

UOT 621.316

**ELEKTRİK SİSTEMLƏRİNDƏ ÜÇFAZALI QISAQAPANMA
CƏRƏYANLARININ HESABLANMASI****SADIQOV Q.S.***Azərbaycan Texniki Universiteti*

Məqalə elektrik sistemlərində üçfazlı qısaqapanma cərəyanlarının EHM-də hesablanması alqoritminin işlənməsinə həsr olunmuşdur. Düyün gərginlikləri tənlikləri vasitəsi ilə sistemin xarakterik nöqtələrindəki gərginliklərin, Kirxhof qanunları ilə ayrı-ayrı elementlərdən axan qısaqapanma cərəyanlarının hesablanması ümumiləşdirilmiş ifadələri verilmişdir.

Qısaqapanma (QQ) cərəyanlarının hesablanması funksional məsələlərə aiddir. O, rele mühafizəsi və avtomatika qurğularının, torpaqlayıcı quruluşların layihələndirilməsi və iş rejiminin təhlili, elektroenergetika sisteminin lokal obyektlərinin birləşmə sxemlərinin və avadanlıqlarının seçilməsi, elektrik şəbəkələrinin istismarı zamanı avadanlıqların termiki və dinamik dayanıqlığa görə layihələndirilməsi və qiymətləndirilməsi kimi texnoloji məsələlərin tərkib hissəsini təşkil edir.

Elektrik sistemi (ES) bir-biri ilə müəyyən sxem üzrə birləşdirilən elementlərdən - generatorlardan, transformatorlardan, elektrik veriliş xətlərindən, reaktorlardan, uzununa və eninə kompensasiya qurğularından, həmçinin elektrik enerjisi qəbul edənlərindən (elektrik mühərriklərindən) təşkil olunur. Bu elementlərin sayı çoxaldıqca elektrik birləşmə sxemləri mürəkkəbləşir. Onlarda qısaqapanma iş rejimlərini hesablamaq xeyli çətinləşir. Ona görə bu cür rejimlərin hesablanması EHM-in köməyi ilə həyata keçirilir.

Sistemin çoxlu sayda budaqlanmalara və mürəkkəbliyə malik olmasına görə QQ cərəyanlarının hesablanması məsələləri həmişə öz aktuallığını saxlayır [1-5].

Mürəkkəb şəbəkədəki elektrik parametrlərinin hesablanması çoxlu sayda üsulları vardır. Kontur cərəyanları, düyün gərginlikləri, ekvivalent generator, qondarma, sxemin ardıcıl çevrilməsi metodları [3] bunlara aid edilir. Prinsipcə bu metodlardan hər biri QQ cərəyanlarının hesablanmasına tətbiq oluna bilər. Ancaq bu üsulların hər birinin digərinə nəzərən üstün və mənfi cəhətləri vardır. Məsələn, rele mühafizəsi dövrləri üçün QQ cərəyanlarının hesablanmasında kontur cərəyanları metodunu istifadə etmək praktiki olaraq əlverişli deyildir. Çünki asılı olmayan konturların seçilməsi üçün şəbəkənin topologiyasının əvvəlcədən qiymətləndirilməsi böyük çətinlik törədir. İlk sxemdə dəyişiklik olduqda asılı olmayan konturlar sisteminin yenidən işlənməsi tələb olunur.

EHM-in spesifik xüsusiyyəti mürəkkəb konfigurasiyalı şəbəkənin parametrlərini matris şəklində istifadə etməyə imkan verir. Hesablamaların rahat aparılması nöqtəyənəzərindən istənilən gərginlikli şəbəkənin mühüm xüsusiyyəti ondan ibarətdir ki, bütün mənbələri (generatorlar, stansiyalar, ekvivalent sistemlər) əvəz sxemində ekvivalent elektrik hərəkət qüvvələri (e.h.q.) və induktiv müqavimətlər, passiv elementləri (transformatorlar, elektrik veriliş xətləri, reaktorlar) isə aktiv-induktiv müqavimətlər şəklində göstərmək olur. Tədqiqatlar göstərir ki, bu halda düyün gərginlikləri metodu praktiki cəhətdən daha sərfəlidir [4,5], asan proqramlaşdırılır, mürəkkəb elektrik sistemlərində üçfazlı qısaqapanma cərəyanlarının hesablanması üçün daha məqsədəuyğundur və aşağıdakı kimi həyata keçirilir.

