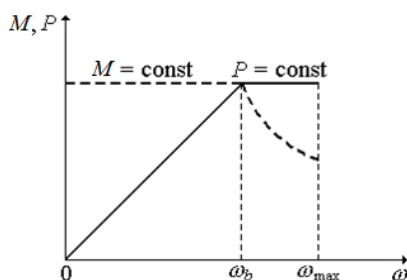


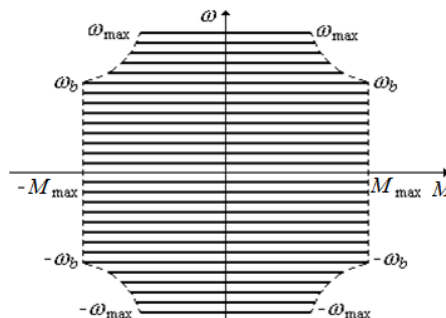
Използваните означения са следните: ЗИ – задатчик на интензивност; РС – регулатор на скорост; БТО – блок за токоограничение; РТ1 – регулатор на котвения ток; СИФУ1 – система за импулсно-фазово управление за силовия преобразувател на котвената верига; БОС – блок за обратна връзка по скорост; ОТ1 – блок за обратна връзка по котвения ток; БЛ – блок логика; ДР – дросел; ТТ – токов трансформатор; СП1 – силов преобразувател за котвената верига; ДТ1 – датчик на котвения ток; ТВ – трансформатор на възбудителната верига; РТ2 – регулатор на възбудителния ток; ОТ2 – блок за обратна връзка по възбудителния ток; СП2 – силов преобразувател за възбудителната верига; ДТ2 – датчик на възбудителния ток; ПБ – превключващ блок; ЛМ – възбудителна верига на двигателя за постоянен ток М; БОН – блок за обратна връзка по котвено напрежение. Системата за управление включва две взаимосвързани подсистеми, като свързващият параметър е котвеното напрежение на двигателя:

На фиг. 2 са представени диаграмите, съответстващи на двете зони за регулиране на скоростта. С ω_b е означена базовата скорост, при която се превключват зоните. Обикновено се приема $\omega_b = \omega_{nom}$.



Фиг. 2. Зони на регулиране с постоянен момент и постоянна мощност.

но електрозадвижване са представени на фиг. 3, където ω_{max} е горната граница на диапазона на регулиране, а M_{max} е максималният момент на двигателя.



