма се задават най-тежките режими на рязане при различните механични операции; твърдостта на обработваните материали; някои параметри, свързани с машината и обработващите инструменти. Табличните и каталожните данни се вземат съответно от фирми-производители на: инструменти; механични предавки и направляващи; двигатели; силови преобразуватели; датчици; механични предавки; управления [16, 17, 18].

Последователността от стъпки за изчисляването на линейни подавателни и главни електрозадвижвания при единия тип механични операции – разстъргващи, е представена в табл. 1. Използвани са следните означения:

$D_{mb \max}$ – максимален диаметър на инструмента, който може да се използва на машината;

$D_{cb \max}$ – максимален диаметър на разстъргващия инструмент;

D_{gb} – номинален диаметър на механичната предавка, реализирана чрез сачмено винтова двойка;

a_b – ускорение на сачмено винтовата двойка;

$m_{m \max}$ – максимална маса на задвижвания механизъм;

a_{pb} – дълбочина на рязане на инструмента;

$V_{b \max}$ – максимална скорост на движение на задвижвания механизъм;

V_{cb} – скорост на рязане;

ω_b – скорост на шпиндела;

ω_{bm} – минимална скорост, която трябва да бъде избрана за двигателя на шпиндела от каталожни данни;

K_{spg} – коефициент на механичната предавка на задвижването на шпиндела;

V_{fb} – скорост на подаване;

f_{rb} – подаване за радиан;

K_{cfzb} – специфична сила на рязане;

η_b – коефициент на машината;

$P_{cb \max}$ и P_{cbw} – максимални мощности, разпределени между подавателното и главното електрозадвижвания, необходими за извършване на обработката, съответно без и с износването на инструмента;

P_{spb} – необходима мощност за шпиндела;

P_{fb} – необходима мощност за подавателното електрозадвижване;

F_{fb} – необходима сила за подавателното електрозадвижване при най-тежкия режим на обработка;

F_g – необходима сила за преместване на задвижвания механизъм, с отчитане на триенето в направляващите;

μ_g – коефициент на триене в направляващите;

P_{fbgc} – необходима мощност за преместване на задвижвания механизъм с отчитане триенето в направляващите;

$P_{fbg \max}$ – мощност за подавателното електрозадвижване при преместване на бърз ход;

h_{bi} – номинални стъпки при зададен номинален диаметър на сачмено винтовата двойка;

ω_{fbi} – скорост на търсения двигател при различните номинални стъпки на сачмено винтовата двойка;

M_{fbi} – момент на търсения двигател при различните номинални стъпки на сачмено винтовата двойка;

$M_{fv \max i}$ – момент на двигателя при различните номинални стъпки на сачмено винтовата двойка при максимална скорост на подаване; $i = 1 \div n$, където n е броят на вариантите.

В предложената методика от табл.1 е използвана сачмено винтова двойка като механична предавка за линейно подавателно задвижване.

Табличните данни се вземат съответно от фирми-производители на инструменти, механични предавки и направляващи [16, 17].

Като входни данни се задават: най-тежкия режим на обработка; параметрите: $D_{mb \max}$; $D_{cb \max}$; $a_{pb \max}$; $m_{m \max}$; $a_{b \max}$; K_{spg} ; η_b и $V_{b \max}$.

Изборът на разстъргващи инструменти преминава през няколко последователни етапа: дефиниране на типа на операцията; избор на разстъргваща система; дефиниране на диаметъра на инструмента и изискванията към отворите; избор на желаният ъгъл; избор на държач и пластини за съответната обработка и твърдост на материала.

Използваните формули в табл.1 са взети от [16, 19].

Табл. 1. Избор на електрозадвижвания при разстъргващи операции

Стъпка	Операция		
↓	Входни данни		
1.	Избор на тип машина.	→	Таблични данни.
2.	Избор на разстъргваща операция.	→	Таблични данни.
3.	Избор на инструмент.	→	Таблични данни.
4.	Определя се V_{cb} [m/s].	→	Таблични данни.
5.	Определя се f_{rb} [m/rad].	→	Таблични данни.
6.	Определя се K_{cfzb} [MPa].	→	Таблични данни.
7.	Определя се тип на направляващи.	→	Таблични данни.

