

Լ.Վ. ՄԱՏԱՐՅԱՆ

ԷԼԵԿՏՐԱԷՆԵՐԳԵՏԻԿԱԿԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ ԿԱՅՈՒՆԱՑՎԱԾ ՌԵԺԻՄՆԵՐԻ ԿԱՌՈՒՑՎԱԾՔԱՅԻՆ ՎԵՐԼՈՒԾՈՒԹՅԱՆ ԱՌԱՆՁՆԱՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ

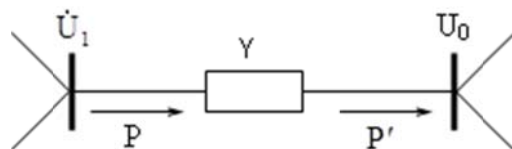
Հետազոտվում է ակտիվ-ինդուկտիվ բնույթի ճյուղերով ցանցում ակտիվ հզորությամբ հոսքերի ուղղությունների կախվածությունը ճյուղի հաղորդականությունից և դրան հարակից հանգույցների լարման մոդուլների և արգումենտների հարաբերակցությունից:

Առանցքային բառեր. կառուցվածքային վերլուծություն, աղիլիկ գրաֆ, ակտիվ հզորության շրջապատույտ, լարման մոդուլ և արգումենտ:

Էլեկտրաէներգետիկական համակարգի (ԷԷՀ) կայունացված ռեժիմների կառուցվածքային վերլուծության խնդրի լուծումը, [1] աշխատանքում բերված մեթոդի համաձայն, հանգում է էլեկտրական ցանցի ուղղորդված « p -գրաֆի» կառուցմանը, որի տուպոլոգիան էլեկտրական ցանցի սխեմայի տուպոլոգիան է, իսկ ճյուղերն ուղղորդված են ակտիվ հզորության հոսքերի իրական ուղղությամբ: Եթե ցանցի ուղղորդված « p -գրաֆը» աղիլիկ է [2], ապա կառուցվածքային վերլուծության խնդիրն ունի միարժեք լուծում, հակառակ դեպքում՝ խնդիրը լուծում չունի: Ընդհանուր դեպքում ԷԷՀ-ի ցանցերում ուղղորդված « p -գրաֆը» կարող է ստացվել ցիկլիկ, ինչը նշանակում է, որ ցանցում գոյություն ունի ակտիվ հզորության շրջապատույտ [3]:

Աշխատանքում հետազոտվում է ակտիվ-ինդուկտիվ բնույթի ճյուղում ակտիվ հզորության հոսքերի ուղղությունների կախվածությունը ճյուղի հաղորդականությունից և դրան հարակից հանգույցների լարման մոդուլների և արգումենտների հարաբերակցությունից:

Դիտարկենք էլեկտրական ցանցի (շղթա) որևէ ճյուղի սկզբում (P) և վերջում (P') ակտիվ հզորության հոսքերի ուղղությունները՝ կախված ճյուղի հարակից հանգույցների մոդուլների (U) և արգումենտների (ψ) մեծությունների հարաբերակցությունից և ճյուղի հաղորդականությունից (Y) (նկ. 1):



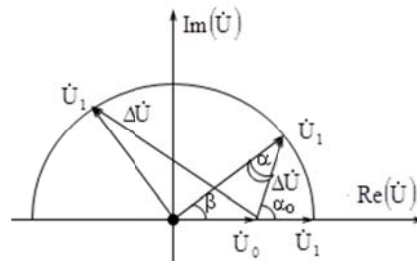
Նկ. 1. Էլեկտրական ցանցի ճյուղի ակտիվ հզորության հոսքերը

Հնդունենք՝ $\arg(\dot{U}_0) = 0$:

Դիտարկենք երկու դեպք.

