

ՀՏԴ 621.312

ԷԼԵԿՏՐՈՆԻԿԱ

DOI: 10.53297/0002306X-2022.v75.3-372

Մ.Ք. ԲԱՂԴԱՍԱՐՅԱՆ, Ա.Գ. ԱՌԱՔԵԼՅԱՆ, Դ.Վ. ԴԱՎԹՅԱՆ

**ԵՌԱՅԱԶ ՍԻՆԽՐՈՆ ՄԵՔԵՆԱՅԻ ՈՉ ՍԻՄԵՏՐԻԿ ՌԵԺԻՄՆԵՐԻ
ՄՈՆԻԹՈՐԻՆԳԻ ԻՐԱԿԱՆԱՑՄԱՆ ԱԼԳՈՐԻԹՄ**

Վերլուծվել են սինխրոն մեքենայի մոնիթորինգի և անսարքությունների հայտնաբերման հնարավորությունները: Հիմնավորվել է ֆազային կարճ միացումների դեպքում սինխրոն մեքենայի ասիմետրիկ ռեժիմների մոնիթորինգի իրականացման համար մեծաթիվ տվյալների վերլուծման հնարավորություն ապահովվող առավել արդյունավետ ալգորիթմի կիրառման անհրաժեշտությունը: Մշակվել են սինխրոն մեքենայում ոչ սիմետրիկ ռեժիմների առաջացման մոնիթորինգի ալգորիթմը և համակարգի կառուցվածքային սխեման:

Առանցքային բառեր. ֆազային կարճ միացում, մոնիթորինգ, ալգորիթմ, ներդրանգ, սինխրոն մեքենա:

Ներածություն: Էլեկտրամեխանիկական համակարգերում առաջացող վթարներից խուսափելու համար կարևոր են համակարգի տարբեր հանգույցներում զարգացող անսարքությունների ժամանակին բացահայտումն ու կանխումը: Բարդ համակարգերում ցանկացած անսարքություն կարող է ազդել ամբողջ համակարգի վարքագծի վրա: Արտադրական գործընթացում առաջացող պարզ անսարքությունը կարող է հանգեցնել պահանջվող բնութագրերին չհամապատասխանող արտադրանքի թողարկմանը, շահագործման ծախսերի մեծացմանը, շրջակա միջավայրի վնասների և այլն: Գործող առանձին համակարգում փոքր անսարքության անտեսումը կարող է հանգեցնել աղետալի հետևանքների: Սինխրոն էլեկտրական մեքենաները լայն կիրառություն ունեն արդյունաբերության տարբեր ճյուղերում, և դրանց անվտանգ ու հուսալի շահագործմանը վերաբերող խնդիրների լուծումը առանձնակի գիտագործնական հետաքրքրություն է ներկայացնում:

Դիտարկվել են սինխրոն մեքենաների անսարքությունների հայտնաբերման մի շարք մոտեցումներ:

Հաստատուն մագնիսով սինխրոն մեքենայի վերլուծական մոդելը թույլ է տալիս մոդելավորել շարժիչի անվանական և անսարք վարքագիծը: Այն ի վիճակի է մոդելավորելու ստեղծված աղավաղումների մի քանի փուլ: Դրանք չեն պահանջում լրացուցիչ նյութ կամ տվիչներ, քանի որ հիմնված են մեքենայի կառավարման համար արդեն վերահսկվող ազդանշանների վրա [1]:

[2] աշխատությունը նկարագրում է հաստատուն մագնիսով շարժիչի էլեկտրական և էլեկտրամագնիսական անսարքությունները և դրանց բացահայտման ընթացակարգը: Մշտադիտարկվում են միայն ֆազային հոսանքները, և vDS-զգայուն դաշտային տրանզիստորների միջոցով հնարավորություն է ստեղծվել՝ ապահովելու ուժային սարքերի պաշտպանությունը: Անսարքության մասին ինֆորմացիան հաղորդվում է կարգավորիչին, և իրականացվում է անսարքության նույնականացման ռեժիմը: Ֆազային հոսանքների մոնիտորինգը թույլ է տալիս ճանաչել սահմանված արժեքներից շեղումները: Անսարք հայտնաբերված ֆազն անջատվում է, և եռաֆազ մեքենան անցնում է երկփուլ աշխատանքային ռեժիմի:

Հայտնի է սինխրոն գեներատորի խափանումների հայտնաբերման անորոշ համակարգի վրա հիմնված սխեման [3]: Այս դեպքում ուղիղ և հակառակ հաջորդականությամբ հոսանքներն օգտագործվում են որպես անսարքության բացահայտման ցուցիչներ և որպես մուտքային տվյալներ տրվում են անսարքության դետեկտորին: Ստեղծվում է ելքային համակարգ, և գնահատվում է կանոնների բազան՝ բացահայտելով ընթացիկ բաղադրիչը անսարքությունների տեսակի դեպքում:

Գիտական հետաքրքրություն է ներկայացնում [4] հողվածում առաջարկվող եռաֆազ սինխրոն շարժիչի աշխատանքային վիճակի հետազոտման մոդելը: Մոդելն իրականացված է MATLAB ծրագրային միջավայրում, էլեկտրամեխանիկայում լայն կիրառություն ստացած Պարկ-Գորնի հավասարումների հիմքով: Անցումային երևույթների ժամանակ գնահատվել են շարժիչի էլեկտրամագնիսական մոմենտի, ստատորի a,b,c ֆազային հոսանքների, ինչպես նաև ուղիղ և հակառակ հաջորդականությամբ հոսանքների հարաբերակցությունների փոփոխությունները: Հաստատվել է, որ ցանցի սնման լարման և տեխնոլոգիական մեխանիզմի բեռի մոմենտի փոփոխման պայմաններում ստատորի ֆազային փաթույթներում առաջանում են հակառակ հաջորդականությամբ հոսանքներ:

Վերջին տարիներին արհեստական նեյրոնային ցանցերի հնարավորություններն ավելի հաճախ են կիրառվում անսարքությունների հայտնաբերմանը վերաբերող խնդիրների լուծման համար [5-8]:

Արհեստական նեյրոցանցի կիրառմամբ էլեկտրամեխանիկական համակարգերի տեխնիկական վիճակների արատորոշման առավել ընդհանրական մոտեցումներ են առաջարկվել [5] աշխատությունում: Համակարգի արատորոշման հիմնական ապարատային տարրը նեյրոնային ցանցային սարքն է, որի ելքից վերցվում են էլեկտրամեխանիկական համակարգի տեխնիկական վիճակների վերաբերյալ որոշումները: Սահմանվել է տեխնիկական պայմանների ներկառուցված արատորոշման համակարգերում նեյրոչիպերի օգտագործման նպատակահարմարությունը: Հիմնավորվել է նեյրոհամակարգիչ և հաղորդիչ հաշվողական

համակարգերի օգտագործման նպատակահարմարությունը այն դեպքում, երբ կո-դավորման, փոխանցման, էլեկտրամեխանիկական համակարգի տեխնիկական պայմանների վերահսկման համար խմբային ազդանշանի հավաքման բլոկը և տեխնիկական վիճակի հսկման, առաջնային մշակման, ապափաթեթավորման և նեյրոնային ցանցի վերլուծության համար խմբային ազդանշան ստանալու բլոկը բաժանված են երկու գոտու: Կատարվել է ուսումնասիրություն բարդ էլեկտրամե-խանիկական համակարգերի արատորոշման համար նեյրոնային ցանցերի ծրագ-րային տարբերակների օգտագործման հնարավորության վերաբերյալ [5]:

Սույն աշխատությունում սինխրոն մեքենայի մոնիթորինգի համար առաջ-նորդվել ենք նրանով, որ ոչ սիմետրիկ ռեժիմները ստատորի փաթույթներում առա-ջացնում են հակառակ հաջորդականությամբ հոսանքներ, որոնք հանգեցնում են անցանկալի և վթարավտանգ երևույթների առաջացմանը [4]:

- հանգստացնող փաթույթի կամ ռոտորի զանգվածային մասերի կորուստ-ների մեծացում և տաքացում,

- ստատորի և ռոտորի հոսանքների բարձր հարմոնիկներ,

- հոսանքների և լարումների ոչ սինուսոիդալություն՝ պայմանավորված ռոտորի մագնիսական և էլեկտրական ոչ սիմետրիկությամբ:

Եռաֆազ սինխրոն մեքենաներում ոչ սիմետրիկ ռեժիմներն առաջանում են ցանցին հզոր միաֆազ սպառիչի միացման, ինչպես նաև ֆազի կտրման և միա-ֆազ կամ երկֆազ կարճ միացումների դեպքերում [9-11]:

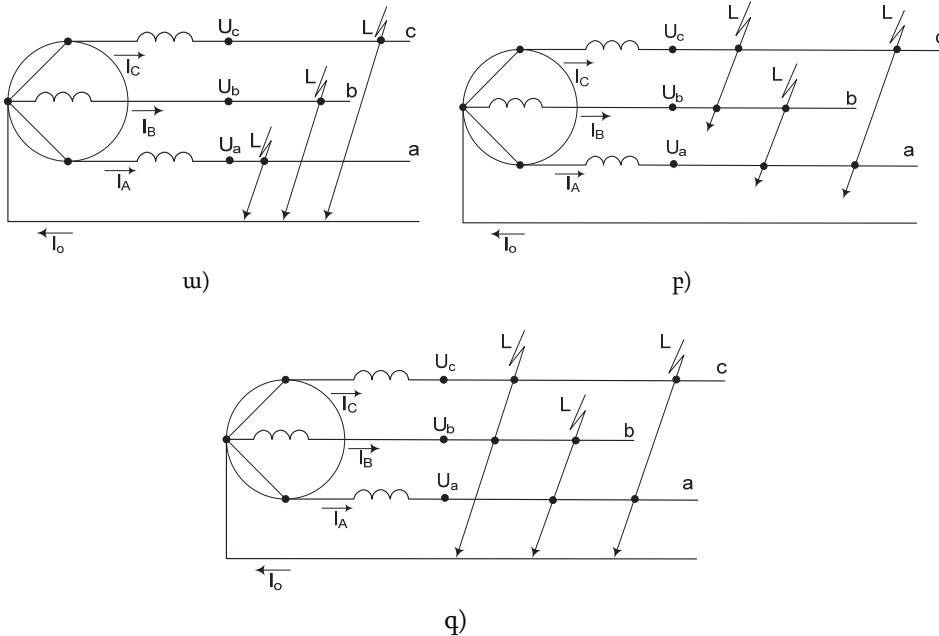
Չնայած նրան, որ միաֆազ և եռաֆազ կարճ միացումները հիմնականում առաջացնում են կարճատև ոչ սիմետրիկություն, այնուամենայնիվ, դրանք ծան-րացնում են էլեկտրական մեքենայի աշխատանքը և կարող են զանազան վթար-ների պատճառ դառնալ:

Կատարված վերլուծությունները ցույց են տալիս, որ տարբեր տեխնոլո-գիական գործընթացներում օգտագործվող էլեկտրական մեքենաներում առաջա-ցող վթարների կանխմանը միտված հետազոտությունը գիտական հետաքրքրու-թյուն է ներկայացնում, ինչին էլ ուղղված է սույն աշխատանքը:

Աշխատանքի նպատակն է մշակել մոնիթորինգի ալգորիթմ, որը հնարա-վորություն կտա ֆազային կարճ միացումների դեպքում հայտնաբերել եռաֆազ սինխրոն մեքենայի ստատորի փաթույթներում առաջացած ոչ սիմետրիկությունը:

Հետազոտության արդյունքները: Սինխրոն մեքենայի աշխատանքի ընթաց-քում առավել հաճախ ֆազերի բեռի ոչ սիմետրիկությունն առաջանում է ցանցի գծերի միաֆազ և զրոյական լարի միջև, ինչպես նաև երկֆազ կարճ միացումների դեպքում: Սույն աշխատությունում դիտարկվում են եռաֆազ սինխրոն մեքենայի ստատորի փաթույթի աստղաձև միացման համար ուղիղ (I_1), հակառակ (I_2) և զրոյական (I_0) հոսանքները միաֆազ, երկֆազ կարճ միացումների դեպքում:

Նկ. 1-ում ներկայացված են a, b և c ֆազերում միաֆազ և երկֆազ և չեզոքի վրա երկֆազ կարճ միացումների ուսումնասիրման սխեմաները:



Նկ. 1. ա) միաֆազ, բ) երկֆազ, գ) չեզոքի վրա երկֆազ կարճ միացումների հետազոտման սխեմաները

Աղ. 1-3-ում բերված են կարճ միացումների դեպքում ուղիղ, հակառակ և զրոյական հոսանքների հավասարումները:

Աղյուսակ 1

Միաֆազ կարճ միացումների դեպքում սինխրոն մեքենայի խարսխի փաթույթի բնութագրական առնչությունները

Միաֆազ կարճ միացումները	Ֆազային հոսանքները և լարումները	I_1, I_2, I_0 հոսանքների հավասարումները
a ֆազում	$I_b = I_c = 0, I_a = 3I_0, U_a = 0$	$I_1 = I_2 = I_0 = I_a/3$
b ֆազում	$I_a = I_c = 0, I_b = 3I_0, U_b = 0$	$I_1 = I_2 = I_0 = I_b/3$
c ֆազում	$I_b = I_a = 0, I_c = 3I_0, U_c = 0$	$I_1 = I_2 = I_0 = I_c/3$

Երկֆազ կարճ միացումների դեպքում սինխրոն մեքենայի խարիսխի փաթույթի բնութագրական առնչությունները

Երկֆազ կարճ միացումները	Ֆազային հոսանքները	I_1, I_2, I_0 հոսանքների հավասարումները
cb ֆազերի միջև	$I_b = -I_c, I_a = 0$,	$I_1 = j \frac{I_b}{\sqrt{3}}, I_2 = -j \frac{I_b}{\sqrt{3}}, I_0 = 0$
ba ֆազերի միջև	$I_a = -I_b, I_c = 0$	$I_1 = j \frac{I_a}{\sqrt{3}}, I_2 = -j \frac{I_a}{\sqrt{3}}, I_0 = 0$
ac ֆազերի միջև	$I_c = -I_a, I_b = 0$	$I_1 = j \frac{I_c}{\sqrt{3}}, I_2 = -j \frac{I_c}{\sqrt{3}}, I_0 = 0$

Չեզոքի վրա երկֆազ կարճ միացումների դեպքում սինխրոն մեքենայի խարիսխի փաթույթի բնութագրական առնչությունները

Երկֆազ չեզոքի վրա կարճ միացումները	Ֆազային լարումները և հոսանքները	U_1, U_2, U_0 լարումների հավասարումները
cb ֆազերի միջև	$U_b = U_c = 0, I_a = 0$,	$U_a = 3U_0, U_1 = U_2 = U_0 = \frac{U_a}{3}$
ba ֆազերի միջև	$U_b = U_a = 0, I_c = 0$	$U_c = 3U_0, U_1 = U_2 = U_0 = \frac{U_c}{3}$
ac ֆազերի միջև	$U_a = U_c = 0, I_b = 0$	$U_b = 3U_0, U_1 = U_2 = U_0 = \frac{U_b}{3}$

Աղ.1-3-ում ստացված արդյունքներից հետևում է, որ ոչ սիմետրիկ կարճ միացումների ժամանակին բացահայտման համար անհրաժեշտ է իմանալ ֆազային հոսանքների և լարումների արժեքը, ինչը հնարավոր է իրականացնել համապատասխան տվիչների միջոցով: Նեյրոնային ցանցերի օգտագործումը էլեկտրամեխանիկական համակարգի արատորոշման խնդիրներում հեռանկարային է՝ պայմանավորված այն հանգամանքով, որ դրանք կարող են ոչ միայն բացահայտել անսարքությունները, այլ նաև վերահսկել համակարգի աշխատանքը [5-8]: Աշխատանքում առաջարկվող սինխրոն մեքենայի ֆազային կարճ միացումների ստեղծած հետևանքների մոնիթորինգն իրականացվում է նեյրոցանցի կիրառմամբ:

Ստորև ներկայացվում է առաջարկվող մոնիթորինգի համակարգի իրականացման ալգորիթմը:

1. Մինիստրն մեքենայի ֆազային հոսանքների և լարումների չափման համար տեղակայված տվիչներից ստացվող ազդանշանների հավաքագրում:

2. Ստացված անալոգային ազդանշանի թվայնացում և նեյրոցանցային փոխանցման համար պահանջվող ազդանշանի ձևավորում:

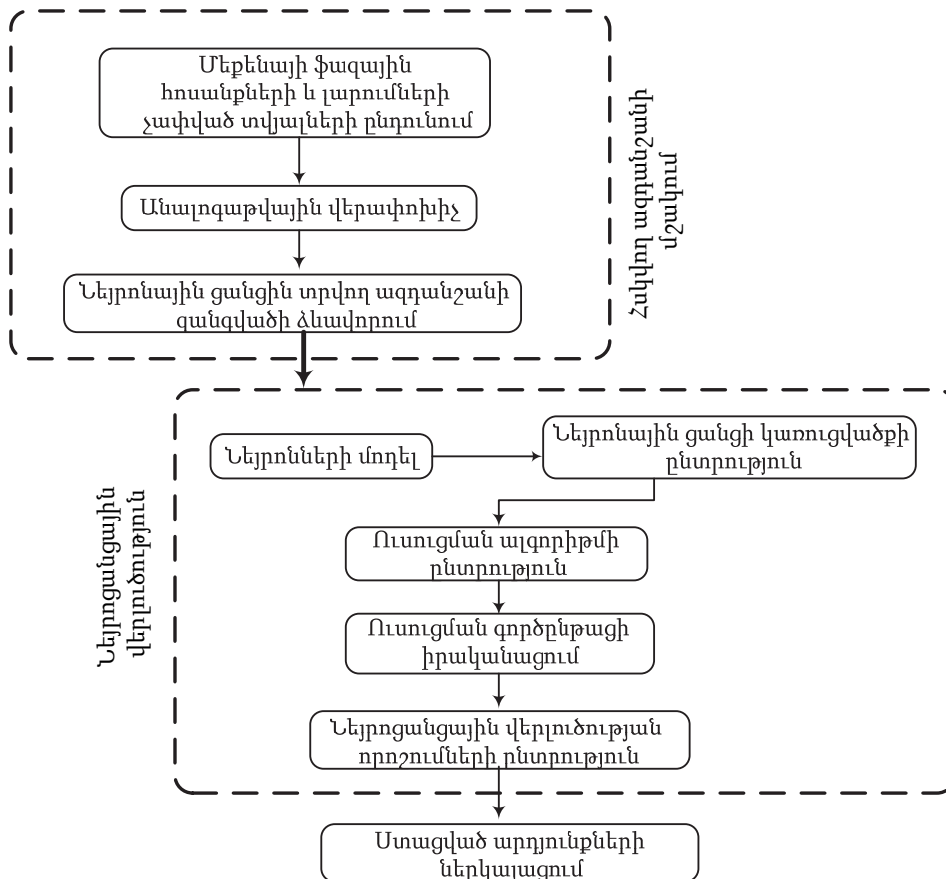
3. Նեյրոցանցի կառուցվածքի ընտրություն, հաշվի առնելով, որ նեյրոցանցի մուտքային շերտը պետք է ընդգրկի հսկվող պարամետրերի քանակին համապատասխան նեյրոններ:

4. Նեյրոցանցի ուսուցման ալգորիթմի ընտրություն և իրականացում:

5. Հսկման արդյունքի վերաբերյալ որոշումների ընդունում:

6. Ստացված արդյունքների ներկայացում:

Նկ. 2-ում բերված է ներկայացված ալգորիթմի իրականացման կառուցվածքային սխեման:



Նկ. 2. Մինիստրն մեքենայում ոչ սիմետրիկ ռեժիմների առաջացման մոնիթորինգի համակարգի կառուցվածքային սխեման

Եզրակացություն: Մշակված ալգորիթմը թույլ է տալիս հավաքագրել, գնահատել, դասակարգել սինխրոն մեքենայի ոչ սիմետրիկ ռեժիմները բնութագրող գործոնները և դրանց վարժեցման արդյունքում ընդունել համակարգի վիճակի մասին որոշումներ: Ստացված արդյունքները կարող են հաջողությամբ կիրառվել նաև էլեկտրաբանեցման համակարգի կառավարման համակարգի անխափան աշխատանքի ապահովման համար:

Հետազոտությունն իրականացվել է ՀՀ գիտության կոմիտեի ֆինանսական աջակցությամբ՝ 21T-2B195 ծածկագրով գիտական թեմայի շրջանակներում:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Garance Vinson, Michel Combacau, Thomas Prado.** Synchronous Machine Faults Detection and Diagnosis for Electro-mechanical Actuators in Aeronautics. - 2014. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00925501>
2. **Krautstrunk A.** Fault Detection and Identification for Permanent Magnet Synchronous Motor Drives/ Synopsis of paper PCIM'99 within topic number IM 7.3.
3. **Selvaganesan N. and Saraswathy Ramya R.** Fuzzy Fault Detection for Permanent Magnet Synchronous Generator // ICTACT Journal on Soft Computing: Special Issue on Fuzzy in Industrial and Process Automation. - 2011. - Vol. 02, issue 1. – P. 224-232.
4. **Baghdasaryan M.K., Ulikyan A.T.** Study of the operating state of a synchronous motor electric drive by means of changes estimation of the stator current behavior // International Review of Electrical Engineering. – 2022. - Vol. 17, N2. - P. 177-184.
5. **Палюх Б.В., Шпрехер Д.М., Богатилов В.Н.** Диагностирование электромеханических систем на основе нейросетевых технологий // Программные продукты и системы. - 2015. - № 3 (111). - С. 5-11.
6. **Горева Т.И., Портнягин Н.Н., Пюкке Г.А.** Нейросетевые модели диагностики технических систем//Вестник КРАУНЦ. Физ.-мат. науки. - 2012. – Вып. 1(4). - С. 31–43.
7. **Шпрехер Д.М.** Создание программно-аппаратного комплекса для нейросетевой системы диагностирования электромеханических систем горных машин // Изв. вузов: Горный журнал. - 2012. - № 5. - С. 98–101.
8. **Tanvir A.A., Merabet A.** Artificial Neural Network and Kalman Filter for Estimation and Control in Standalone Induction Generator Wind Energy DC Microgrid // Energies.- 2020. – 13. – P.1743.
9. Theoretical Analysis of the Voltage Unbalance Factor to Characterize Unbalance Problems in Induction Motors / **E.C. Quispe, V.S. Santos, I.D. López, et al** // International Review Of Electrical Engineering. - 2021. - Vol. 16, № 1. - P. 8-16.
10. **Pruski P.** Analysis of asymmetrical operating conditions of a power system for different models of synchronous generators // ITM Web Conf. – 2019. - Vol. 28. - P.1-2.

11. **Campbell M., Arce G.** Effect of Motor Voltage Unbalance on Motor Vibration: Test and Evaluation // IEEE Transactions on Industry Applications. - 2018. - Vol. 54, № 1. - P. 905–911.

Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարան: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն: 04.10.2022:

М.К. БАГДАСАРЯН, А.Г. АРАКЕЛЯН, Д.В. ДАВТЯН

АЛГОРИТМ РЕАЛИЗАЦИИ МОНИТОРИНГА АСИММЕТРИЧНЫХ РЕЖИМОВ ТРЕХФАЗНОЙ СИНХРОННОЙ МАШИНЫ

Анализируются возможности мониторинга и выявления неисправностей синхронной машины. Обоснована необходимость применения наиболее эффективного алгоритма, который обеспечивает возможность анализа большого числа данных для реализации мониторинга асимметричных режимов синхронной машины в случае фазных коротких замыканий. Разработаны алгоритм мониторинга возникновения асимметричных режимов в синхронной машине и структурная схема системы.

Ключевые слова: фазное короткое замыкание, мониторинг, алгоритм, нейронная сеть, синхронная машина.

M.K. BAGHDASARYAN, A.G. ARAKELIAN, D.V. DAVTYAN

THE ALGORITHM FOR MONITORING THE ASYMMETRIC MODES OF A THREE-PHASE SYNCHRONOUS MACHINE

The possibilities of monitoring and detecting malfunctions of a synchronous machine are analyzed. The necessity of using the most effective algorithm, which provides the possibility of analyzing a large number of data for monitoring the asymmetric modes of a synchronous machine in the case of phase short circuits is substantiated. An algorithm for monitoring the occurrence of asymmetric modes in a synchronous machine and a block diagram of the system have been developed.

Keywords: phase short circuit, monitoring, algorithm, neural network, synchronous machine.