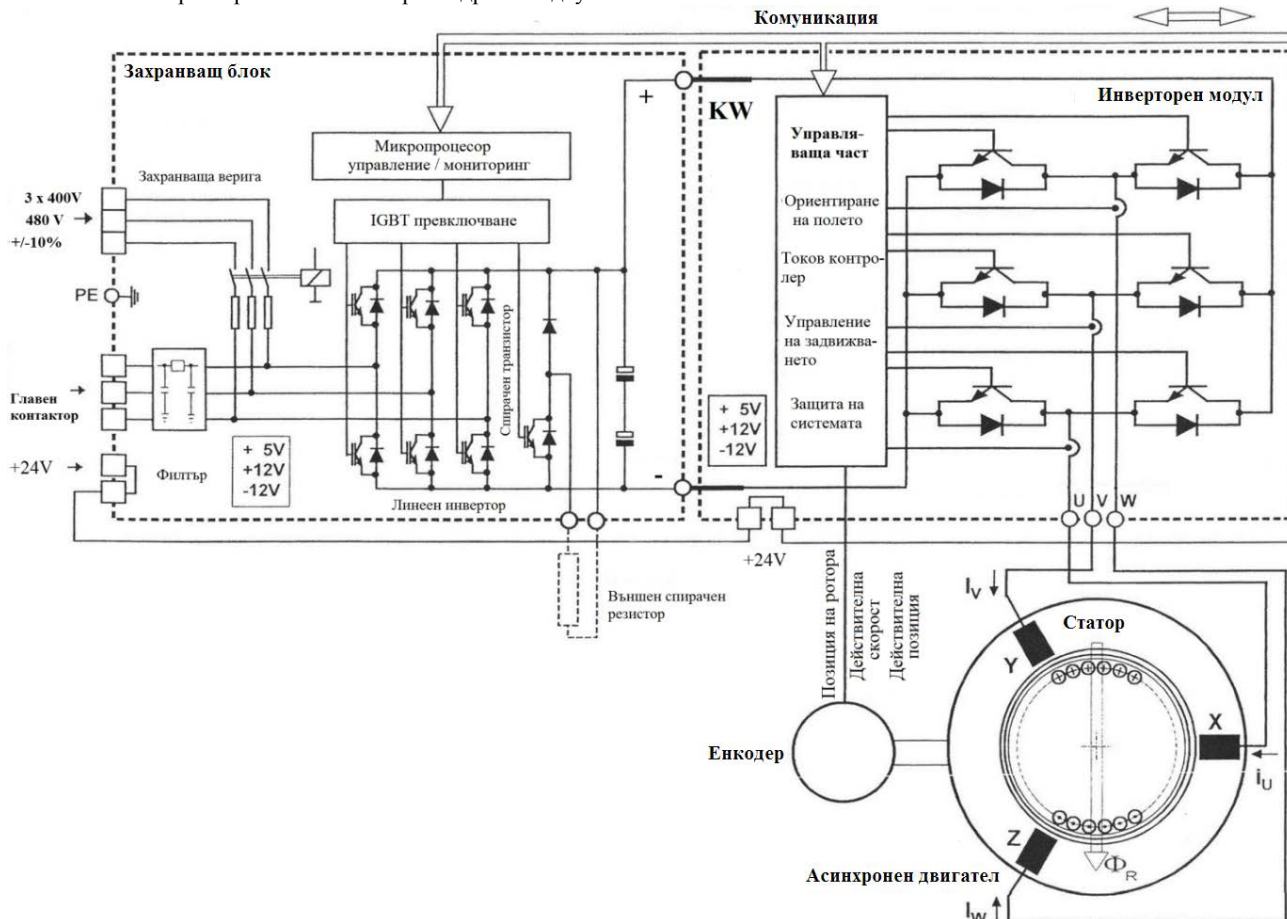
Фиг. 3. Механични характеристики при двузонно задвижване.

Електрозадвижванията с двигатели за постоянен ток притежават много добри регулировъчни качества, но същевременно имат и редица съществени недостатъци, свързани с наличието на колекторно-четков апарат. По тази причина напоследък постояннотоките електрозадвижвания се заменят с променливотокови, на базата на асинхронни двигатели (АД) с векторно управление. При такова управление може да се използват аналогични структури с подчинено регулиране на координатите, както при постояннотоките системи.

3. Променливотоково електрозадвижване

На базата на формулираните изисквания, с отчитане на необходимостта от двузонно регулиране на скоростта, посредством осъществените изчислителни процедури по разработената методика [5], е избрана и внедрена променливотокова система за електрозадвижване на шпиндела.

Механичните характеристики на четириквартантно двузон-

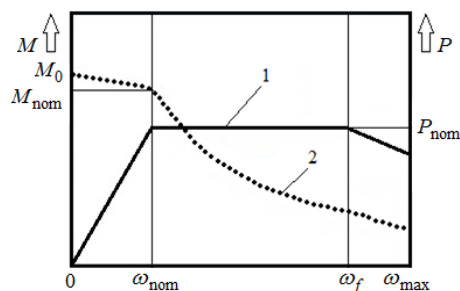


Фиг. 4. Електрозадвижване на шпиндела с асинхронен двигател.

Функционалната схема на изследваното променливотоково електрозадвижване с асинхронен двигател [8], [9] е дадена на фиг. 4.

Поради използваните значително по-мощни двигатели за главното задвижване в сравнение с подавателното, в случая е избрана система с управляем изправител, при която има възможност за връщане на енергия в захранващата променливотокова мрежа.

Управлението е изцяло цифрово и се осъществява със задаване на необходимите параметри от база данни. Указват се типа на използваните двигател и съответен преобразувател, входни/изходни компоненти и на тази база се извършва необходимата настройка за конкретната система.



Фиг. 5. Характеристики на електрозадвижването с АД.

На фиг. 5 са представени съответните характеристики на това електрозадвижване, където използваните означения са следните: 1 – крива на мощността; 2 – крива на въртящия момент; ω_f - ограничение на скоростта при постоянна номинална мощност.

4. Експериментални изследвания и анализ

За осъществяване на необходимите експериментални изследвания е разработен стенд за настройка и изследване на електрозадвижванията.

