

HİBRİDLİ ADDIM MÜHƏRRİKLƏRİNİN ELEKTROMEXANİKİ PARAMETRLƏRİNİN DİNAMİK XARAKTERİSTİKALARINA TƏSİRİNİN TƏDQIQI

HƏZƏRXANOV Ə.T., NEYMƏTOV V.A., HÜSEYNOV V.S.

Milli Aviasiya Akademiyası

Məqalədə müasir paralel strukturlu dinamik mexanizmlərin işçi orqanlarında geniş tətbiq edilən hibrid addım mühərriklərinin rotorunun ətalət momentinin, faza induktivliyinin və müqavimətinin dönmə bucağına, bucaq sürətinə və təcilinə görə keçid proseslərinə təsiri tədqiq edilmişdir. Bu məqsədlə mühərrikin diferensial tənliyi əsasında kompüter modeli qurulmuş, simulyasiyadan alınan nəticələr təhlil edilmişdir.

Açar sözlər: hibrid addım mühərriki, diferensial tənlik, ötürmə funksiyası, elektromexaniki parametrlər, keçid prosesləri.

Addım mühərrikinin (AdM) iş prinsipi onun vasitəsi ilə idarəetmə prosesini həyata keçirmək üçün daha çox açıq konturlu sistemlərin tətbiqinə uyğundur[5]. Bu zaman idarəetmənin əsas mahiyyəti tapşırılmış bucaq üzrə rotorun fırlanmasını təmin etməkdən ibarətdir. Addım hərəkəti kimi AdM-in stator-rotor qovşağının konstruksiyası ilə müəyyən edilən minimum mümkün olan bucaq yerdəyişməsi qəbul edilir. Hər idarəetmə impulsuna uyğun idarəetmə alqoritmləri qidalanmaya qoşulacaq fazanı, yaxud fazaları müəyyənləşdirir və rotor müəyyən bucaq altında yerdəyişməni icra edir. AdM-in idarə olunmasının bir neçə əsas üsulları var: 1. tam addımlı 2. yarımaddım və mikroaddım; 3. vektorlu idarəetmə üsulları [2].

Hibrid addım mühərrikləri (HAdM) yaranmazdan əvvəl tam addım rejimi AdM-in fazasını impuls gərginliyinə qoşmaqla onu bir addım qədər hərəkət etməsi üçün tətbiq edilirdisə, hal-hazırda tam addım idarəetmə rejimi daha çox HAdM iki dolağını eyni vaxtda impuls gərginliyinə qoşulması kimi tətbiq edilir. Prinsipial fərq yalnız HAdM-də elektromaqnit momentinin qiymətinin böyük olmasındadır (Şək. 1a,b). Daha doğrusu, müasir addımlı hərəkət sistemlərində tam addım rejimi ayırıcı idarəetmə rejimi kimi tətbiq edilmir [3].

Yarımaddımlı idarəetmə üsulu iki və çoxfazlı AdM üçün tətbiq edilə bilər. Bu üsulda mühərrikin bir neçə fazasına eyni zamanda impuls gərginliyi verilir. Əgər fazaların sayı iki olarsa, yarımaddım, ikidən çox olarsa mikroaddım rejimi formalaşır. Başqa sözlə, fazaların sayı artdıqca, bir tərəfdən addımın ölçüsü azalır, digər tərəfdən faza cərəyanlarının sayının artmasına görə elektromaqnit momentin qiyməti yüksəlir. (Şək 1c).

