

**СРАВНИТЕЛЕН АНАЛИЗ НА ВЪЗМОЖНОСТИТЕ ЗА ЪГЛОВО
ПОЗИЦИОНИРАНЕ НА ДЕТАЙЛА ПРИ ФРЕЗОВИ МАШИНИ****COMPARATIVE ANALYSIS OF THE POSSIBILITIES FOR ANGULAR
POSITIONING OF THE DETAIL IN MILLING MACHINES****PhD Marin Zhilevski***Technical University of Sofia***PhD Madlena Zhilevska***Technical College of Lovech***Abstract**

This paper examines the possibilities for angular positioning of the detail in milling machines with digital program control. The requirements of the rotary table and the additionally introduced fixing unit are formulated. Opportunities for their control have been carried out and experimental studies have been conducted. Advantages and disadvantages of the two ways for angular positioning of the detail are compared.

Keywords: milling machines, rotary table, additionally introduced fixing unit, electric drive.

ВЪВЕДЕНИЕ

Фрезовите машини са изградени от различен набор от линейни и въртящи се координатни оси, чрез които се осъществява позициониране на детайла и инструмента, както и те участват в процеса на механична обработка. Тези оси се обслужват и задвижват от различни постояннотокови и променливотокови електрозадвижвания [1, 2, 3].

Въртящите се координати значително разширяват функционалните възможности на фрезовите машини, увеличават производителността и осигуряват достигане на желаните параметри при обработка. Тези оси осъществяват ъглово позициониране на детайла и дават възможност за обработка с висока точност на различни винтови канали, корпусни детайли, червячни колела и други [4]. Обикновено ъгловото позициониране на детайла се реализира чрез въртящи се маси, кръгли делителни маси и универсални делителни апарати [5, 6].

Добавянето на управляеми въртящи се оси към фрезовите машини, изисква и внедряване на съответни електрозадвижвания.

Това води до значително оскъпяване на цялата машина поради наличието на допълнително използвани двигатели, силови преобразуватели, датчици на път, както и необходимост от по-сложна система за цифрово-програмно управление [4, 7, 8].

Нуждата за твърдо позициониране на детайла на строго фиксиран ъгъл през тридесет градуса, доведоха до търсене на по-евтини и надеждни решения с практическо приложение.

В настоящата статия са представени възможности за ъглово позициониране на детайла при фрезовите машини. Формулирани са изискванията, които се поставят към въртящата се маса и фиксиращия модул. Разгледани са различни начини за управление на въртяща се маса и фиксиращия модул и са сравнени предимствата и недостатъците на двата начина за ъглово позициониране на детайла.

ИЗЛОЖЕНИЕ

При модернизацията на клас фрезови машини се въвеждат допълнителни устройст-

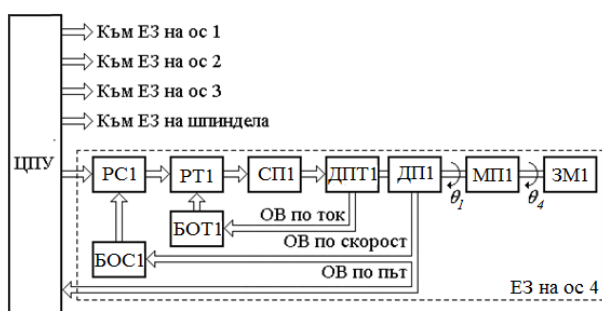
ва за ъглово позициониране на детайла. В първия случай е въведена въртяща се маса, а в другия фиксиращ модул [4, 9].

Въртящата се маса осигурява възможност за обработка на детайлите на произволно избран ъгъл с висока точност на позициониране и може да се използва при едновременна работа с другите координатни оси в процес на механична обработка.