Провеждане на експериментално изследване и настройка на едно електрозадвижване за шпиндела на разглежданите металорежещи машини е илюстрирано на фиг. 6.



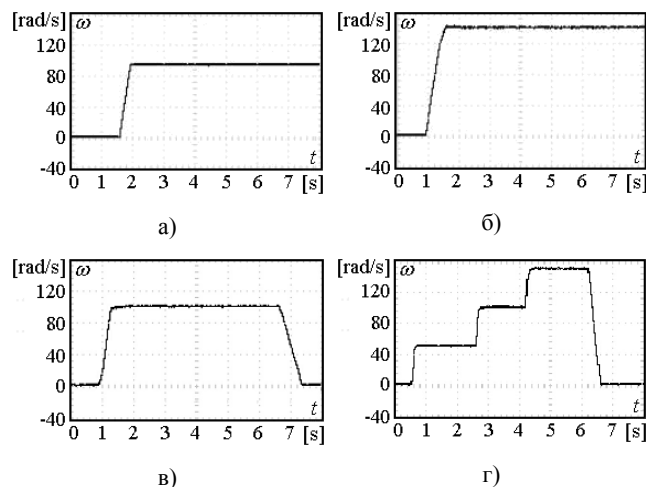
Фиг. 6. Настройка на електрозадвижване за шпиндела.

На фиг. 7 са представени някои осцилограми $\omega(t)$ от изследването на двузонно постоянноотково електрозадвижване, получени експериментално при различни настройки на регулаторните контури.

Траекторията, показана на фиг. 7а е снета при работа под основната скорост на въртене на шпиндела. Зададената скорост е $\omega_3 = 100 \text{ rad/s}$ и се намира в първата зона.

На фиг. 7б е представена траектория при зададена скорост $\omega_3 = 140 \text{ rad/s}$, което в този случай отговаря на работа във втората зона.

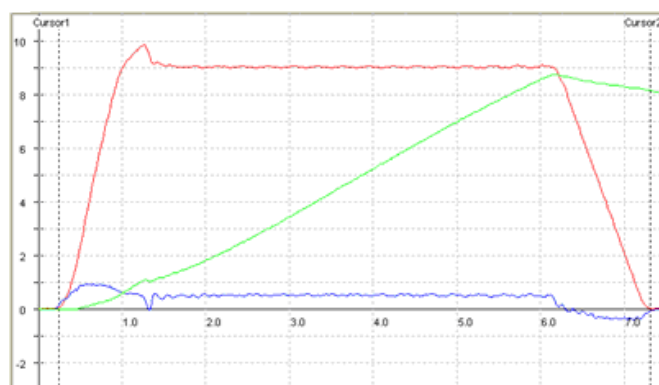
На фиг. 7в е дадена траектория, включваща ускоряване, въртене със зададената скорост $\omega_3 = 100 \text{ rad/s}$ и плавно ориентирано спиране.



Фиг. 7. Осцилограми на електрозадвижване с ДПТ.

На фиг. 7г е представена осцилограма на траектория $\omega(t)$, включваща три зададени скорости на въртене: $\omega_{31} = 52 \text{ rad/s}$, $\omega_{32} = 90 \text{ rad/s}$, $\omega_{31} = 150 \text{ rad/s}$ и следващо бързо спиране.

На фиг. 8 са представени осцилограми, получени експериментално при изследване на променливотокова система за електрозадвижване на шпиндела. За снемането на съответните характеристики е използван програмният продукт APEX PRO, който е специализиран и дава възможност за подробни изследвания, с високо качество на резултатите.



Фиг. 8. Осцилограми на електрозадвижване с АД.

По абсцисната ос е представено времето за извършване на изследванията в секунди, а по ординатната – съответните сигнали, като скалата е във волтове. С червена линия е илюстрирана скоростта на въртене, със синя – момента, а със зелена – натоварването на инвертора. При това изследване зададената скорост е 53.41 rad/s .

Избраният променливотоков двигател е от серията ДН на фирмата АМК с вграден енкодер за обратна връзка [8]. Това са високо-динамични трифазни двигатели, които са особено подходящи за главни електрозадвижвания на металорежещи машини. Предимствата на използвания асинхронен двигател са следните:

- висока претоварваща способност;
- възможности за скоростно, позиционно и синхронизирано управление;

- вграден вентилатор за охлаждане.

