UOT 621.313

ALÇAQ MEXANİKİ TEZLİKLİ ÜÇFAZLI VİBRASİYA QURĞUSUNUN DARTI QÜVVƏSİNİN TƏYİNİ

MƏMMƏDOV F.İ., HÜSEYNOV R.A., YUSİFOV R.Ə.

Sumqayıt Dövlət Universiteti

Üçfazlı vibrasiya qurğusunun dartı qüvvəsinin ifadəsi yazılır, ifadəyə daxil olan induktivliklərin qiyməti analitik yolla tapılır, induktivliyin hava məsafəsinin qiymətindən asılılığı üçün alınmış əyri apraksimasiya olunur və nəticədə təcrübə qoyularaq qurğunun dartı qüvvəsinin ifadəsinin forması müəyyənləşdirilir.

Sənayedə istifadə olunan vibrasiya qurğuları çox geniş güc diapazonuna, olduqca müxtəlif konstruksiya və məqsədə, müxtəlif təsirlənmə metod və vasitələrinə malikdirlər və bu da onların xalq təsərrüfatının bir çox sahələrində tətbiq olunması ilə əlaqədardır. Nəqliyyat, istiqamətləndirmə, qarışdırma, yerləşdirmə, sürətləndirmə və s. kimi texnoloji prosesləri təmin edən vasitələr və qurğular içərisində güc elementi kimi tətbiq olunan vibrasiya qurğuları mühüm yer tutur. Belə qurğular, yuxarıda da qeyd olunduğu kimi güc elementi kimi tətbiq olunurlar və onların dartı qüvvəsini, dartı qüvvəsinin təşkiledicilərini təyin etmək vacib məsələdir [1].

Üçfazlı vibrotəsirləndirici qurğunun dartı qüvvəsini təyin etmək üçün birinci növbədə fazaların induktivliklərini təyin etmək lazımdır. Məlum olduğu kimi üçfazlı vibrasiya qurğusunda elektromaqnitin dartı qüvvəsi aşağıdakı kimi ifadə olunur [2]:

$$F = \frac{1}{2}\left|\frac{d}{d\delta}\left(L_A i_A^2 + L_B i_B^2 + L_C i_C^2\right)\right| \tag{1}$$

Burada dövrə simmetrik olduğu üçün

$$i_B = a^2 i_A,\ i_B^2 = a^4 i_A^2,\ i_C = a i_A,\ i_C^2 = a^2 i_C^2 \tag{2}$$

kimi yazmaq olar. Burada $a = -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2};\ a^2 = -\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}$.

(2) ifadəsini (1)-də nəzərə alsaq və bir qədər çevirmə aparmış olsaq,

$$F = \frac{1}{2}\left|\left(1 + a^2 + a^4\right)\left[i_A^2 \frac{dL_A}{d\delta} + 2 i_A \cdot L_A \frac{di_A}{d\delta}\right]\right| \tag{3}$$

olduğunu alarıq. Burada

$$\frac{di_A}{d\delta} = \frac{di_A}{dL_A} \cdot \frac{dL_A}{d\delta} \tag{4}$$

çevirməsini aparıb və (3)-də nəzərə alsaq

$$F = \frac{1}{2}\left|\left(1 + a^2 + a^4\right)\left[i_A^2 + 2 i_A \cdot L_A \frac{di_A}{dL_A}\right]\frac{dL_A}{d\delta}\right| \tag{5}$$

alarıq. Qeyd etmək lazımdır ki, vibrotəsirləndirici qurğunun A fazasından axan cərəyan

$$i_A = \frac{U_m \sin\left(\omega t + \varphi_A\right)}{\sqrt{r^2 + \left(\omega L_A - \frac{1}{\omega C}\right)}} \tag{6}$$

kimi ifadə olunur. Bu ifadəni (5)-də yerinə yazıb diferensiallama və çevirmə əməliyyatı apardıqdan sonra aşağıdakı ifadəni alarıq:

$$F=\frac{U_m^2}{4}\left|\frac{1+a^2+a^4}{r^2+\left(\omega L_A-\frac{1}{\omega C}\right)^2}\left[\begin{array}{l}\sin^2(\omega t+\varphi_A)-\\ -\omega L_A\dfrac{2r\cos(\omega t+\varphi_A)+\left(\omega L_A-\frac{1}{\omega C}\right)\sin(\omega t+\varphi_A)}{r^2+\left(\omega L-\frac{1}{\omega C}\right)^2}\end{array}\right]\cdot\frac{dL_A}{d\delta}\right|. \tag{7}$$