1. $|\dot{U}_1| > U_0$, $0 \leq \arg(\dot{U}_1) \leq \pi$:

Նշանակենք՝ $\Delta \dot{U} = \dot{U}_1 - \dot{U}_0$, $\alpha = \arg(\dot{U}_1 \Delta \dot{U})$, $\beta = \arg(\dot{U}_1)$: Փոփոխելով $\dot{U}_1$ լարման արգումենտը $0 \leq \beta \leq \pi$ տիրույթում՝ կստանանք նկ. 2-ում պատկերված վեկտորական դիագրամը β անկյան տարբեր արժեքների համար:



Նկ. 2. $U_0, \dot{U}_1, \Delta \dot{U}$ վեկտորների վեկտորական դիագրամը

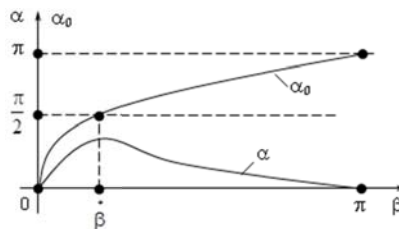
Որոշենք α անկյան՝ β անկյունից կախվածության ֆունկցիայի անալիտիկ տեսքը.

$$\alpha = \arctg \frac{U_0 \sin \beta}{U_1 - U_0 \cos \beta} : \quad (1)$$

$\beta^* = \arccos \frac{U_0}{U_1}$ անկյան արժեքի դեպքում α անկյունը ստանում է առավելագույն արժեք՝

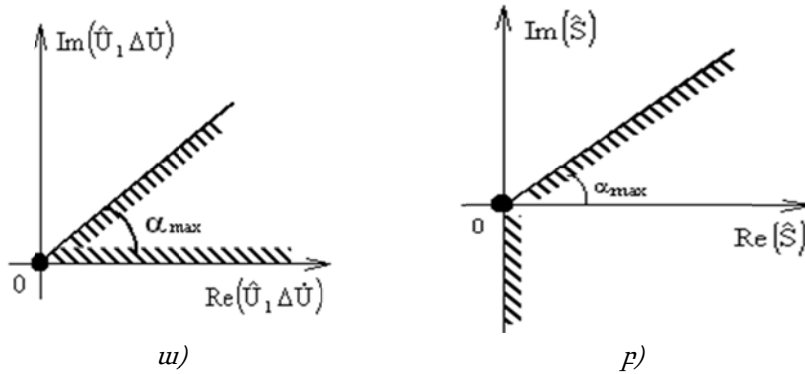
$$\alpha_{max} = \arctg \frac{U_0 \sqrt{1 - \frac{U_0^2}{U_1^2}}}{U_1 - \frac{U_0^2}{U_1}} = \arctg \frac{U_0}{\sqrt{U_1^2 - U_0^2}} < \frac{\pi}{2} : \quad (2)$$

(1) ֆունկցիայի գրաֆիկն ունի նկ. 3-ում բերված տեսքը:



Նկ. 3. (1), (3) ֆունկցիաների գրաֆիկները ($U_0 < U_1$)

Համաձայն նկ. 3-ի՝ ստանում ենք կոմպլեքս հարթության վրա $(\hat{U}, \Delta\dot{U})$ մեծության որոշման տիրույթը, ինչպես նաև $\hat{S} = (\hat{U}, \Delta\dot{U} Y)$ կոմպլեքս համալուծ հզորության որոշման տիրույթը $Im(Y) \leq 0$ (ակտիվ-ինդուկտիվ բնույթ) ճյուղերի համար (նկ. 4):



Նկ. 4. $(\hat{U}, \Delta\dot{U})$ մեծության (ա) և $\hat{S}$ կոմպլեքս համալուծ հզորության (բ) որոշման տիրույթները ակտիվ-ինդուկտիվ բնույթի ճյուղերի դեպքում

Վերը բերված դատողությունները կատարենք $P' = Re(U_0 \Delta\dot{U} Y)$ ակտիվ հզորության համար (նկ. 1): Համաձայն նկ. 2-ի, $\alpha_0 = arg(U_0 \Delta\dot{U}) = arg(\Delta\dot{U})$, հետևաբար՝