Направеният сравнителен анализ показва, че съответните динамични и статични показатели на изследваното променливо-токово електрозадвижване са високи и напълно съизмерими с тези на постоянно-токовото електрозадвижване. Същевременно трябва да се отбележи значително по-лесната експлоатационна поддръжка на това електрозадвижване, поради липсата на колекторно-четков апарат. Като недостатък, на този етап може да се посочи неговата по-висока цена.

Част от резултатите от направено проучване на различни фирми производители на електрозадвижвания за главното движение [8], [9], [10], са представени в табл. 1.

Табл. 1. Някои резултати от направеното проучване.

КОМПЛЕКТ ДПТ И ПРЕОБРАЗОВАТЕЛ		
Модел	Параметри	Цена (€)
MP 112L/5EOA	7.5 kW, 104.67 rad/s	1382
MP 132M/8EOA	11 kW, 104.67 rad/s	1650
MP 132L/12EOA	15 kW, 104.67 rad/s	1820
КОМПЛЕКТ АД И ПРЕОБРАЗОВАТЕЛ		
Модел	Параметри	Цена (€)
DH 10-40/KW 8	6.3 kW, 157 rad/s	2342
DH 10-55/KW 10	10 kW, 188.4 rad/s	2856
DH 13-100/KW 20	15 kW, 157 rad/s	3839

Както се вижда, цената на променливотоковия двигател с включения съответен преобразувател, се увеличава значително с нарастването на мощността на двигателя. Въпреки това, съществува устойчива тенденция към постепенна замяна на постоянно-токовите електрозадвижвания с променливотокови, на базата на асинхронни и синхронни двигатели с векторно управление.

5. Заключение

Формулирани са изискванията към електрозадвижването на шпиндела на един вид фрезови машини с цифрово-програмно управление.

Извършена е практическа настройка на използваните електрозадвижвания за постоянен и променлив ток. Направен е

сравнителен по основни показатели.

Проведени са експериментални изследвания, показващи, че представеното променливо-токово асинхронно електрозадвижване с векторно управление напълно удовлетворява поставените изисквания.

Проведените изследвания и получените резултати от тях може да се използват при избор на електрозадвижвания за главното движение на разглеждания клас металообработващи машини.

Литература

- [1] Altintas Y., A. Verl, C. Brecher, L. Uriarte, G. Pritschow, Machine Tool Feed Drives, *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, Vol. 60, No. 2, pp. 779 -796, 2011, ISSN: 0007-8506.
- [2] Moriwaki T., Trends in Recent Machine Tool Technologies, *NTN Technical Review*, No. 74, pp. 2-7, 2006, ISSN 0915-0528.
- [3] Crowder R., *Electric Drives and Electromechanical Systems*, Elsevir, Oxfort, 2006, ISBN 978-0-7506-674091.
- [4] Soshi M., S. Yu, S. Ishii, K. Yamazaki, Development of a High Torque-High Power Spindle System Equipped with a Synchronous Motor for High Performance Cutting, *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, Vol. 60, No. 1, pp. 399-402, 2011, ISSN: 0007-8506.
- [5] Mikhov M., M. Zhilevski, A. Spiridonov, Modeling and Performance Analysis of a Spindle Electric Drive with Adaptive Speed Control, *Journal Proceedings in Manufacturing Systems*, Vol. 7, No. 3, pp. 153-158, 2012, ISSN 2067-9238.
- [6] Mikhov, M., M. Zhilevski, Methodology for Selection of Spindle Drives for Milling Machines, *International Journal of Engineering and Computer Science*, Vol. 3, No. 5, pp. 5948-5953, 2014, ISSN 2319-7242.
- [7] Жилевски М, М. Михов, Подавателно електрозадвижване за шпиндела на фрезови машини, *Научни известия на ИТС по машиностроене*, т. 23, № 6, 50-53, София, 2015, ISSN 1310-3946.
- [8] AMKASYN, AC-Servo- and Main Spindle Motors, *AMK Catalogue*, 2014.
- [9] AMKASYN, Servo Drives KE/KW, *AMK Catalogue*, 2014.
- [10] SERVOMOTORS, *GAMA MOTORS Catalogue*, 2014.