За управление на въртящата маса се въвежда допълнително електрозадвижване за машината. На базата на извършените експериментални изследвания, изискванията към електрозадвижването на въртящата ос, може да се формулират по следния начин: формиране на необходимите траектории на движение при зададени позиционни цикли; максимален пусков момент за осигуряване на високо бързодействие и добри динамични показатели; реверсивно управление по скорост и по момент; компенсиране на смущаващите въздействия, приложени към вала на двигателя.

Изборът на електрозадвижване се осъществява по съответна методика [4]. Като варианти, отговарящи на нуждите на машината са избрани постоянно-токово и променливо-токово електрозадвижване.

Блокова схема на електрозадвижване с двигател за постоянен ток е представена на фиг.1, където с „1” са показани елементите и променливите за 4-та координатна ос.



Фиг. 1. Блокова схема на електрозадвижване с ДПТ.

Използваните означения са следните: ЦПУ – система за цифрово-програмно управление; РС1 – регулатор на скорост; РТ1 – регулатор на ток; СП1 – силов преобразувател; ДП1 – инкрементален датчик на пътя; МП1 – механична предавка; ЗМ1 – задвижван механизъм; θ_1 – ъгъл на завъртане на вала на двигателя; θ_4 – ъгъл на завъртане

при въртенето на масата.

Получената предавателна функция на регулатора на котвения ток, осигуряваща пререгулине под 5%, е следната:

$$(1) \quad W_{pm}(p) = \frac{R_{a\Sigma}(T_{a\Sigma}p + 1)}{K_n K_{om} a_m T_{\mu m} p},$$

където: $R_{a\Sigma}$ е сумарно активно съпротивление на котвената верига; $T_{a\Sigma}$ – сумарна електромагнитна времеконстанта; K_n – коефициент на усилване на силовия преобразувател; K_{om} – коефициент на обратната връзка по ток; a_m – коефициент, влияещ върху показателите на контура; $T_{\mu m}$ – малката времеконстанта на токовия контур, неподлежаща на компенсиране.

Предавателната функция на регулатора на скорост е получена в следния вид:

$$(2) \quad W_{pc}(p) = \frac{1}{\frac{a_c T_{\mu c} p (T_{\mu c} p + 1)}{K_m K_{oc} R_{a\Sigma} / K_{om}}} = \frac{K_{om} T_{m\Sigma}}{K_m K_{oc} R_{a\Sigma} a_c T_{\mu c}}$$

където: $T_{m\Sigma}$ е сумарна електромеханична времеконстанта; K_m – предавателен коефициент на двигателя; K_{oc} – коефициент на обратната връзка по скорост; a_c – коефициент, влияещ върху показателите на контура; $T_{\mu c}$ – малката времеконстанта на скоростния контур, неподлежаща на компенсиране.

Предавателната функция на регулатора на пътя се представя с израза:

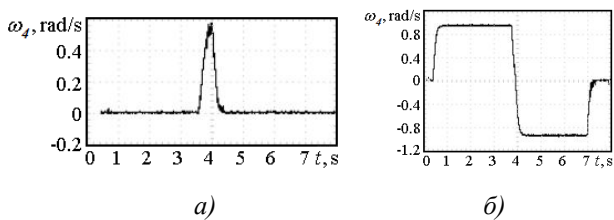
$$(3) \quad W_{pn}(p) = \frac{2K_{oc} \varepsilon_{cn \max}}{K_{on} \omega_{nom}},$$

където: $\varepsilon_{cn \max}$ е максималния темп на намаляване на скоростта; K_{on} – коефициент на обратната връзка по пътя; ω_{nom} – номи-

налната скорост на двигателя.

На фиг. 2 са представени експериментално получени траектории на движение на внедрена постояннотокова система за електрозадвижване при отработване на различни зададени ъгли премествания на работната зона на въртящата се маса.