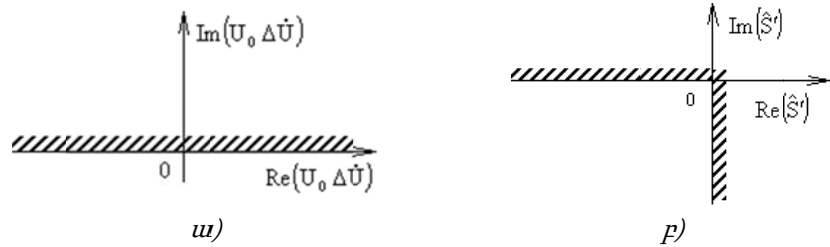
$$\alpha_0 = \arctg \frac{U_0 \sin \beta}{U_1 - U_0 \cos \beta} + \beta : \quad (3)$$

Որոշելով (6) ֆունկցիայի էքստրեմումի կետերը, ստանում ենք՝

$$\cos \beta \neq \frac{U_1}{U_0} > 1,$$

հետևաբար, (6) ֆունկցիան էքստրեմումի կետեր չունի և իր նվազագույն ու առավելագույն արժեքներն ստանում է $\beta \in [0, \pi]$ միջակայքի ծայրակետերում՝ $\alpha_0(0) = 0$, $\alpha_0(\pi) = \pi$ (նկ. 3):

Համաձայն նկ. 3-ի՝ ստանում ենք կոմպլեքս հարթության վրա $(U_0, \Delta\dot{U})$ մեծության որոշման տիրույթը, ինչպես նաև $\hat{S}' = U_0 \Delta\dot{U} Y$ կոմպլեքս համալուծ հզորության որոշման տիրույթը $Im(Y) \leq 0$ (ակտիվ-ինդուկտիվ բնույթ) ճյուղերի համար (նկ. 5):

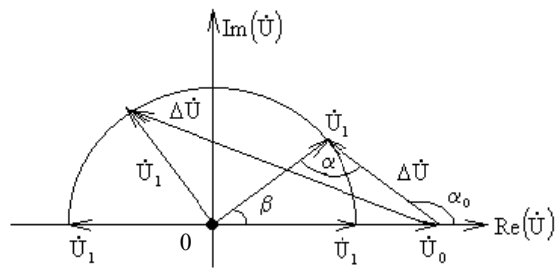


Նկ. 5. $(U_0 \Delta \dot{U})$ մեծության (ա) և $\hat{S}'$ կոմպլեքս համալուծ հզորության (բ) որոշման տիրույթները ակտիվ-ինդուկտիվ բնույթի ճյուղերի դեպքում

Դիտարկենք հաջորդ դեպքը.

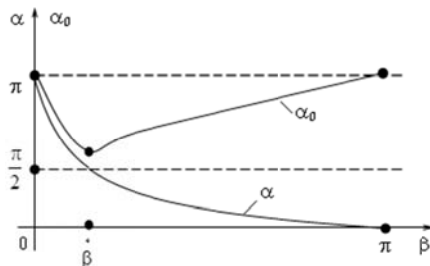
2. $|\dot{U}_1| < U_0$, $0 \leq \arg(\dot{U}_1) \leq \pi$:

Փոփոխելով $\dot{U}_1$ լարման արգումենտը $\beta = \arg(\dot{U}_1) \in [0, \pi]$ տիրույթում՝ կստանանք նկ. 6-ում պատկերված վեկտորական դիագրամը β անկյան տարբեր արժեքների համար:



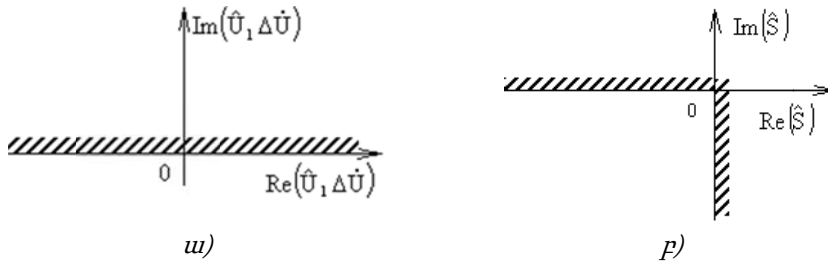
Նկ. 6. $U_0, \dot{U}_1, \Delta \dot{U}$ վեկտորների վեկտորական դիագրամը

Որոշենք α անկյան՝ β անկյունից կախվածության ֆունկցիայի անալիտիկ տեսքը ($\alpha = \arg(\dot{U}_1 \Delta \dot{U})$): Այդ ֆունկցիան կունենա (1) տեսքը, և քանի որ $|\dot{U}_0| > |\dot{U}_1|$, ապա այն էքստրեմումի կետ չի ունենա, իսկ գրաֆիկը կունենա նկ. 7-ում պատկերված տեսքը:



Նկ. 7. (1), (3) ֆունկցիաների գրաֆիկները $U_1 < U_0$ պայմանի դեպքում

Համաձայն նկ. 7-ի՝ ստանում ենք կոմպլեքս հարթության վրա $\hat{U}_1 \Delta \dot{U}$ մեծության որոշման տիրույթը, ինչպես նաև՝ $\hat{S} = \hat{U}_1 \Delta \dot{U} Y$ կոմպլեքս համալուծ հզորության որոշման տիրույթը $Im(Y) \leq 0$ (ակտիվ-ինդուկտիվ բնույթ) ճյուղերի համար (նկ. 8):

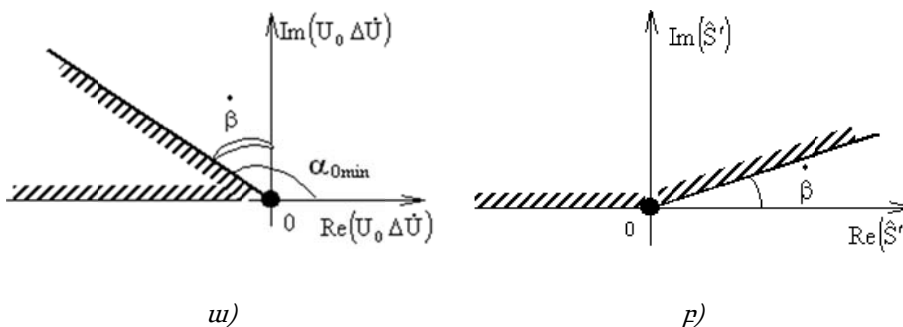


Նկ. 8. $(\hat{U}_1 \Delta \dot{U})$ մեծության (ա) և $\hat{S}$ կոմպլեքս համալուծ հզորության (բ) որոշման տիրույթները ակտիվ-ինդուկտիվ բնույթի ճյուղերի դեպքում

Վերոհիշյալ դատողությունները կիրառենք $P' = Re(U_0 \Delta \dot{U} Y)$ ակտիվ հզորության նկատմամբ (նկ. 6): $\alpha_0 = f(\beta)$ ֆունկցիան ունի (3) տեսքը, որի էքստրեմումի կետում՝

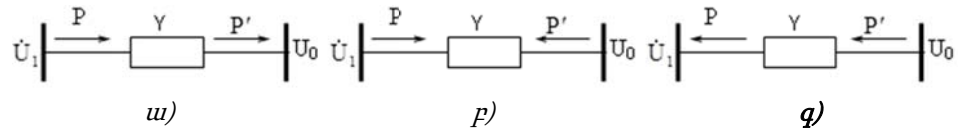
$$\cos \beta^* = \frac{U_I}{U_0} < 1, \quad \alpha_{0min}^* = \frac{\pi}{2} + \beta^* < \pi :$$