Sonuncu ifadəyə triqonometrik toplama qaydasını tətbiq etmiş olsaq:

$$F=\frac{U_m^2}{2}\left|\frac{1+a^2+a^4}{\left(r^2+\left(\omega L_A-\frac{1}{\omega C}\right)^2\right)}\left[\frac{1}{2}-\frac{1}{2}\cos(2\omega t-2\varphi_A)-\omega L_A\times\right.\right.$$
$$\left.\left.\times\frac{\sqrt{4r^2+\left(\omega L_A-\frac{1}{\omega C}\right)^2}}{r^2+\left(\omega L_A-\frac{1}{\omega C}\right)^2}\cdot\sin(\omega t+\varphi-\psi)\right]\frac{dL_A}{d\delta}\right| \tag{8}$$

alınar. Burada $\psi=arctg\dfrac{2r}{\omega L_A-\frac{1}{\omega C}}$. (8) ifadəsində sadələşdirmə aparsaq:

$$F=\frac{U_m^2}{4}\left|\frac{1+a^2+a^4}{r^2+b^2}\left[1-\cos(2\omega t+2\varphi_A)-\frac{\omega L_A\sqrt{4r^2+b^2}}{r^2+b^2}\cdot\sin(\omega t+\varphi_A-\psi)\right]\frac{dL_A}{d\delta}\right| \tag{9}$$

yaza bilərik. Burada $b=\omega L_A-\dfrac{1}{\omega C}$.

(9) ifadəsinə daxil olan $\dfrac{dL_A}{d\delta}$ cərəyanın qeyri sinusoidallığını yaradır və onun hər bir harmonikasına qüvvənin iki harmonikası uyğun gəlir. Bu səbəbdən hər bir harmonikaya uyğun gələn qüvvə ayrılıqda tapılır və nəticəvi qüvvə kimi onların cəmi götürülür. *b* ifadəsinə daxil olan induktivlik hava məsafəsindən asılı olaraq

$$L_A=\frac{K_{hA}}{1+K_1\delta} \tag{10}$$

kimi yazılır. Burada

$$K_1=\frac{3\mu}{3h+2d};\ \mathrm{K_{hA}}=\frac{\omega^2\mu\mu_0 a_1 b_1}{3h+2d};$$

a_1, b_1, h və d - nüvənin həndəsi ölçüləridir.

Şəkil 1-dən göründüyü kimi (10) ifadəsi əsasında qurulmuş $L_A=f(\delta)$ əyrisi qeyri-xəttidir. Bu səbəbdən $L_A=f(\delta)$-nın yuxarıda göstərilən ifadəsi analitik tədqiqat zamanı mürəkkəblik yaradır. Gələcək tədqiqat işlərinin nisbətən sadələşdirilməsi üçün qurulmuş əyrilərin işçi zonada daha sadə polinomla ifadə olunması lazım gəlir. Bu məqsədlə əyri qurulduqdan sonra onu aşağıda göstərilən polinomla apraksimasiya edirik:

$$L_A=m_0+m_1\delta+m_3\delta^2+m_6\delta^3. \tag{11}$$

Burada m_0, m_1, m_3, m_6 - apraksimasiya əmsallarıdır.