8.	Определя се μ_g .	→	Таблични данни.
9.	Изчислява се ω_b [rad/s].	→	$\omega_b = \frac{V_{cb} \times 2}{D_{mb \max}}$
10.	Изчислява се ω_{bm} [rad/s].	→	$\omega_{bm} = \omega_b \times K_{spg}$
11.	Изчислява се V_{fb} [m/s].	→	$V_{fb} = f_{rb} \times \omega_b$
12.	Изчислява се $P_{cb \max}$ [W].	→	$P_{cb \max} = \frac{V_{cb} \times a_{pb \max} \times f_{rb} \times K_{cfz;b} \times 2\pi \times 10^6}{\eta_b} \times \left(1 - \frac{a_{pb \max}}{D_{cb \max}}\right)$
13.	Изчислява се P_{cbw} [W].	→	$P_{cbw} = (1.1 \div 1.3) \times P_{cb \max}$
14.	Изчислява се P_{spb} [W].	→	$P_{spb} = (95 \div 99)\% \times P_{cbw}$
15.	Изчислява се P_{fb} [W].	→	$P_{fb} = (1 \div 5)\% \times P_{cbw}$
16.	Изчислява се F_{fb} [N].	→	$F_{fb} = \frac{P_{fb}}{V_{fb}}$
17.	Изчислява се F_g [N].	→	$F_g = m_{m \max} a_{b \max} \mu_b$
18.	Изчислява се P_{fbgc} [W].	→	$P_{fbgc} = (F_g + F_{fb}) V_{fb}$
19.	Изчислява се $P_{fbg \max}$ [W].	→	$P_{fbg \max} = F_g V_{fb \max}$
20.	Сравняват се P_{fbgc} и $P_{fbg \max}$.		
21.	Определя се D_{gb} [m].	→	Таблични данни.
22.	Определя се h_{bi} [m].	→	Таблични данни.
23.	Изчислява се ω_{fbi} [rad/s].	→→	$\left. \begin{aligned} \omega_{fb_1} &= \frac{V_{fb \max} \times 2 \times \pi}{h_{b_1}} \\ \vdots \\ \omega_{fb_n} &= \frac{V_{fb \max} \times 2 \times \pi}{h_{b_n}} \end{aligned} \right\}$
24.	Изчислява се M_{fbi} [Nm].	(→	$\left. \begin{aligned} M_{fb_1} &= \frac{P_{fbgc}}{\omega_{fb_1}} \\ \vdots \\ M_{fb_n} &= \frac{P_{fbgc}}{\omega_{fb_n}} \end{aligned} \right\}$
25.	Изчислява се $M_{fv \max i}$ [Nm].	→→	$\left. \begin{aligned} M_{fv \max_1} &= \frac{P_{fbg \max}}{\omega_{fb_1}} \\ \vdots \\ M_{fv \max_n} &= \frac{P_{fbg \max}}{\omega_{fb_n}} \end{aligned} \right\}$

3. ИЗСЛЕДВАНЕ НА СИСТЕМАТА ЗА ЗАДВИЖВАНЕ

След отчитане на механичните операции, които могат да се извършат от обработващия център, като един вариант на практическа реализация са внедрени постояннотокови електрозадвижвания по линейните координатни оси, въртящата ос a и шпиндела, а за въртящата координата c е изследвана възможност със стъпково електрозадвижване.