(1) և (3) ֆունկցիաների գրաֆիկները, երբ տեղի ունի $U_I < U_0$ պայմանը, պատկերված են նկ. 7-ում: Ըստ $\alpha_0 = f(\beta)$ ֆունկցիայի տեսքի՝ որոշում ենք $(U_0 \Delta \dot{U})$ կոմպլեքս մեծության որոշման տիրույթը կոմպլեքս հարթության վրա, ինչպես նաև ստանում ենք $\hat{S}' = U_0 \Delta \dot{U} Y$ կոմպլեքս համալուծ հզորության որոշման տիրույթը $Im(Y) < 0$ (ակտիվ-ինդուկտիվ բնույթ) ճյուղերի համար (նկ. 9):



Նկ. 9. $(U_0 \Delta \dot{U})$ մեծության (ա) և $\hat{S}'$ կոմպլեքս համալուծ հզորության (բ) որոշման տիրույթները ակտիվ-ինդուկտիվ բնույթի ճյուղերի դեպքում

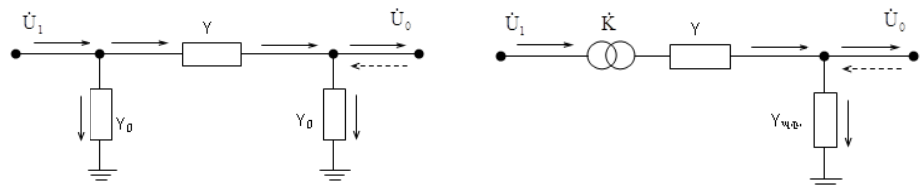
Դիտարկվող ճյուղի սկզբում և վերջում ակտիվ հզորության հոսքերի հնարավոր ուղղությունները բերված են նկ. 10-ում:



Նկ. 10. Ճյուղի ակտիվ հզորության հոսքերի հնարավոր ուղղությունները

Քանի որ [3] աշխատանքում չի դիտարկվում էլեկտրահաղորդման գծերի լայնական ճյուղերի առկայությունը, ուստի ստորև կդիտարկենք վերջիններիս ազդեցությունը ակտիվ հզորության հոսքերի վրա:

Կայունացված ռեժիմների կառուցվածքային վերլուծության խնդրում անհրաժեշտ է հաշվի առնել նաև էլեկտրահաղորդման գծերի լայնական տարրերը (ունակային հաղորդականությունը և պսակաձև պարպման կորուստները մոդելավորող ակտիվ հաղորդականությունը) և տրանսֆորմատորների պարապ ընթացքի գործընթացները մոդելավորող հաղորդականությունը (նկ. 11):



Նկ. 11. Էլեկտրահաղորդման գծում և տրանսֆորմատորում լայնական ճյուղերի առկայության դեպքում ակտիվ հզորության հոսքերի իրական ուղղությունների ցուցադրումը

Ընդունելով էլեկտրահաղորդման գիծը և տրանսֆորմատորը որպես քառաբևեռ (նկ. 11), նրանց՝ ըստ լարման և հոսանքի փոխանցման ֆունկցիաները, որոնք արտահայտվում են կոմպլեքս փոփոխականի կոտորակագծային ֆունկցիաներով [4], կընդունեն հետևյալ տեսքը.