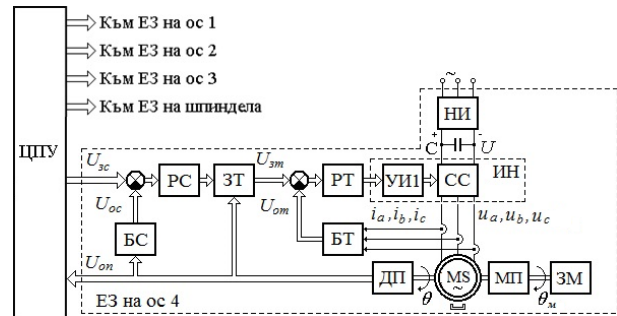
На фиг. 2а е дадена двуучастъкова траектория на движение, получена при зададено малко преместване. На фиг. 2б е представена осцилограма на скоростта $\omega_M(t)$, получена при връщане в изходната позиция на задвижваната маса.



Фиг. 2. Осцилограми на скоростта на масата.

Схемата на позиционно електрозадвижване със СДПМ, управляван в режим на безчетков двигател за постоянен ток, отнасяща се за четвъртата координатна ос, е представена на фиг. 3. Използваните означения са следните: РС – регулатор на скорост; ЗТ – блок за задаване на фазните токове; РТ – регулатор на ток в трифазно изпълнение; УИ – блок за управление на инвертора; СС – силова схема на инвертора; ИН – инвертор на напрежение; НИ – неуправляем изправител; С – кондензатор; БТ – блок за обратна връзка по ток; БС – блок за обратна връзка по скорост; БП – блок за обратна връзка по път; ДП – датчик на път; MS – трифазен синхронен двигател, управляван в режим на БДПТ; МП – механична предавка; ЗМ – задвижващ механизъм; U_{zn} – задаващ сигнал за ъгловия път; U_{zc} – задаващ сигнал за скоростта на движение на задвижвания механизъм; U_{zm} – задаващ сигнал за фазните токове; U_{om} – сигнал за обратна връзка по ток; U_{oc} – сигнал за обратна връзка по скорост; U_{on} – сигнал за обратна връзка по път; U – напрежение на входа на инвертора; i_a, i_b, i_c – фазни токове; u_a, u_b, u_c – фазни напрежения; θ –

ъгъл на завъртане на вала на двигателя; θ_M – ъгъл на завъртане на задвижвания механизъм.



Фиг. 3. Блокова схема на позиционно електрозадвижване със СДПМ.

Системата за електрозадвижване е с подчинено регулиране на координатите ток, скорост и път. Двигателите се управляват в режим на безчетков двигател за постоянен ток, в съответствие с роторните позиции.

Тази система е многофункционална и дава възможност да се изследват различни режими на работа и алгоритми на управление, такива като: двигателен и спирачни режими; позиционно и следящо управление.

Използваните регулатори на ток в тази система за управление са релейни, с програмируема хистерезисна зона.

Модулационната честота, с която се превключват силовите ключове на инвертора се определя като:

$$(4) \quad f_m = \frac{1}{T_m},$$

където T_m е периодът на модулацията.

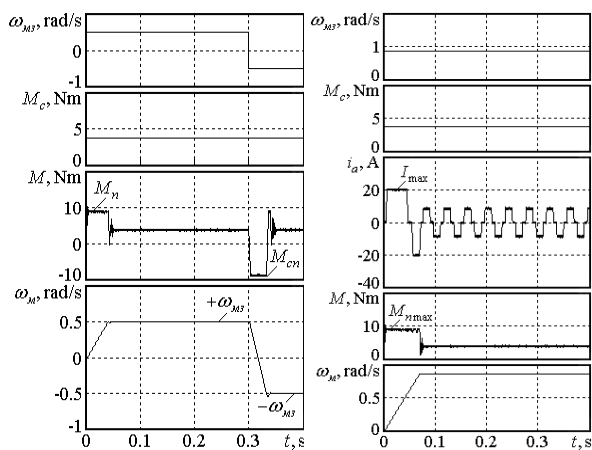
За определена широчина на хистерезисната зона, модулационната честота f_m при този начин на управление е променлива величина. Текущата ѝ стойност зависи от следните основни фактори: зададената скорост на двигателя; електромагнитната време-константа на силовата верига; началната стойност на тока в разглеждания интервал.