Məsələn, tam addımlı üsulda yaranan elektromaqnit moment :

$$M_{em} = 0.9C_T I ,$$

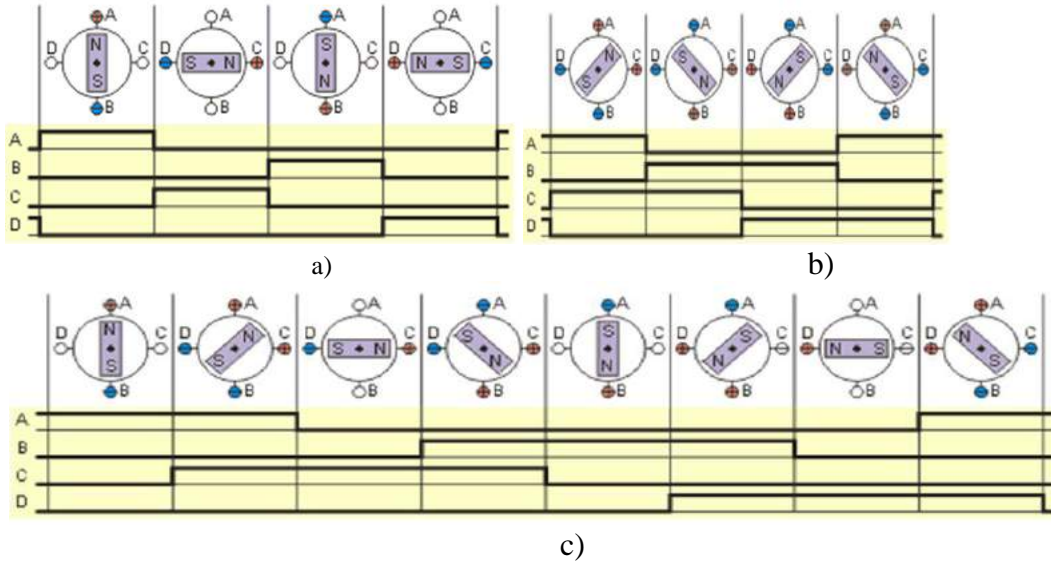
yarımaddım rejimində :

$$M_{em} = 1.17C_T I ,$$

mikroaddım rejimində isə :

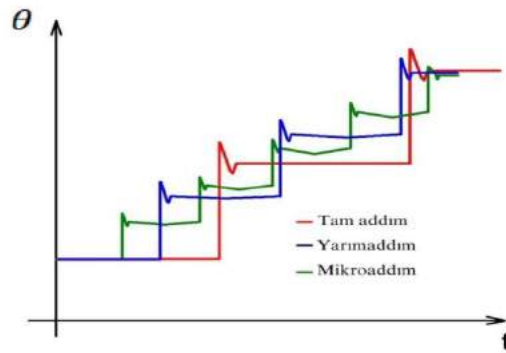
$$M_{em} = 0.99C_T I .$$

empirik ifadələri ilə müəyyən edilir [5].



Şək.1. AdM-in addımı idarəetmə üsulları.

a) birfazlı tam addımlı; b) ikifazlı tam addımlı c) yarımaddımlı idarəetmə rejimləri Göründüyü kimi, hər iki halda elektromaqnit momenti tam addımlı rejimə nəzərən artır, Baxmayaraq ki, mikroaddım rejimində elektromaqnit moment yarımaddımlı rejimə nəzərən bir qədər kiçikdir, bununla beləhərəkətin başlanğıc təkən miqdarı azalır, səlisləyi isə artır (Şək.2). İdarəetmənin mikroaddımlı rejimində fırlanma momenti tam addımlı rejimdə yaranan qiymətindən yüksəkdir. Bununla yanaşı fırlanma momentinin sabitliyi və işin səlisləyi təmin olunur [3,5].



Şək. 2. İdarəetmənin tam addımlı (full step), yarımaddımlı (half step) və mikroaddımlı (microstepping) rejimlərinin müqayisəli qrafiki.

Məsələnin qoyuluşu. Milli Aviasiya Akademiyasının (MAA) “Avionika” kafedrasında son zamanlar başlamış AdM-in idarəetmə məsələləri ilə bağlı elmi-eksperimental tədqiqatlar uğurla davam etməkdədir. Belə ki, bu tədqiqatların aparılmasını zəruri edən əsas amillər xətti addım mühərrikli hərəkət intiqallarına malik, paralel strukturlu heksapod tipli dinamik platformalar üzərində yığılması nəzərdə tutulan və pilot hazırlığında tətbiq ediləcək virtual trenajorların yaradılmasına həsr olunmuş elmi-yaradıcılıq layihəsi ilə bağlıdır.