$$\dot{K}_U = \alpha_U \frac{a_U + Y}{b + Y},$$

$$\dot{K}_I = \alpha_I \frac{a_I + Y}{b + Y},$$

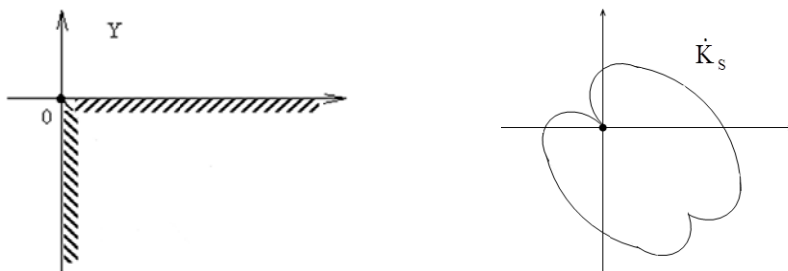
որտեղ $\dot{K}_U$ ($\dot{K}_I$) -ը քառաբևեռի ըստ լարման (հոսանքի) փոխանցման ֆունկցիան է, Y -ը՝ էլեկտրահաղորդման գծի (տրանսֆորմատորի) երկայնական ճյուղի հաղորդականությունը, α_U , α_I , a_U , a_I , b -ն կոմպլեքս հաստատուններ են:

Քառաբևեռի ըստ հզորության փոխանցման ֆունկցիան կլինի.

$$\dot{K}_S = \dot{K}_U^* K_I = \alpha \frac{(a_U + Y) \left(a_I + Y \right)^*}{|b + Y|^2}, \quad (4)$$

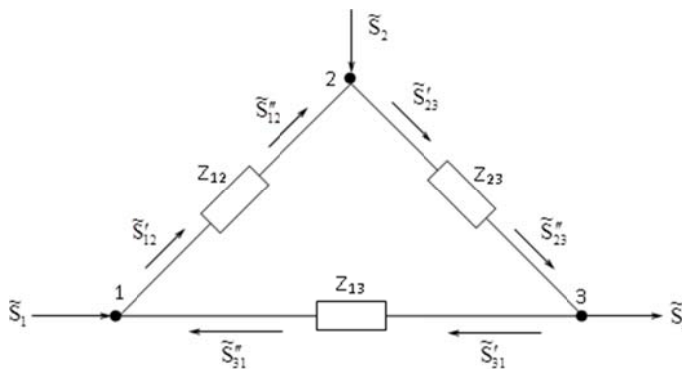
որտեղ $\dot{K}_S$ -ը քառաբևեռի ըստ հզորության փոխանցման ֆունկցիան է, $\alpha = \alpha_U^* \alpha_I$:

Կարելի է ցույց տալ, որ կոմպլեքս փոփոխականի (4) ֆունկցիայով Y կոմպլեքս հարթության չորրորդ քառորդի արտապատկերումը $\dot{K}_S$ հարթության վրա ունի նկ. 12-ում բերված տեսքը:



Նկ. 12. Y կոմպլեքս հարթության չորրորդ քառորդի արտապատկերումը $\dot{K}_S$ հարթության վրա

Դիտարկենք ակտիվ հզորության հոսքերի շրջապատույտը նկ. 13-ում բերված եռահանգույց շղթայում, որի ճյուղերն ուղղորդված են նրանցում ակտիվ հզորության հոսքերի իրական ուղղությամբ:



Նկ. 13. Ակտիվ հզորության հոսքերի շրջապատույտի ցուցադրումը

Նկ. 13-ում բերված սխեմայի համար ունենք՝

$$Z_{12} = 4 + j, \quad Z_{23} = 2 + j, \quad Z_{13} = 1 + j5,$$

$$\dot{U}_1 = 20, \quad \dot{U}_2 = 16.09e^{j5.38}, \quad \dot{U}_3 = 13.15e^{j10.18},$$

$$\begin{aligned}\tilde{S}_1 &= 13.45 + j40.72, \quad \tilde{S}_2 = 3 + j6, \quad \tilde{S}_3 = 6 + j33, \\ \tilde{S}'_{12} &= 16.96 + j11.78, \quad \tilde{S}''_{12} = 12.70 + j10.71, \quad \Delta\tilde{S}_{12} = 4.26 + j1.07, \\ \tilde{S}'_{23} &= 15.70 + j16.71, \quad \tilde{S}''_{23} = 11.63 + j14.68, \quad \Delta\tilde{S}_{23} = 4.07 + j2.03, \\ \tilde{S}'_{31} &= 5.63 - j18.32, \quad \tilde{S}''_{31} = 3.51 - j28.94, \quad \Delta\tilde{S}_{31} = 2.12 - j10.62 : \end{aligned}$$