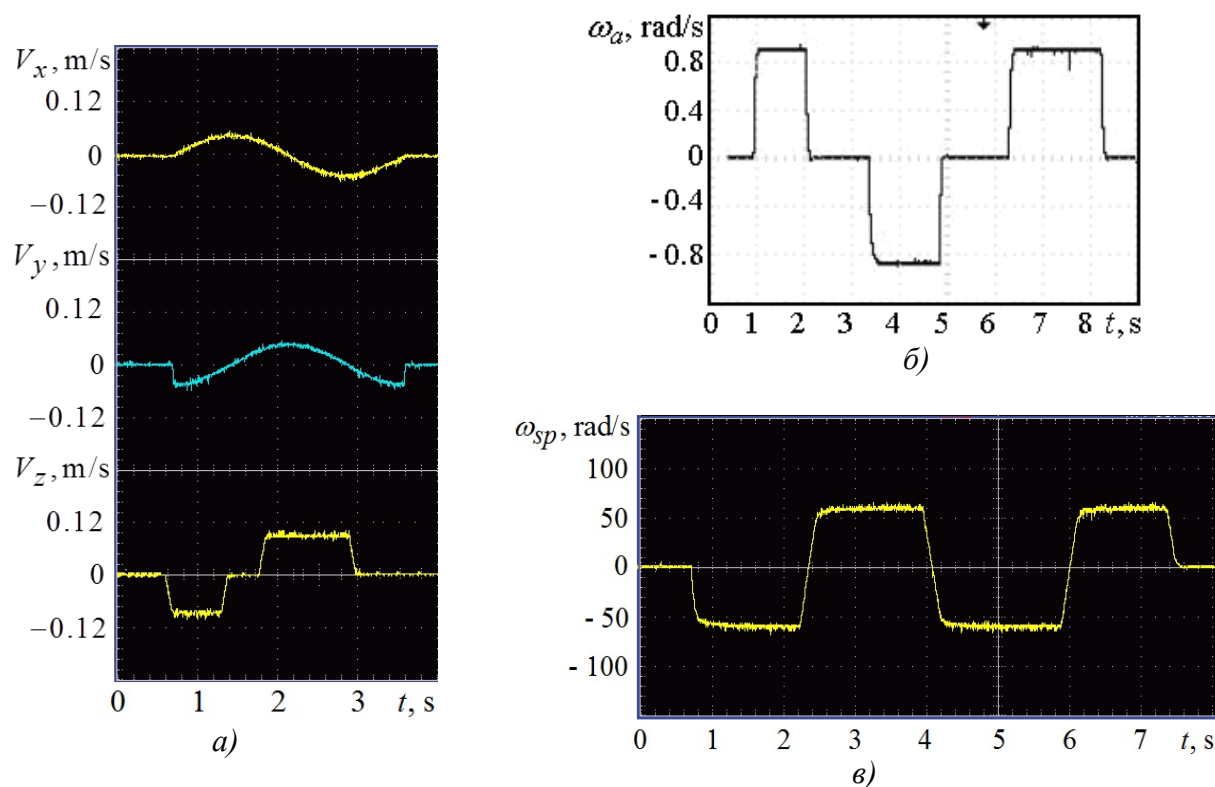
На следващите фигури са представени някои от получените резултати за подавателни и главни електрозадвижвания при различни режими на работа, както и част от разработена ладер диаграма за управление на една от спомагателните системи – смазочно-охлаждащата.

На фиг. 2 са представени някои осцилограми от експерименталните изследвания на внедрените подавателни задвижвания и на главното задвижване с двигатели за постоянен ток.

На фиг. 2а е илюстрирано трикоординатно линейно подавателно електрозадвижване при едновременно движение по трите оси.

На фиг. 2б е дадена времедиаграма при движение на допълнително добавената въртяща координатна ос a , която може да осъществява реверсивно движение в диапазона от $0 \div 90^\circ$.

На фиг. 2в е показана траектория при работа под основната скорост на въртене на шпиндела, което отговаря на първата зона на регулиране на скоростта.

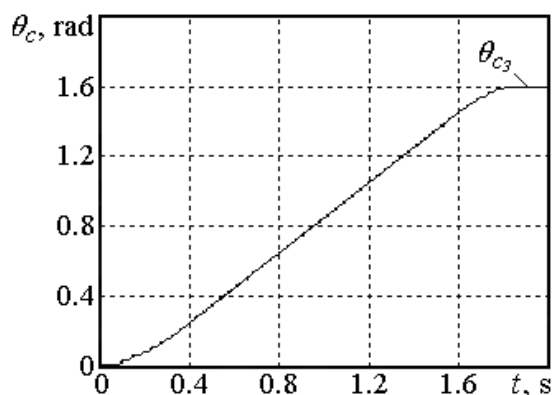


Фиг. 2. Експериментални осцилограми с двигатели за постоянен ток

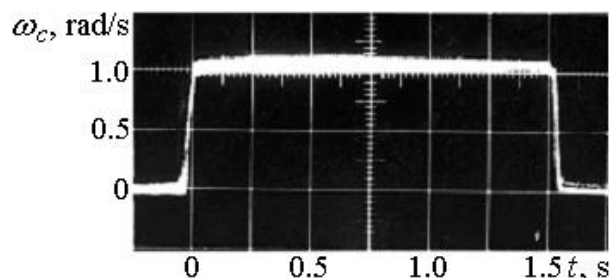
На фиг. 3 е представена траектория на движение, получена посредством компютърно симулиране на позиционно стъпково електрозадвижване с хибриден

стъпков двигател за координатната ос c , която може да се завърта в диапазона $0 \div 360^\circ$. Зададеното преместване при това изследване е 1.6 rad ($\approx 92^\circ$).

На фиг. 4 е показана експериментално получена осцилограма на стъпково електрозадвижване за същата въртяща координата.