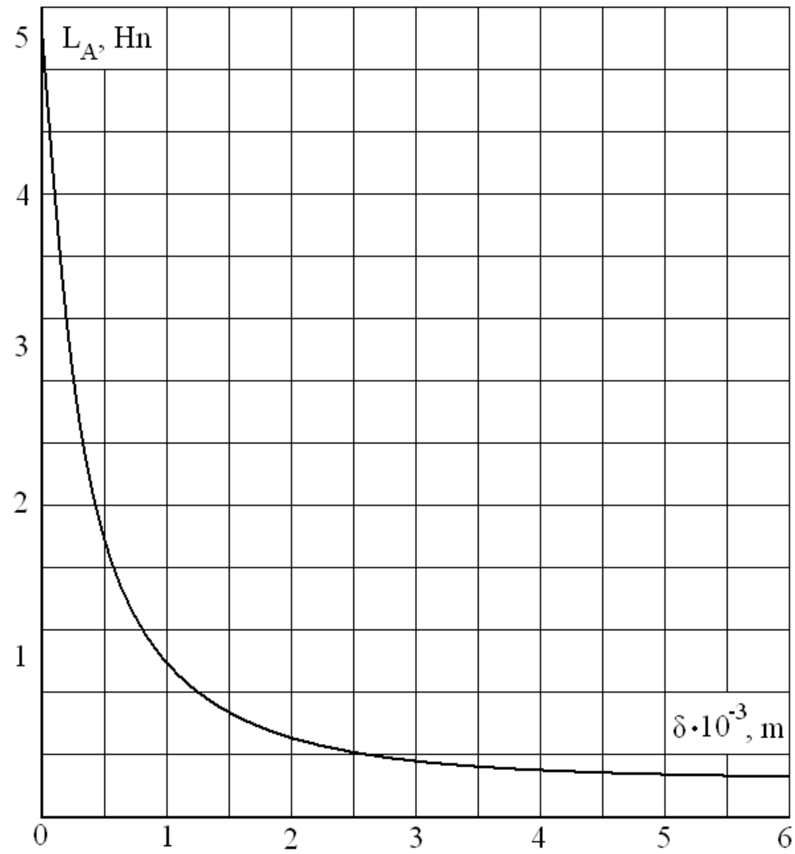
(11) ifadəsini δ-ya görə diferensiallamış olsaq

$$\frac{dL_A}{d\delta}=m_1+2m_3\delta+3m_6\delta^2 \tag{12}$$

olduğunu alarıq. Burada qəbul edirik ki, δ-nın zamandan asılı dəyişməsi sabit təşkiledici və 2 harmonikanın cəmi şəklindədir, yəni:

$$\delta = \delta_0 + \delta_{1m} \sin \Omega t + \delta_{2m} \sin 2\Omega t\,. \tag{13}$$

Burada Ω-mexaniki rəqslərin tezliyidir.



Şək. 1.

(11) və (13) ifadələrində bunu nəzərə alsaq:

$$\begin{aligned} L_A = m_0 + m_1\left(\delta_0 + \delta_{1m}\sin\Omega t + \delta_{2m}\sin 2\Omega t\right) + m_3\left(\delta_0 + \delta_{1m}\sin\Omega t + \delta_{2m}\sin 2\Omega t\right)^2 + \\ + m_6\left(\delta_0 + \delta_{1m}\sin\Omega t + \delta_{2m}\sin 2\Omega t\right)^3, \end{aligned} \tag{14}$$

eyni qayda ilə

$$\frac{dL_A}{d\delta} = m_1 + 2m_3(\delta_0 + \delta_{1m}\sin\Omega t + \delta_{2m}\sin 2\Omega t) + 3m_6\left(\delta_0 + \sin\Omega t + \delta_{2m}\sin 2\Omega t\right)^2 \tag{15}$$

burada δ_0-vibrasiya qurğusunun hava məsafəsinin başlanğıc qiymətidir.

Aparılan sadələşdirmədən və qruplaşdırmadan sonra

$$L_A = m_0 + \left(\frac{3}{2}m_6\delta_0 - \frac{m_3}{2}\right)\left(\delta_{1m}^2 + \delta_{2m}^2\right) + m_1\delta_0 + m_3\delta_0^2 + m_6\delta_0^3 +$$

$$+\left[m_1\delta_{1m} + 2m_3\delta_0\delta_{1m} + m_6(3\delta_0^2\delta_{1m} + \frac{\delta_{1m}^2}{4} + \frac{\delta_{1m}\delta_{2m}^2}{2} + \delta_{2m}^3\right]\sin\Omega t -$$

$$-\left[\delta_{1m}\delta_{2m}\left(m_3 + 3\delta_0 m_6\right)\right]\cos\Omega t + \left[\left(\delta_{1m}\delta_{2m}(\delta_0 - \delta_{2m}\right) - \frac{3}{2}\delta_0\delta_{2m}^2)m_6 - \frac{\delta_{1m}^2}{2}m_3\right]\cos 2\Omega t +$$

$$+\left[-\delta_{1m}m_1 + \left(\delta_0^2\delta_{1m} - \frac{3}{2}\delta_{1m}^2\delta_{2m} + \delta_{2m}^3 m_6\right)\right]\sin 2\Omega t +$$

$$+\left[m_3\delta_{1m}\delta_{2m}-m_6\left(\frac{1}{2}\delta_{1m}\delta_{2m}^2+\frac{\delta_{1m}^3}{2}\right)\right]\sin 3\Omega t+$$