$$\left. \begin{aligned} \sum_{j=1}^n (b_{ij}U_{rj} + g_{ij}U_{aj}) &= -E_{ai} \cdot g_{i,n+1} - E_{ri} \cdot b_{i,n+1} \\ \sum_{j=1}^n (g_{ij}U_{rj} - b_{ij}U_{aj}) &= -E_{ri} \cdot g_{i,n+1} + E_{ai} \cdot b_{i,n+1} \end{aligned} \right\} i = \overline{1, n}$$

burada U_{ai}, U_{ri} - i -ci düyünün gərginliyinin həqiqi və xəyali hissələridir, $\underline{U}_i = U_{ai} + jU_{ri}$; E_{ai}, E_{ri} - i -ci düyünə qoşulan e.h.q.-nin həqiqi və xəyali hissələridir, $\underline{E}_i = E_{ai} + jE_{ri}$.

Bu tənliklərin həlli əsasında düyün gərginlikləri təyin edilir.

Hesablamalar zamanı tənliklər sisteminin Qaus və ya tərs matris üsulu ilə həllinin alt proqramlarından istifadə etmək olar.

Fərz edək ki, riyazi olaraq tənliklər sistemi aşağıdakı kimi yazılır:

$$\sum_{j=1}^{2n} A_{ij} X_j = A_{i,2n+1}$$

Alt proqrama müraciət edərkən Qaus üsulunda A əmsalları aşağıdakı kimi qəbul olunur:

$$\begin{aligned} A_{ij} &= g_{ij}; \quad i = \overline{1, n}; \quad j = \overline{1, 2n}; \quad j \leq n; \\ A_{ij} &= b_{ij}; \quad i = \overline{1, n}; \quad j = \overline{1, 2n}; \quad j > n; \\ A_{ij} &= -b_{i-n, j}; \quad i = \overline{n+1, 2n}; \quad j = \overline{1, 2n}; \quad j \leq n; \\ A_{ij} &= g_{i-n, j-n}; \quad i = \overline{n+1, 2n}; \quad j = \overline{1, 2n}; \quad j > n; \\ A_{i, 2n+1} &= -E_{ai} \cdot g_{i, n+1} - E_{ri} \cdot b_{i, n+1}; \quad i = \overline{1, n}; \\ A_{i+n, 2n+1} &= -E_{ri} \cdot g_{i, n+1} + E_{ai} \cdot b_{i, n+1}; \quad i = \overline{1, n}. \end{aligned}$$

Alt proqramın köməyi ilə dəyişənlərin X_j ($j = \overline{1, 2n}$) qiymətləri tapılır. Hər hansı j düyünü üçün gərginliklərin qiyməti isə belə olur:

$$\begin{aligned} U_{aj} &= X_j; \quad j = \overline{1, n}; \\ U_{rj} &= X_j; \quad j = \overline{n+1, 2n}; \\ U_j &= \sqrt{U_{aj}^2 + U_{rj}^2}; \quad j = \overline{1, n}. \end{aligned}$$

Düyün gərginliklərinin qiymətinin tapılması ilə qısaqapanma rejiminin hesablanması ilkin mərhələsi sona çatır.

ES-nin qısaqapanma rejiminin hesablanması ikinci mərhələsi, yəni ayrı-ayrı elementlərdən axan cərəyanların tapılması aşağıdakı kimi həyata keçirilir.