Фиг. 3. Траектория на движение, получена посредством компютърно симулиране на стъпково задвижване



Фиг. 4. Експериментално получена осцилограма на позиционно стъпково електрозадвижване

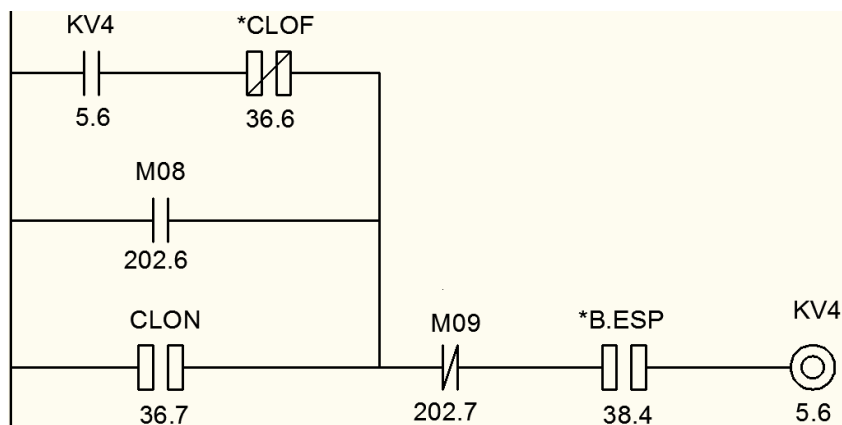
На базата на проведените теоретични и експериментални изследвания на задвижвания с двигатели за постоянен и променлив ток, могат да бъдат направени следните изводи: внедрените електрозадвижвания с двигатели за постоянен ток притежават добри регулировъчни качества и осигуряват необходимите статични и динамични характеристики, като основен недостатък може да се отбележи наличието на колекторно-четковия апарат; електрозадвижванията с променливотокови двигатели имат по-лесна поддръжка, но тяхната цена е значително по-висока.

За управлението на спомагателните задвижвания може да се приложат два подхода: с разработени ладер диаграми или чрез програмируеми логически устройства с използване на един от езиците за хардуерно описание – Verilog HDL или VHDL.

Като практическа реализация, за машина от изследвания клас е разработена ладер диаграма за управление на смазочно-охлаждащата система. Тази система е от особено значение, тъй като тя влияе върху точността и качеството на обработвания детайл, както и върху енергийната консумация на машината. Внедрената система за ЦПУ е на фирмата Фанук, осигуряваща необходимите изисквания за управлението на системата за електрозадвижване.

Някои от входните сигнали са CLON и *CLOF, които се активират от съответни бутони за включване и изключване на охлаждащата система, разположени на пулта за управление. Изходният сигнал KV4 за включване на смазочно-охлаждащата система активира съответно реле.

Междинните условия за тази система са свързани с декодиране на команди за включване и изключване – M08 и M09. Това се осъществява в определена последователност, като е необходимо и активиране на базовия сигнал FIN за завършване на съответната M функция.



Фиг. 5. Част от ладер диаграма за управление на смазочно-охлаждащата система

На фиг. 5 е дадена част от разработената ладер диаграма за смазочно-охлаждащата система. За нейното включване е необходимо да се активира изходния сигнал KV4, като се преминава през следните условия: да бъде зададена команда за включване от системата за ЦПУ M08 или да се натисни бутон от пулта за управление, който активира сигнала CLON; да не бъде зададена команда M09 или да е натиснат бутона за изключване на охлаждането, който активира сигнала – *CLOF; да няма активиран сигнал за аварийен стоп – *B.ESP.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложен е обобщен алгоритъм за избор на система за електрозадвижване на обработващ център с цифрово-програмно управление, който отчита най-тежките режими на рязане при различните механични операции, твърдостта на обработваните материали, някои параметри, свързани с машината и обработващите инструменти, както и методите и проблемно-ориентираните езици за управление на спомагателните задвижвания.

Показани са последователните стъпки при изчисляване на подавателните задвижвания и на главното задвижване при разстъргващи операции, които трябва да бъдат отчетени при избора на системата за електрозадвижване.

Разработени са ладер диаграми за управление на съответните електрозадвижвания на машината.

Посредством компютърно симулиране и на базата на направените практически внедрявания, е изследвана подробно цялата система за електрозадвижване при различни режими на работа и настройки на съответните регулатори.

Проведените изследвания и получените резултати може да се използват при модернизацията на разглеждания клас металорежещи машини с цифрово-програмно управление.