Aparılmış tədqiqatlar nəticəsində virtual trenajorlarda tətbiq edilən AdM-in müxtəlif növlərinin analizi əsasında, onların texniki-istismar parametrlərinin müqayisəli təhlili, müxtəlif təyinatlı texniki və texnoloji maşınlarda tətbiq edilən, tranzistorlu idarəetmə sxeminə

malik AdM-lər üçün işədüsmə və tormozlanma proseslərinin tənzimlənməsi məsələlərinin nəzəri tədqiqatı aparılmış, kompüter modelləri qurulmuş və simulyasiyadan alınan nəticələr təhlil edilmişdir [1].

Tədqiqatların aparılması mərhələlərinin ardıcılığına uyğun olaraq, cari mərhələdə əhəmiyyətinə görə daha çox üstünlüyü olan HAdM-in məlum diferensial tənlikləri əsasında onun keçid proseslərinin müxtəlif parametrlərdən asılılığı tədqiq edilmişdir. Məqsəd, virtual trenajorların icra mexanizmləri olan HAdM-li xətti elektrik intiqalları bazasında əks əlaqəyə malik olan, koordinata görə izləyici sistemlərinin yaradılması zamanı məxsusi tezliyin, dinamik həssaslığın, rəqsliliyin və bu kimi parametrlərin dəyişməsi nəzərə alınmaqla, dayanıqlılığın təmin olunması məsələlərinin tədqiqi zamanı yüksüz iş rejimi ilə müəyyən edilən başlanğıc şərtlərin araşdırılmasıdır.

Məsələnin həlli. Beləliklə, HAdM-in diferensial tənliyi:

$$\frac{d^3\theta}{dt^3} + \left(\frac{r}{L_p} + \frac{D}{J} \right) \frac{d^2\theta}{dt^2} + \left(\frac{r}{L_p} \frac{D}{J} + \omega_p^2 (1 + k_p) \right) \frac{d\theta}{dt} + \frac{r\omega_p^2}{L_p} \theta = \frac{r\omega_p^2}{L_p}, \quad (1)$$

kimi, ÖF:

$$W(s) = \frac{(r/L_p)\omega_p^2}{s^3 + \left(\frac{r}{L_p} + \frac{D}{J} \right) s^2 + \left(\frac{r}{L_p} \frac{D}{J} + \omega_p^2 (1 + k_p) \right) s + \frac{r\omega_p^2}{L_p}}, \quad (2)$$

yaxud:

$$W(s) = \frac{1}{a_0 s^3 + a_1 s^2 + a_2 s + 1} \quad (3)$$

formasında götürülmüş, harada ki, xarakteristik tənliyin əmsalları:

$$a_0 = \frac{L_p}{r\omega_p^2}; \quad a_1 = \frac{1}{\omega_p^2} + \frac{DL_p}{Jr\omega_p^2}; \quad a_2 = \frac{D}{J\omega_p^2} + \frac{L_p}{r} (1 + k_p),$$

HAdM-in baxılan iş rejimində məxsusi bucaq tezliyi (rad/san)

$$\omega_p = \sqrt{\frac{2p^2 \Phi_M n I_0 \cos\left(\frac{p\lambda}{2}\right)}{J}} \quad (4)$$

və nəhayət, K_p əmsalı isə:

$$K_p = \frac{n\Phi_M \sin^2\left(\frac{p\lambda}{2}\right)}{L_p I_0 \cos\left(\frac{p\lambda}{2}\right)} \quad (5)$$

ifadələri ilə müəyyən olunur [5].