Նշված օրինակում (նկ. 13) ակտիվ հզորության հոսքերի շրջապատույտը հակասում է ակտիվ հզորության մասին գոյություն ունեցող դասական պատկերացումներին: Նշենք, որ հաստատուն հոսանքի շղթայում հզորության շրջապատույտն անհնար է, քանի որ այն անհամատեղելի է Կիրխոֆի երկրորդ օրենքին՝ հետևյալ նկատառումներով. հաստատուն հոսանքի շղթայում հզորության հոսքի շրջապատույտը հնարավոր է միայն այն դեպքում, եթե գոյություն ունի այնպիսի կոնտուր, որի բոլոր ճյուղերի հոսանքների իրական ուղղությունները համընկնում են այդ կոնտուրի շրջանցման ուղղությանը: Այդպիսի կոնտուրի համար Կիրխոֆի երկրորդ օրենքը բավարարվել չի կարող:

Եզրակացություններ

- Ակտիվ-ինդուկտիվ բնույթի ճյուղերի համար, որոնց հարակից հանգույցների լարումների համար տեղի ունեն $\arg(\dot{U}_0) = 0$ և $0 \leq \arg(\dot{U}_1) \leq \pi$ պայմանները՝
 - ա) $|\dot{U}_1| > U_0$ դեպքում ճյուղի սկզբում և վերջում հնարավոր են նկ. 10-ում բերված ակտիվ հզորության հոսքի ա) և բ) տարբերակները,
 - բ) $|\dot{U}_1| < U_0$ դեպքում ճյուղի սկզբում և վերջում հնարավոր են նկ. 10-ում բերված ակտիվ հզորության հոսքի բոլոր տարբերակները:
- Ցույց է տրված, որ էլեկտրական ցանցում հնարավոր է ստանալ ակտիվ հզորության շրջապատույտ: Այս դեպքում ԷԷՀ-ի կայունացված ռեժիմի կառուցվածքային վերլուծության խնդիրը դառնում է անլուծելի:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

- Сафарян В.С.** Структурный анализ потоков и потерь мощности в электрических цепях // Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН. - 2001. - Т. 54, № 1. - С. 52 - 57.
 - Кристофидес Н.** Теория графов. - М.: Мир, 1978. - 432с.
 - Сафарян В.С.** Анализ направлений потоков активной мощности электрических цепей. Энергетика // Изв. вузов и энерг. объединений СНГ. - 2002. - № 4. - С. 39 - 45.
 - Сафарян В.С.** Применение дробно-линейных функций комплексной переменной к исследованию линейных электрических цепей // Изв. АН АрмССР. Сер. ТН. - 1987. - № 2. - С. 11 - 15.
- «Էներգետիկայի գիտահետազոտական ինստիտուտ» ՓԲԸ: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 10.03.2013:

Л.В. САФАРЯН

**ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРНОГО АНАЛИЗА УСТАНОВИВШИХСЯ РЕЖИМОВ
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ**

Исследуется зависимость направлений потоков активных мощностей для ветвей активно-индуктивного характера от соотношения модулей и аргументов напряжения смежных узлов исследуемой ветви.

Ключевые слова: структурный анализ, ациклический граф, циркуляция активной мощности, модуль и аргумент напряжения.

L.V. SAFARYAN

**PECULIARITIES OF STRUCTURAL ANALYSIS OF THE ESTABLISHED REGIMES
OF THE ELECTRIC POWER SYSTEM**

The dependence of the active power flow directions on the branch conductance and the ratio of voltage modules and arguments of its adjacent nodes is studied for networks with active and inductive branches.

Keywords: structural analysis, acyclic graph, circulation of active energy, voltage module and argument.