Посредством компютърно симулиране са проведени изследвания на съответните режими и алгоритми на управление, на базата

на които са оценени показателите на разглежданото електрозадвижване със СДПМ.

Реверсирането по скорост се осъществява посредством промяна в редуването на статорните намотки на двигателя. Смяната на посоката на движение и спирачният режим са илюстрирани с времедиаграмите, показани на фиг. 4, където пусковият и спирачният момент са означени съответно с M_n и M_{cn} .

Пусковият процес при номинален съпротивителен момент е представен на фиг. 5. Показани са времедиаграмите на зададената скорост на масата ω_{M3} , приложеният статичен момент към вала на двигателя M_c , токът във фаза a i_a , моментът на двигателя M и скоростта ω_M . Пусковият ток в статорните намотки в този случай е ограничен до стойност $I_{max} = 2I_{nom}$.

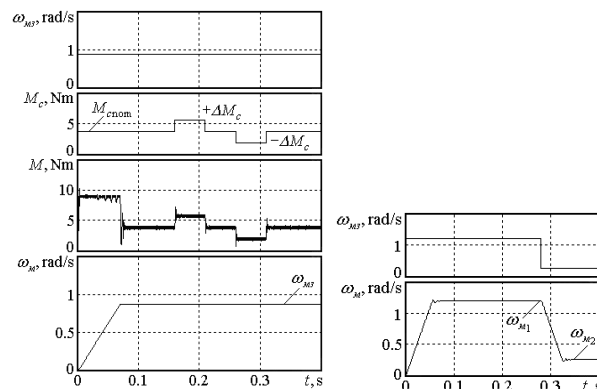


Фиг. 4. Реверсиране по скорост и спирачен режим на двигателя. **Фиг. 5.** Ограничаване на тока.

Компенсацията на смущаващите въздействия се осъществява посредством подходяща настройка на регулатора на скорост, който е пропорционално-интегрален.

Фиг. 6 илюстрира стабилизацията на скоростта на въртене на масата при промяна на натоварването, приложено на вала на двигателя.

При проведеното изследване последователно са прилагани промени на съпротивителния момент $\Delta M_c = \pm 0.5 M_{cnom}$.



Фиг. 6. Стабилизация на скоростта на въртене на масата при наличие на скорост на въртене. **Фиг. 7.** Преминаване от висока към ниска скорост на въртене.

Обработване на зададен позиционен цикъл с преминаване от висока скорост $\omega_{M1} = 1.2 \text{ rad/s}$ към ниска скорост $\omega_{M2} = 0.25 \text{ rad/s}$ е илюстрирано на фиг. 7.

Допълнително въведения фиксиращ модул осигурява твърдо позициониране на детайла през тридесет градуса. В някои случаи се оказва изключително полезен вариант за ъглово позициониране на детайла, поради значително по-лесния и евтин начин за реализация. В този случай не се налага внедряване на допълнително електрозадвижване.

Възможностите за управлението на фиксиращия модул са: неавтоматизирано и автоматизирано, посредством системата за ЦПУ. При първия случай е разработен допълнителен пулт, който осигурява независимо задвижване и управление на модула [10]. Като основен недостатък на такъв вид управление се явява липсата на автоматизирано управление от системата за цифрово-програмно управление. Това значително усложнява технологичния процес, тъй като не може да бъде постигната пълна автоматизация, както и води до увеличаване времето за обработка на детайла.

С добавянето на системата за ЦПУ за управлението на фиксиращия модул, се осигурява възможност за автоматизиране на технологичния процес; намаляване времето за обработка на детайла; повишаване на точността; достигане на изисквания като успоредност и перпендикулярност на де-

тайлите; увеличаване производителността на машината.