Sistemin i və j düyünlərinə qoşulan \underline{Z}_{ij} , həmçinin i və $n+1$ düyünlərinə qoşulan $\underline{Z}_{i, n+1}$ müqavimətlərindən axan cərəyanların müvafiq qiymətləri aşağıdakı ifadələrlə tapılır:

$$\begin{aligned} \underline{I}_{ij} &= -\frac{(\underline{U}_i - \underline{U}_j) \cdot \underline{Y}_{ij}}{\sqrt{3}}; \quad I_{ij} = \sqrt{I_{ija}^2 + I_{ijr}^2}; \\ \underline{I}_{ija} &= -\frac{(U_{ai} - U_{aj}) \cdot g_{ij} + (U_{ri} - U_{rj}) \cdot b_{ij}}{\sqrt{3}}; \\ \underline{I}_{ijr} &= -\frac{(U_{ri} - U_{rj}) \cdot g_{ij} + (U_{ai} - U_{aj}) \cdot b_{ij}}{\sqrt{3}}; \\ \underline{I}_{i, n+1} &= -\frac{(\underline{E}_i - \underline{U}_i) \cdot \underline{Y}_{i, n+1}}{\sqrt{3}}; \quad I_{i, n+1} = \sqrt{(I_{ai, n+1})^2 + (I_{ri, n+1})^2}; \end{aligned}$$

$$I_{ai,n+1} = -\frac{(E_{ai} - U_{ai}) \cdot g_{i,n+1} + (E_{ri} - U_{ri}) \cdot b_{i,n+1}}{\sqrt{3}};$$

$$I_{ri,n+1} = -\frac{(E_{ri} - U_{ri}) \cdot g_{i,n+1} - (E_{ai} - U_{ai}) \cdot b_{i,n+1}}{\sqrt{3}};$$

Yuxarıda göstərilən alqoritmə uyğun olaraq ES-nin QQ rejiminin EHM-də hesablanması üçün proqram tərtib olunmuşdur. Hesablama alqoritminin blok-sxemi şəkil 1-də göstərilmişdir.

QQ cərəyanlarının periodik toplananlarının başlanğıc andakı qiymətlərinin EHM-də hesablanması baxaq. Fərz edək ki, ES-nin elektrik birləşmə sxemi şəkil 2,a-da, ona uyğun əvəz sxemi isə şəkil 2,b-də göstəriləyi kimidir. ES-nin elektrik birləşmə sxeminin ilkin parametrləri belədir:

G1,G2,G3 generatorları TBΦ tiplidir,

$$S_{nom} = 63MVA, x_{d*(nom)}'' = 0,153, \cos \varphi_{nom} = 0,8;$$

GS energetika sistemidir, $U_{or} = 115kV$, $I_{a4,nom} = 20kA$;

T1,T2 transformatorları ТДЦ-63000/110 tiplidir,

$$S_{nom} = 63MVA, U_{y,nom} = 115kV, U_{a,nom} = 10,5kV, u_k = 10,5\%;$$

LR1,LR2 reaktorları РБДГ-10-2500-0,25 tiplidir, $x_r = 0,25Om$, $I_{nom} = 2,5kA$;

LR3 reaktoru РБДГ-10-3500-0,35 tiplidir, $x_r = 0,35Om$, $I_{nom} = 3,5kA$;

W1 elektrik veriliş xəttidir, $x_x = 0,333Om$, $U_{or} = 115kV$.