Bu ifadələrdə $L_p = L - M$; L -AdM-in induktivliyi (Hn); M -qarşılıqlı induktivliyi (Hn); r -AdM-in daxili müqaviməti (Om); D -özüllü sürtünmə əmsalı ($Nmsanrad$); J -ətalət momenti (kqm^2); K_p -AdM-in konstruktiv əmsalı; p - cüt qütblər sayı; Φ_M -maqnit selinin amplitud qiyməti (Vb); n -sarğılar sayı; I_0 -yüksüz işləmə cərəyanı (A); λ -diş addımıdır. (rad).

(1) diferensial tənliyini MATLABSimulink proqram mühitində modelləşdirmək üçün onu:

$$\frac{d^3\theta}{dt^3} = \frac{r\omega_p^2}{L_p} - \left(\left(\frac{r}{L_p} + \frac{D}{J} \right) \frac{d^2\theta}{dt^2} + \left(\frac{r}{L_p} \frac{D}{J} + \omega_p^2 (1 + k_p) \right) \frac{d\theta}{dt} + \frac{r\omega_p^2}{L_p} \theta \right) \quad (6)$$

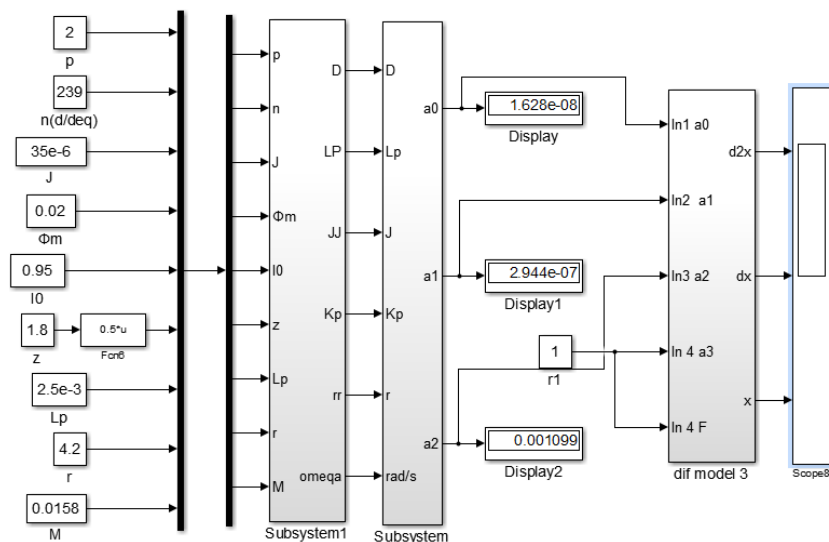
yazmaq daha da məqsədəuyğundur.

Şək. 3-də (6) diferensial tənliyi, həmçinin, onun əmsallarını müəyyən edən (4) və (5) ifadələri əsasında HAdM-in kompüter modeli qurulmuşdur. Nümunə kimi götürülmüş və HAdM-in müasir konstruktiv variantlarından biri olan FL42STHT addım mühərrikinin texniki göstəriciləri cədvəldə verilmişdir[6].

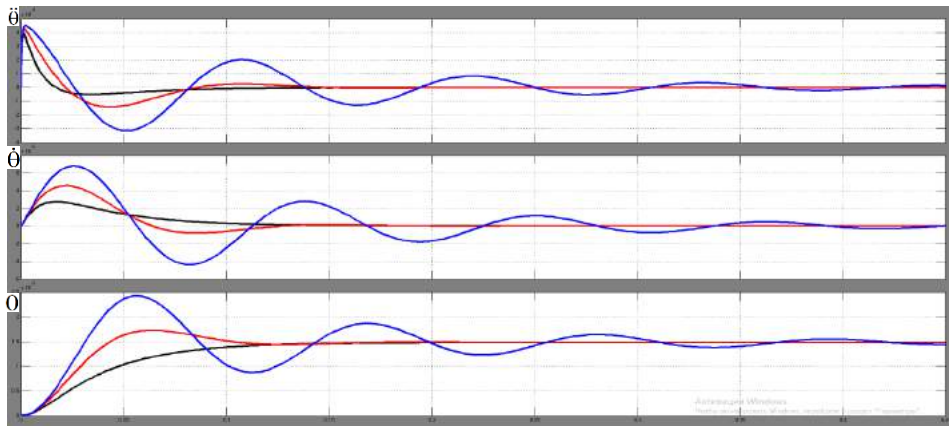
FL42STHT addım mühərrikinin texniki göstəriciləri