Реализацията на управлението на фиксиращия модул чрез СЦПУ и разработка на подходяща ладер диаграма е дадена в [9].

В табл. 1 са представени съответните предимства и недостатъци при обработка с въртяща се маса и фиксиращ модул. Сравненията са извършени по различни критерии, като точност на позициониране, завъртане на произволен ъгъл, управление, обработка на детайлите, време за безотказна работа, цена и други. Изследванията са извършени за период от 3 години.

Таблица 1. Сравнения при обработка с въртяща се маса и фиксиращ модул.

Начини Параметри	Въртяща се маса	Фиксиращ модул
Точност на позициониране	Висока, зависи от датчика на път	Средна, зависи от механизма
Завъртане на произволен ъгъл	Произволно зададен	Завъртане на ъгъл през 30°
Управление	Необходимост от допълнително електрозадвижване	Сравнително лесно управление от СЦПУ
Работни часове	20000 ч.	15000 ч.
Време за безотказна работа	10000 ч.	8000 ч.
Брой ремонти	1	2
Цена	Значително по-висока от другия вариант	Сравнително ниска

Като извод може да се отбележи, че и двата варианта за ъглово позициониране на детайла намират своето приложение за машините от разглеждания клас.

Предимствата на въртящата се маса са свързани с възможностите за позициониране на детайла на произволен ъгъл, висока точност и участието в процеса на механична обработка.

Докато при другия вариант основните предимства са свързани с липсата на допълнително електрозадвижване, ниската цена и сравнително лесното управление от СЦПУ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящата статия са представени възможности за ъглово позициониране на детайла при фрезови машини с цифрово програмно управление.

Формулирани са изискванията, които се поставят към предложените варианти - с въртящата се маса и фиксиращ модул.

Разгледани са различни начини за управление на въртяща се маса и фиксиращия модул, както е и извършен сравнителен анализ на двата варианта за ъглово позициониране.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Михов М., М. Жилевски, Въвеждане на допълнителна регулируема координатна ос при клас металорежещи машини с цифрово-програмно управление, *Годишник на Технически университет - София*, т. 63, №. 2, 41-48, София, 2013, ISSN 1311-0829.
- [2] Михов М., М. Жилевски, Възможности за подобряване на показателите на позиционно електрозадвижване за фрезови машини, *Годишник на Технически университет - София*, т. 62, №. 2, 269-278, София, 2012, ISSN 1311-0829.
- [3] Bakshi, U. A., M. V. Bakshi, *Electrical Drives and Controls, First Edition*, Technical Publications Pune, 2009, ISBN 978-81-8431-643-8.
- [4] Жилевски, М., Многокоординатни системи за електрозадвижване на клас металорежещи машини, *Технически университет – София*, Дисертация, 2015.
- [5] Hoffman, P., J., E. S. Hopewell, B. Janes, K. M. Sharp, *Precision Machining Technology*, Cengage Learning, 2011, ISBN 9781435447677.
- [6] Mattson, M., *CNC Programming, Principle and Applications, Second Edition*, Cengage Learning, 2009, ISBN 978-1-4180-6099-2.
- [7] AMKASYN, Servo Drives KE/KW, *AMK Catalogue*, 2014.
- [8] DYNASYN, Servo Motors DT and DP, *AMK Catalogue*, 2014.
- [9] Жилевска, М., Автоматизирано управление на фиксиращ модул за фрезови машини, *Научни известия на ИТК по машиностроене*, №. 8, 109-112, 2016, ISSN 1310-3946.
- [10] Дочев М., М. Жилевска, Св. Тонкова, Модернизиране на металорежещи машини чрез въвеждане на автономно управление на позициониране на ножодържаща с фиксирани деления, *23 МНТК, София, АДП – 2014*, стр. 452-456.