Благодарности

Научните изследвания, резултатите от които са представени в настоящата публикация, са финансирани от Научноизследователски проект „Перспективни ръководители“ на ТУ – София, № 201ПР0003-08/2020.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Угринов, П. Вертикални обработващи центри - едновретенни компоновки - класификационен анализ. Сб. доклади от националната научно-техническа конференция с международно участие „Автоматизация на дискретното производство” АДП 2010, 150-155, 2010, ISSN 1310-3946.
- [2] Попов, Г., Металорежещи машини, част I: Приложимост, устройство и управление, Книга втора, Технически университет - София, София, 2010, ISBN 978-954-438-766-2.
- [3] Zhilevski, M., Increasing of the Opportunities for a Class of Machine Tools with Digital Program Control, International Scientific Journal “Machines. Technologies. Materials.”, Vol. 13, Issue 12, pp. 538-541, 2019, ISSN 1313-0226.
- [4] Михов, М., Системи за електрозадвижване, Технически университет – София, София, 2011, ISBN 978-954-438-922-2.
- [5] Bratovanov, N., Robot Modeling, Motion Simulation and Off-line Programming Based on SolidWorks API. The Third IEEE International Conference on Robotic Computing, pp. 574-579, 2019.
- [6] Жилевски, М., М. Михов, Методика за избор на подавателни задвижвания за фрезови машини, Годишник на Технически университет - София, т. 64, № 1, 33-42, София, 2014, ISSN 1311-0829.
- [7] Mikhov, M., M. Zhilevski, Methodology for Selection of Spindle Drives for Milling Machines, International Journal of Engineering and Computer Science, Vol. 3, Issue 5, pp. 5948-5953, 2014, ISSN 2319-7242.
- [8] Zhilevski, M., M. Mikhov, Study of Electric Drives for Rotary Table of Milling Machines, Journal of Multidisciplinary Engineering Science and Technology, Vol. 2, Issue 40, pp. 607-611, 2015, ISSN 3159-0040.
- [9] Zhilevski, M., M. Mikhov, Optimization of the Drive System Choice for a Class of Drilling Machines, European Journal of Electrical and Computer Engineering, Vol. 2, Issue 6, pp. 12-16, 2018, ISSN 2506-9853.
- [10] Жилевска, М., М. Дочев, А. Хинова, Основни направления при проектирането на металорежещи машини с ЦПУ, International Scientific Conference: Engineering. Technologies. Education. Security, Vol. 1, Issue 1(7), pp. 40-42, 2019, ISSN 2535-0315.
- [11] Жилевски, М., Управление на система за избор на инструменти при клас металорежещи машини, Годишник на Технически университет - София, т. 69, №. 3, 9-16, София, 2019, ISSN 1311-0829.
- [12] Жилевска, М., Управление на система за дозаторно мазане на металорежещи машини с ЦПУ, Научна конференция TechCo-Ловеч, Технически колеж - Ловеч, 139-144, 2019, ISSN 2535-079X.
- [13] Жилевска, М., Модернизация на клас фрезови машини, Технически университет – Габрово, дисертация, 2017.
- [14] M. Mikhov and B. Balev, Modeling and optimization of an electric drive system with dual-zone speed regulation, Proceedings of the ICEST, Nish, vol. 2, pp. 575-578, 2005.
- [15] M. Mikhov and T. Georgiev, An approach to synthesis of a class of electric drives with dual-zone speed control, advances in electrical and computer engineering, vol. 10, No. 4, pp. 87-94, 2010, ISSN 1011-2855.
- [16] Sandvik coromant, Metalcutting technical guide: Turning, milling, drilling, boring, toolholding, sandvik, 2005.

- [17] SKF Group, Precision rolled ball screw, Catalogue, 2013.
- [18] SKF Group, Rolling bearings, Catalogue, 2018.
- [19] Андонов, И., Рязане на металите, Софттрейд, София, 2001, ISBN 954-9725-52-9.

Автори: *Марин Жилевски*, гл. ас. д-р инж., Технически университет – София, Факултет Автоматика, катедра „Автоматизация на електрозадвижванията”,
e-mail: mzhilevski@abv.bg;

Михо Михов, проф. д-р инж., Технически университет – София, Факултет Автоматика, катедра „Автоматизация на електрозадвижванията”,
e-mail: mikhov@tu-sofia.bg.

Autors: *Assist prof. Dr. Marin Zhilevski*, Technical University of Sofia, Faculty of Automatics, department Electrical Motion Automation Systems,
e-mail: mzhilevski@abv.bg;

Prof. Dr. Mikho Mikhov, Technical University of Sofia, Faculty of Automatics, department Electrical Motion Automation Systems,
e-mail: mikhov@tu-sofia.bg.