Model	Qidalanma gərginliyi	Faza cərəyanı	Faza müqaviməti	Faza induktivliyi	Burucu moment	Çıxıntılarının sayı	Rotorun ətalət momenti	Çəkisi	Uzunluğu
	V	A	Om	mHn	qsm	-	q- kv.sm	kq	mm
FL42STH33S-0956A	4.0	0.95	4.2	2.5	1580	6	35	0.2	34

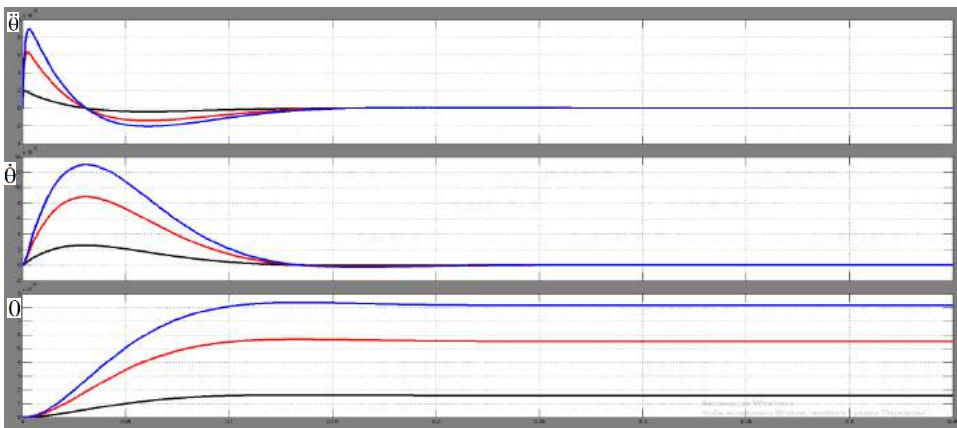
Simulyasiyanın yerinə yetirilməsindən alınan keçid prosesləri Şək. 4-6 da göstərilmişdir. Qrafiklərdə $\theta, \dot{\theta}, \ddot{\theta}$ - uyğun olaraq, HAdM-in dönmə bucağı, bucaq sürəti və bucaq təcilidir.



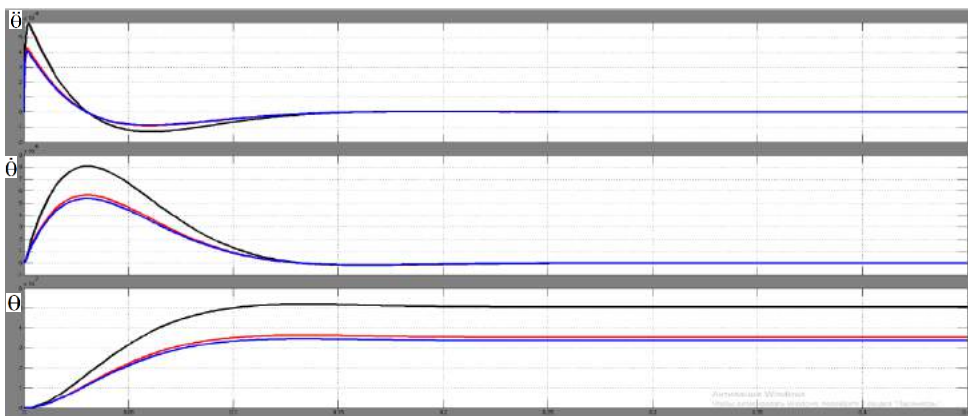
Şək.3. HAdM-in MATLABSimulink proqram mühitində qurulmuş kompüter modeli.



