

Մ.Ք. ԲԱՂԴԱՍԱՐՅԱՆ, Ա.Թ. ՈՒԼԻԿՅԱՆ, Ս.Վ. ՍԱՐԳՍՅԱՆ
ՄԻՆԽՐՈՆ ԷԼԵԿՏՐԱԲԱՆԵՑՄԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ ՄԵԽԱՆԻԿԱԿԱՆ
ՄԱՍԻ ՀԵՏԱԶՈՏՄԱՆ ՄՈԴԵԼ

Մշակվել է սինխրոն էլեկտրաբանեցման համակարգի մեխանիկական մասի աշխատանքային վիճակի հետազոտման մոդել: Համակարգի շարժահաղորդման օղակի կապի կոշտության տարբեր արժեքների դեպքում համակարգի բնութագրերի փոփոխության հետազոտումը իրականացվել է MATLAB ծրագրային փաթեթի Simulink միջավայրում: Հետազոտությունների կատարման համար ստացվել են փոխանցման ֆունկցիաներ՝ որպես էլքային մեծություն ընդունելով առաձգական տարրի բեռի մոմենտը: Ստացված մոդելը հաջողությամբ կարող է օգտագործվել տարատեսակ սինխրոն էլեկտրաբանեցման համակարգերի մեխանիկական մասում վտանգավոր հասունացող վթարային ռեժիմների բացահայտման նպատակով:

Առաջացրել է: էլեկտրաբանեցում, կապի կոշտություն, մեխանիկական մաս, իմիտացիոն մոդել, կայունություն:

Ներածություն: Արդյունաբերության տարբեր ոլորտներում մեծ տարածում են ստացել սինխրոն էլեկտրաբանեցման համակարգերը: Այդ համակարգերը առավելապես աշխատում են փոփոխվող բեռի ներքո, ինչը զգալի ազդեցություն է ունենում համակարգը կազմող տարրերի աշխատունակության վրա: Տեխնոլոգիական գործընթացների աշխատանքն ապահովող էլեկտրաբանեցման համակարգերի անցումային ռեժիմներում առաջանում են տատանողական երևույթներ: Վերջինիս արդյունքում էլեկտրաբանեցման համակարգը կազմող առանձին օղակներ կարող են գերբեռնվել՝ առաջացնելով տեխնոլոգիական մեխանիզմ – էլեկտրաբանեցման շարժիչ կապի կոշտության փոփոխմանը: Արդյունքում՝ ժամանակի ընթացքում համակարգի առաձգական օղակները կարող են դեֆորմացվել, մաշվել կամ ջարդվել և աշխատելով վթարային ռեժիմում՝ շարքից դուրս գալ: Համակարգի վաղաժամ վնասումից խուսափելու համար անհրաժեշտություն է առաջանում ժամանակին հայտնաբերել առաձգական օղակների մաշվածությունը, ինչը պահանջում է մեխանիկական մասի բնութագրերի հետազոտման մոդելի մշակում: Հայտնի են սինխրոն էլեկտրաբանեցման համակարգի մեխանիկական մասի բնութագրերի հետազոտմանը նվիրված տարբեր աշխատություններ [1-6]: Այդ աշխատություններում համակարգի դինամիկական բնութագրող հավասարումներում ինչպես բեռի մոմենտը, այնպես էլ շարժիչի մոմենտը ընդունվել են հաս-

տատուն, ինչը հնարավորություն չի տալիս ամբողջական պատկերացում կազմել մեխանիկական մասի աշխատանքային վիճակի վերաբերյալ:

Աշխատանքի նպատակն է մշակել սինխրոն էլեկտրաբանեցման համակարգի մեխանիկական մասի համակողմանի հետազոտման իմիտացիոն մոդել՝ տեխնոլոգիական բեռի և շարժիչի մոմենտների հաշվառումով:

Մոդելի մշակումը: Սինխրոն էլեկտրաբանեցման համակարգի մեխանիկական մասի հետազոտման մոդելի մշակման համար օգտագործվել է երկգանգված մեխանիկական համակարգի շարժման հավասարումների համակարգը [7]:

$$\begin{cases} J_1 \frac{d\omega_1}{dt} - M_{12} = -M_c, \\ J_2 \frac{d\omega_2}{dt} + M_{12} = M_{D\sin}, \\ \frac{dM_{12}}{dt} = c_1 (\omega_2 - \omega_1), \end{cases} \quad (1)$$

որտեղ J_1 -ը, J_2 -ը համապատասխանաբար տեխնոլոգիական մեխանիզմի և սինխրոն շարժիչի ռոտորի իներցիայի մոմենտներն են, c_1 - ը՝ մեխանիզմի և էլեկտրաշարժիչի միջև շարժահողորդման օղակի կոշտությունը, ω_1 -ը, ω_2 -ը՝ մեխանիզմի և շարժիչի պտտման արագությունները, M_c -ն՝ տեխնոլոգիական բեռի դիմադրող մոմենտը, M_{12} -ը՝ առաձգական տարրի բեռի մոմենտը, $M_{D\sin}$ - ը՝ սինխրոն շարժիչի մոմենտը, որը որոշվում է հետևյալ կերպ [8]՝

$$M_{D\sin} = \left(\beta + \frac{b}{p} \right) (\omega_o - \omega_2):$$

Օգտագործվել են հետևյալ նշանակումները [8]՝

$$s = \frac{d}{dt}, \quad \beta = \frac{2M_k}{s_k \omega_o} = \frac{2M_k}{T_g}, \quad b = \frac{M_{DN}}{\theta_N},$$

որտեղ β -ն շարժիչի բնութագրի կոշտությունն է, ω_o - ն՝ շարժիչի սինխրոն արագությունը, s_k -ն՝ շարժիչի սահքի կրիտիկական արժեքը, M_k -ն՝ շարժիչի կրիտիկական մոմենտը, M_{DN} -ը՝ սինխրոն շարժիչի անվանական էլեկտրամագնիսական մոմենտը, θ_N -ը՝ շարժիչի անվանական ներքին անկյունը:

(1) հավասարումների համակարգը ձևափոխելով՝ ստանում ենք,

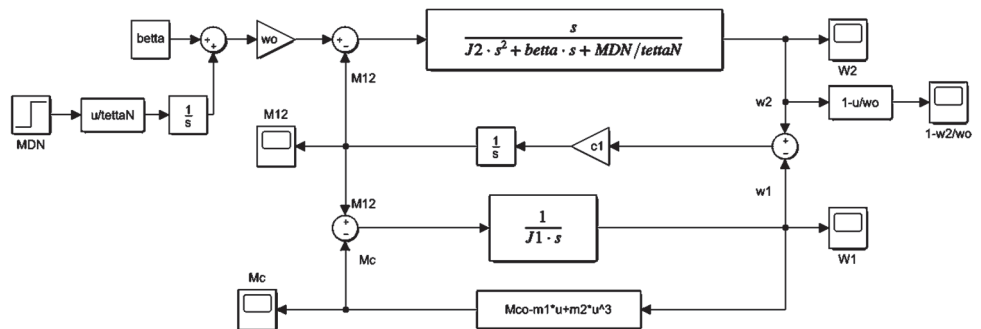
$$\begin{cases} \omega_1 = \frac{1}{J_1 s} (M_{12} - M_c), \\ \omega_2 = \frac{s}{J_2 s^2 + \beta s + b} \left(\left(\beta = \frac{b}{s} \right) \omega_1 - M_{12} \right): \end{cases} \quad (2)$$

Տեխնոլոգիական բեռի մոմենտի որոշման համար օգտագործվել է հետևյալ արտահայտությունը՝

$$M_c = M_{co} - m_1 \omega_1 + m_2 (\omega_1)^3, \quad (3)$$

որտեղ M_{co} -ն բեռի մոմենտի սկզբնական արժեքն է. m_1 - ը և m_2 - ը՝ գործակիցներ, որոնք կախված են աշխատանքային պայմաններից:

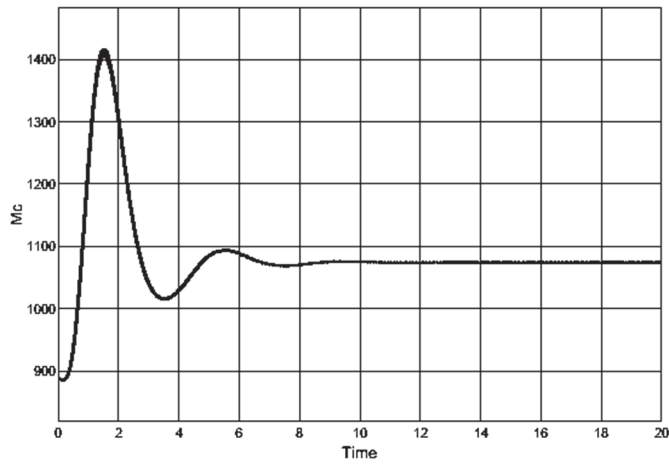
Համակարգի մեխանիկական մասի շարժահաղորդման օղակների աշխատանքի հետազոտումը իրականացվել է MatLab ծրագրային փաթեթի Simulink միջավայրում [9,10]: Նկ. 1-ում ներկայացվել է հետազոտման մոդելը:



Նկ. 1. Մինիսրոն էլեկտրաբանեցման համակարգի մեխանիկական մասի շարժահաղորդման օղակների հետազոտման մոդելը

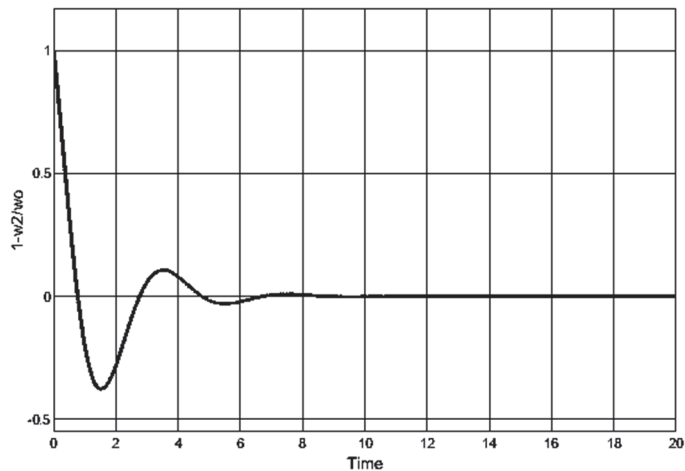
Հետազոտությունները կատարվել են կոնկրետ օրինակի վրա, մասնավորապես՝ որպես տեխնոլոգիական բեռ օգտագործվել է հանքանյութի 3,2մ x 3,1մ՝ չափեր ունեցող աղացը, իսկ որպես բանեցման սինխրոն շարժիչ՝ 600 կՎ հզորությամբ, 250 պտ/րոպե պտտման արագություն և 90,6% օ.գ.գ. ունեցող շարժիչը:

Հետազոտությունները կատարվել են նկ. 2-ում բերված է տեխնոլոգիական բեռի մոմենտի փոփոխման դեպքի համար:



Նկ. 2. Տեխնոլոգիական բեռի մոմենտի փոփոխման տեսքը

Մշակված մոդելի միջոցով գնահատվել են շարժիչի սահքի փոփոխման հնարավորությունները (նկ.3), ինչը ցույց է տալիս, որ մոմենտի թռիչքային աճի դեպքում շարժիչը կարող է դուրս գալ սինխրոնությունից և մտնել ասինխրոն ռեժիմ:



Նկ. 3. Մինխրոն շարժիչի սահքի փոփոխման տեսքը

Նկատի ունենալով, որ մեխանիկական մասի փոփոխությունները առավելագույնս դրսևորվում են տեխնոլոգիական բեռի փոփոխման դեպքում, ստացվել է փոխանցման $G(s)$ ֆունկցիան.