$$+2\delta_0\delta_{1m}\delta_{2m}m_6\cos 3\Omega t-m_6\frac{\delta_{1m}^2}{2}\left(\frac{\delta_{1m}}{2}+\delta_{2m}\right)\cdot\sin 4\Omega t-\frac{\delta_{2m}^3}{2}m_6\cos 4\Omega t- \tag{16}$$

$$-m_6\frac{\delta_{1m}\delta_{2m}^2}{2}\sin 5\Omega t+m_6\delta_{1m}\delta_{2m}^2\cos 5\Omega t-\frac{\delta_{2m}^3}{2}m_6\cos 6\Omega t$$

alarıq.

Eyni qayda ilə (15) ifadəsində çevirmə aparmış olsaq aşağıdakı eyniliyi alarıq:

$$\frac{dL_A}{d\delta}=m_1+2m_3\delta_0+3m_6\delta_0^2+\frac{\delta_{1m}^2+\delta_{2m}^2}{2}m_6+2\delta_{1m}(m_3+3m_6\delta_0)\sin\Omega t-$$

$$-6m_6\delta_{1m}(\delta_0+\delta_{2m})\cos\Omega t+2m_3\delta_{2m}\sin 2\Omega t-\frac{\delta_{1m}^2}{2}m_6\cos 2\Omega t+ \tag{17}$$

$$+6m_6\delta_{1m}(\delta_0+\delta_{2m})\cos 3\Omega t-\frac{\delta_m^2}{2}\cos 4\Omega t.$$

(16) və (17) ifadələrində əvəzləmə aparmış olsaq,

$$\begin{aligned}\mathrm{L_A}&=A_0+A\sin\Omega t+A_2\cos\Omega t+A_3\sin 2\Omega t+A_4\cos 2\Omega t+A_5\sin 3\Omega t+\\&+A_6\cos 3\Omega t-A_7\sin 4\Omega t-A_8\cos 4\Omega t-A_9\sin 5\Omega t+A_{10}\cos 5\Omega t+A_{11}\cos 6\Omega t\end{aligned} \tag{18}$$

$$\begin{aligned}\frac{dL_A}{dt}&=B_0+B_1\sin\Omega t-B_2\cos\Omega t+B_3\sin 2\Omega t-B_4\cos 2\Omega t+\\&+B_5\cos 3\Omega t-B_6\cos 4\Omega t\end{aligned} \tag{19}$$

olar. Burada $A_0, A_1, A_2, A_3, A_4, A_5, A_6, A_7, A_8, A_9, A_{10}, A_{11}-(16)$ ifadəsinə daxil olan sabit əmsallar, $B_0, B_1, B_2, B_3, B_4, B_5, B_6-(17)$ ifadəsinə daxil olan sabit əmsallardır.

(18) və (19) ifadələrini (9)-da nəzərə alıb, çevirmə əməliyyatı aparmış olsaq, görərik ki, şəbəkənin tezliyi ω ilə modulyasiya olunan mexaniki rəqslər əks rabitə dövrəsi ilə birlikdə avtorəqs yaradır və bu rəqslərin modulyasiyasının tezliyi mexaniki sistemin tezliyinə yaxın və ya ona bərabər olduqda alçaq tezlikli mexaniki rəqs əmələ gəlir. Bu məqsədlə modulyasiya prosesində iştirak edən harmonikaları analiz etmək lazım gəlir.

Analiz zamanı məlum olmuşdur ki, L_A induktivliyi dartı qüvvəsinin ifadəsinin dəyişməsinə daha az səbəb olur. Bundan başqa $\frac{1}{r^2+b^2}\cdot\frac{dL_A}{d\delta}$ ifadəsi demək olar ki, modulyasiyada iştirak etmir. Bu hissə həmişə mexaniki tezliyə bərabər tezliklə dəyişir. Beləliklə, hər bir rəqsi qurğu süzgəc rolunu oynayır. Onlar ancaq özünün məxsusi tezliyinə yaxın olan tezlikli harmonikaları öz dövrəsindən buraxır. Yaradılmış qurğunun rəqs tezliyi aşağı tezlik - $(12\div 20)\,Hs$ olduğu üçün o, $2\omega(2\omega+\Omega)$, $2(\omega+\Omega)$, $(2\omega+3\Omega)$, $2(\omega+2\Omega)$, $\omega_1(\omega+\Omega)$, $(\omega+2\Omega)$, $(\omega+3\Omega)$, $(\omega+4\Omega)$, $(\omega+5\Omega)$, $(\omega+6\Omega)$ tezlikli harmonikalar söndürülür. Qurğunun dövrəsində yaranan dartı qüvvəsi $(2\omega-\Omega)$, $(2\omega-2\Omega)$, $(2\omega-3\Omega)$, $2(\omega-2\Omega)$, $(\omega-\Omega)$, $(\omega-2\Omega)$, $(\omega-3\Omega)$, $(\omega-4\Omega)$, $(\omega-5\Omega)$, $(\omega-6\Omega)$ tezliyi ilə dəyişən harmonikalar tərəfindən yaradılır.