Şək.4. HAdM-in rotorunun ətalət momentinin keçid proseslərinə təsiri $J=[0.05e-4 \ 0.12e-4 \ 0.42e-4]$



Şək.5. HAdM-in faza induktivliyinin keçid proseslərinə təsiri $L=[2.4e-3 \ 5.4e-3 \ 7.4e-3]$.



Şək.6. HAdM-in faza müqavimətinin keçid proseslərinə təsiri $r=[4 \ 5.7 \ 6]$.

Tipik elektromexaniki parametrlər olan rotorun ətalət momentinin (Şək.4), faza induktivliyinin (Şək.5) və faza müqavimətinin (Şək.6) dəyişməsinin keçid proseslərinə təsiri tədqiq edilmiş və müvafiq nəticələr əldə edilmişdir.

NƏTİCƏ:

HAдM-in rotorunun ətalət momentinin dəyişməsi keçid proseslərinin xarakterinə və davam etmə müddətinə təsir etdiyi halda faza induktivliyinin və müqavimətinin dəyişməsi yalnız maksimal qiymətlərinə təsir edir.

1. *Həzərخانов Ә.Т., Hüseynov V.S.* Addım mühərrikinin işəqoşulma prosesinin kompüter modelinin qurulması. Milli Aviasiya Akademiyasının elmi əsərləri. Bakı-2018. №2, səh 28-35.
2. *Hüseynov.V.S.* Addım mühərriklərinin müxtəlif təsnifat əlamətlərinə görə elmi-praktiki cəhətdən müqayisəli təhlili. МАА, Elmi məcmuələr. Bakı-2018.№4, səh 19-24.
3. *Емельянов А. В., Шилин А. Н.* Шаговые двигатели: учеб.пособие/ А. В. Емельянов, А. Н. Шилин/ ВолгГТУ. – Волгоград, 2005. – 48 с. ISBN № 5-230-04591-4.
4. Теория управления шаговыми двигателями. <https://electroprivod.ru/theory.htm>
5. *Кенио Т.* «Шаговые двигатели и их микропроцессорные системы управления» /Т. Кенио.–М.: Энергоатомиздат, 1987.–200с.
6. <https://stepmotor.ru/elektrodvigateли/shag/fl42stht>.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЙ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ГИБРИДНОГО ШАГОВОГО ДВИГАТЕЛЯ НА ЕГО ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

ГАЗАРХАНОВ Э.Т., НЕЙМАТОВ В.А., ГУСЕЙНОВ В.С.

В статье исследовано влияния момента инерции ротора, индуктивности и сопротивления фазы статора на переходные процессы угла поворота, угловой скорости и ускорения гибридного шагового двигателя, широко применяемого в рабочих органах современных динамических механизмов с параллельной структурой. С этой целью составлена компьютерная модель на основе дифференциального уравнения шагового двигателя и на основе полученных результатов от симуляции сделаны соответствующие выводы.

Ключевые слова: гибридный шаговый двигатель, дифференциальное уравнение, передаточная функция, электромеханические параметры, переходные процессы.

RESEARCH OF EFFECTS OF ELECTROMECHANICAL PARAMETERS OF A HYBRID STEP ENGINE ON ITS DYNAMIC CHARACTERISTICS

HAZARKHANOV A.T., NEYMATOV V.A., HUSEYNOV V.S.

The article deals with effect of the rotor inertia moment, inductance and stator phase resistance on the transitions of the angle of rotation, angular velocity and acceleration of the hybrid stepper motor, widely used in the working parts of modern dynamic mechanisms with parallel structure. For this purpose, a computer model was compiled based on the differential equation of a stepper motor and on basis of obtained results from the simulation corresponding conclusions were analysed.

Keywords: hybrid stepper motor, differential equation, transfer function, electromechanical parameters, transition process.