$$G(s) = \frac{M_{I2}(s)}{M_c(s)} = \frac{6669s^2 - 38,21s}{s^4 + 1,698s^3 + 2,405 \cdot 10^4 s^2 + 2,958 \cdot 10^4 s + 6,948 \cdot 10^4} : \quad (4)$$

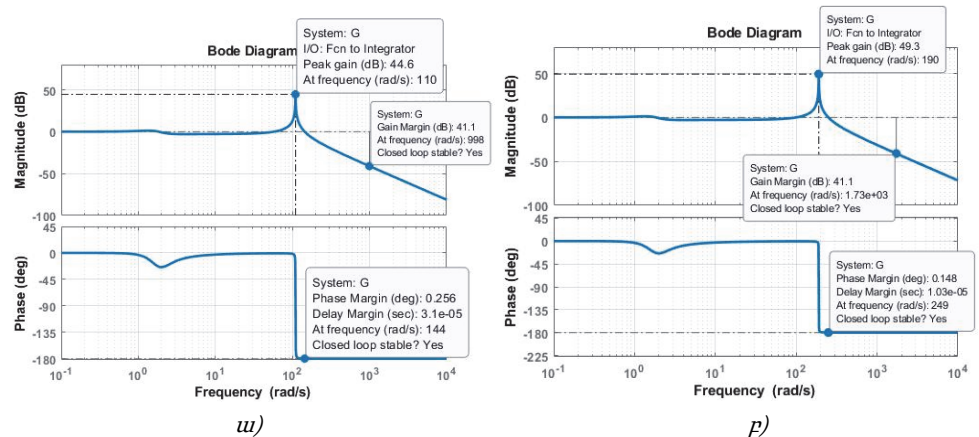
(4) փոխանցման ֆունկցիայի բնութագրիչ հավասարումը ունի հետևյալ տեսքը՝ $s^4 + 1,698s^3 + 2,405 \cdot 10^4 s^2 + 2,958 \cdot 10^4 s + 6,948 \cdot 10^4 = 0$, որի լուծումներն են՝

$$s_1 = -0,23 + j155,08, s_2 = -0,23 - j155,08, s_3 = -0,61 + j1,58, s_4 = -0,61 - j1,58:$$

Բնութագրիչ հավասարման արմատների իրական մասերը ունեն բացասական արժեքներ, ինչից հետևում է, որ համակարգը կայուն է, և բացի այդ, առկա է մարդող տատանողական պրոցես:

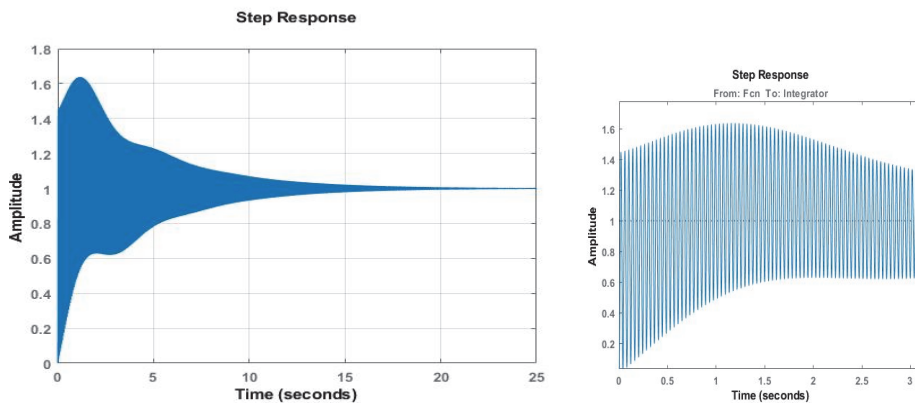
Հետազոտվող համակարգի համար ստացվել են M12 ելքային և Mc մուտքային ազդանշանների ամպլիտուդների մոդուլների հարաբերակցությանների, ինչպես նաև ֆազերի տարբերությունների կախվածությունները հաճախությունից:

Ներկայացվածից հետևում է, որ կապի կոշտության մեծացման դեպքում ազդանշանի ամպլիտուդը մեծանում է հաճախության ավելի բարձր արժեքի դեպքում, իսկ ֆազերի տարբերությունների շեղումը փոքրանում է հաճախության առավել փոքր արժեքի դեպքում:



Նկ. 4. $G(s)$ փոխանցման ֆունկցիայի ամպլիտուդահաճախային և ֆազահաճախային բնութագրերի լոգարիթմական տեսքը՝ ա) $c_1 = 1820210$ կգ.մ/ռադ, բ) $c_1 = 5460630$ կգ.մ/ռադ

Համակարգի անցումային պրոցեսի կորից հետևում է, որ այն մտնում է կայունացման ռեժիմ (նկ.5):



Նկ. 5. Համակարգի անցումային պրոցեսի կորը

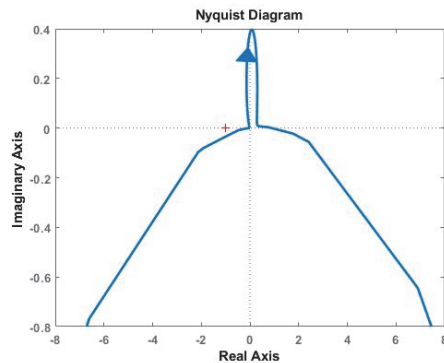
Նկատի ունենալով, որ մեխանիկական մասի փոփոխությունները պայմանավորված են նաև շարժիչի մոմենտով, ստացվել է փոխանցման $F(s)$ ֆունկցիան.

$$F(s) = \frac{M_{I2}(s)}{M_D(s)} = \frac{6669s^2 - 38,21s}{s^4 + 1,698s^3 + 2,405 \cdot 10^4 s^2 + 2,958 \cdot 10^4 s + 6,948 \cdot 10^4} : \quad (5)$$

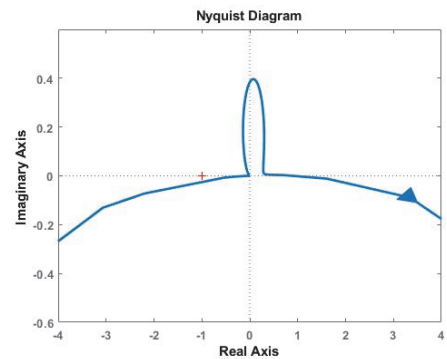
$F(s)$ -ի բնութագրիչ հավասարման լուծումը ցույց է տվել, որ համակարգը կայուն է: Նկատի ունենալով համակարգի կայունության պաշարի գնահատման կարևորությունը, դիտարկվել են $F(s)$ -ի Նայքվիստի կորերը c1-ի տարբեր արժեքների դեպքում:

Նկ. 6-ից երևում է, որ կապի կոշտության փոփոխությունը առաջացնում է կայունության պաշարի փոփոխություն:

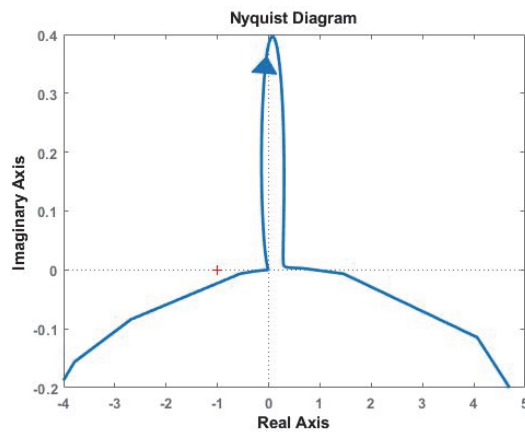
Նկատի ունենալով մեխանիկական մասի օղակի կապի կոշտության փոփոխության ազդեցությունը ամպլիտուդա-ֆազա-հաճախային բնութագրերի վրա՝ կարելի է եզրակացնել սինխրոն էլեկտրաբանեցման համակարգի վիճակի մոնիթորինգի համար մեխանիկական օղակների կապի կոշտության հսկման անհրաժեշտությունը:



ա)



բ)



գ)

Նկ. 6. $F(s)$ փոխանցման ֆունկցիայի Նայքվիստի կորերը՝ ա) $c_1 = 1820210$ կգ.մ/նադ, բ) $c_1 = 3640420$ կգ.մ/նադ, գ) $c_1 = 5460630$ կգ.մ/նադ

Եզրակացություն: Մշակված մոդելը թույլ է տալիս համակողմանիորեն հետազոտել և գնահատել սինխրոն էլեկտրաբանեցման համակարգի մեխանիկական մասի աշխատանքային վիճակը, բացահայտել անկայուն աշխատանքային ռեժիմում հայտնվելու հնարավորությունները: Ստացված արդյունքները կարող են օգտագործվել էլեկտրաբանեցման համակարգի առաձգական օղակների վաղաժամ մաշումը կանխելու համար:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. Коваль А.С., Лагун Н.С. Передаточные функции механической подсистемы редукторного электропривода лифтов // Вестник Белорусско-Российского университета.- 2015.- № 2(47). – С. 112-118.
2. Переслегин Н.Г. Синтез систем управления электроприводами многомассовых механизмов с упругими связями. Автоматизированный электропривод. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 544 с.

3. **Анхимюк, В. Л.** Теория автоматического управления. – Минск: Выш. шк., 2002. – 352 с.
4. **Меншиков И.А.** Оценка технического состояния электромеханических систем с помощью энергетических показателей // Вестник АГТУ. Сер.: Морская техника и технология.- 2018.- N 2. – С. 82-91.
5. **Lyshevski S.E.** Electromechanical Systems, Electric Machines, and Applied Mechatronics.- CRC Press, 1999.
6. **Liu Li and Cartes David A.** On-line identification and robust fault diagnosis for nonlinear PMSM drives // Proceedings of the American Control Conference.- 2005.-Vol. 3. - P. 2023-2027.
7. **Иванченко Ф.К.** Механика привода технологических машин.- Киев: Вища школа, 1986. - 152 с.
8. **Иванченко Ф.К., Красношапка В.А.** Динамика металлургических машин. - М.: Металлургия, 1983. - 294 с.
9. **Черных И.В.** Моделирование электротехнических устройств в MATLAB, SimPowerSystems и Simulink. - СПб.: Питер, 2008.- 290 с.
10. **Герман-Галкин, С.Г** Matlab & Simulink. Проектирование мехатронных систем на ПК. – СПб.: КОРОНА-Век, 2008. – 368 с.

Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարան: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 31.01.2020:

М.К. БАГДАСАРЯН, А.Т. УЛИКЯН, С.В. САРГСЯН

МОДЕЛЬ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ ЧАСТИ СИСТЕМЫ СИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Разработана модель для исследования рабочего состояния механической части синхронной электроприводной системы. Исследование изменения характеристик системы в случае различных значений жесткости передачи звеньев системы проводилось в среде Simulink с помощью программного пакета MatLab. Для проведения исследований получены передаточные функции. В качестве выходной величины принят момент нагрузки упругого элемента. Полученная модель может быть успешно использована для обнаружения нарастающих аварийных режимов в механической части различных систем синхронного электропривода.

Ключевые слова: электропривод, жесткость связи, механическая часть, имитационная модель, устойчивость.

M.K. BAGHDASARYAN, A.T. ULIKYAN, S.V. SARGSYAN

A MODEL FOR INVESTIGATING THE MECHANICAL PART OF THE SYNCHRONOUS ELECTRIC DRIVE SYSTEM

A model has been developed for studying the working state of the mechanical part of a synchronous electric drive system. The study of changes in the characteristics of the system in the case of different values of the transmission stiffness of the system links has been carried out in the Simulink environment by the MatLab software package. To carry out investigations transfer functions are obtained. As an output value, the load moment of the elastic element is taken. The resulting model can be successfully used to detect the increasing emergency conditions in the mechanical part of various synchronous electric drive systems.

Keywords: electric drive, coupling stiffness, mechanical part, simulation model, stability.