Tədqiq olunan üçfazlı qurğunun elastiki sisteminin rəqslərinin dəyişmə tezliyini araşdırmaq üçün təcrübə qoyulur. Bu təcrübədə induktiv vericidən istifadə edilir və bu vericinin çıxışı osilloqrafa qoşulur və onun ekranında sinusoidaya yaxın əyri alındığı müşahidə olunur.

Təcrübələrdən alınan nəticələrə görə qurğunun mexaniki dartı qüvvəsini aşağıdakı kimi yazmaq olar.

$$F=F_m\sin\frac{k\omega}{n+1}\cdot t$$

Burada $k = 2, 6, 10 -$ qüvvə üçün alınmış ifadədə təmiz elektriki tezlikli harmonikaların şəbəkə tezliyindən neçə dəfə böyük olduğunu göstərən əmsallar; $n = 1 \div 5$ -elektromaqnitin dartı qüvvəsinin tezliyi mexaniki tezliyə bərabər harmonikasının nömrəsidir. Həmin nömrə texniki tapşırığa görə verilmiş Ω tezliyinə əsasən $n = \dfrac{k\omega - \Omega}{\Omega}$ kimi tapılır. F_m-ekvivalent dartı qüvvəsinin amplitudası olub aşağıdakı kimi tapılır:

$$F_m = \frac{U_m^2}{24} \cdot \frac{1 + a^2 + a^4}{2r^2 + b^2} \cdot \sqrt{\sum_{n=1}^{6} D_n^2 + b_1^2 + b_2^2 + b_3^2 + a_1^2 + a_2^2 + a_3^2}$$

Burada,

$$b_1 = \frac{1}{2}\sqrt{B_1^2 + B_2^2}; b_2 = \frac{1}{2}\sqrt{B_3^2 + B_4^2}; b_3 = \frac{1}{2}\sqrt{B_4^2 + B_5^2};$$

$$a_1 = \frac{K}{2}\sqrt{A_1^2 + A_2^2}; a_2 = \frac{K_1}{2}\sqrt{A_3^2 + A_4^2}; a_3 = \frac{K_1}{2} A_5.$$

Qüvvənin alınmış ifadəsi qurğunun bütün parametrlərini özündə əks etdirir və onun çıxış xarakteristikalarını təyin etməyə imkan verir.

---

1. *Магнус К.* Колебания: Введение в исследование колебательных систем. Пер.с нем. М.: «Мир» 1982. -304 с.
2. *Бабичев А.П.* Основы вибрационной технологии. Ч.2. Технология вибрационной обработки. М.: 1994. -88 с.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЯГОВОЙ СИЛЫ ТРЕХФАЗНОГО ВИБРАЦИОННОГО УСТРОЙСТВА С НИЗКОЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ ЧАСТОТОЙ

МАМЕДОВ Ф.И., ГУСЕЙНОВ Р.А., ЮСИФОВ Р.А.

Приводится теоретическое соотношение тяговой силы трехфазного вибрационного устройства, аналитическим способом определяются величины индуктивностей, входящих в приведенное соотношение, кривая, полученная для зависимости индуктивности от величины воздушного зазора, аппроксимируется и в результате опытным путем определяется форма теоретического соотношения тяговой силы устройства.

DEFINITION TRACTION FORCES OF THE THREE-PHASE VIBRATING DEVICE WITH LOW MECHANICAL FREQUENCY

MAMMADOV F.I., HUSEYNOV R.A., YUSIFOV R.A.

The theoretical parity of traction force of the three-phase vibrating device is resulted, the analytical way defines sizes of the inductance, included in the resulted parity, the curve received for dependence of inductance from size of an air backlash, approximation and as a result is by practical consideration defined the form of a theoretical parity of traction force of the device.