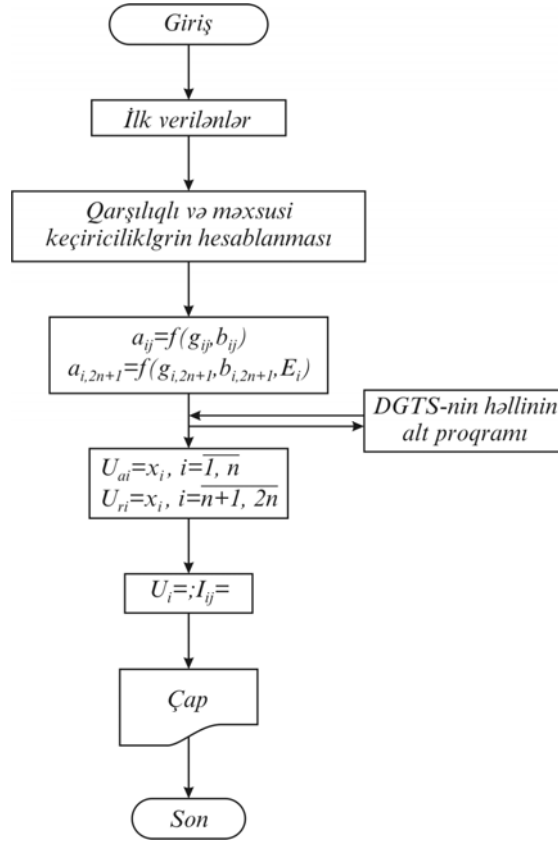
Bazis gərginliyini $U_b = 10,5kV$ qəbul edərək hesablamaları adlı vahidlərdə yerinə yetirək. Bu qiymətlər əsasında əvəz sxeminin parametrləri hesablanmış və şəkil 2,b-də göstərilmişdir. Şəkildən görüldüyü kimi əvəz sxemində düyün nöqtələrinin sayı artırılmışdır. Bunun səbəbi aşağıdakı kimi izah olunur:

K1 nöqtəsində QQ baş verdiyi halda G3 generatoru və LR3 reaktorunun paralel birləşməsi 1 və 2 düyün nöqtələri arasında iki qol əmələ gətirir. DGTS-nin tərtibi və həlli zamanı bu halı nəzərə alaraq onlardan axan cərəyanları ayrılıqda tapmaq olmur. Bunu aradan qaldırmaq üçün əvəz sxemində LR3 reaktorunun müqaviməti şərti olaraq iki ardıcıl hissəyə parçalanaraq düyün nöqtələrinin sayı bir ədəd artırılmışdır. Bu halda reaktorun müqaviməti sxemə $X_r = X_{1,2} + X_{1,6} = 0,2 + 0,15$ kimi daxil edilmişdir.

K2 nöqtəsində qısaqapanma baş verdikdə QQ nöqtəsinə axan cərəyana G3 mənbəyinin yaratdığı cərəyanla digər mənbələrin yaratdığı cərəyanların cəmi kimi baxmaq olar. Bu halı birgə şəkildə DGTS-yə daxil etmək mümkün olmur və deməli, yekun QQ cərəyanı tapıla bilmir. Bu çətinliyi aradan qaldırmaq üçün iki üsul təklif olunur:

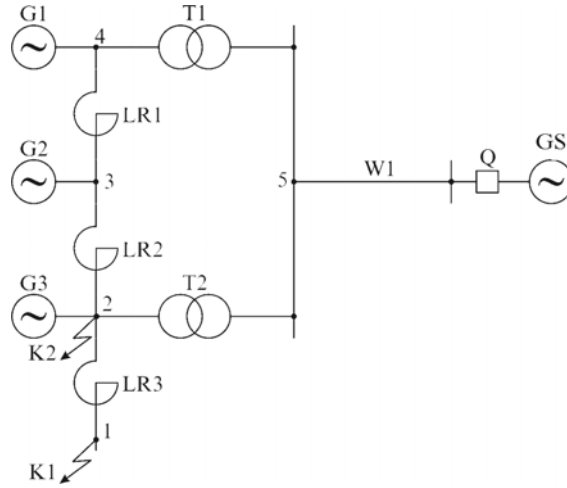
1) K2 nöqtəsinə şərti olaraq qiymətcə bərabər olan ardıcıl birləşdirilmiş aktiv R və fiktiv ($-R$) müqavimətləri birləşdirərək düyün nöqtələrinin sayını iki ədəd artırmaq;

2) Yenə də şərti olaraq K2 nöqtəsinə qiymətcə bərabər olan induktiv X_i və tutum X_c müqavimətlərini ardıcıl qoşmaqla düyün nöqtələrinin sayını iki ədəd artırmaq. Hər iki hala uyğun əvəz sxemi yenə də şəkil 2,b-dəki kimi olur.

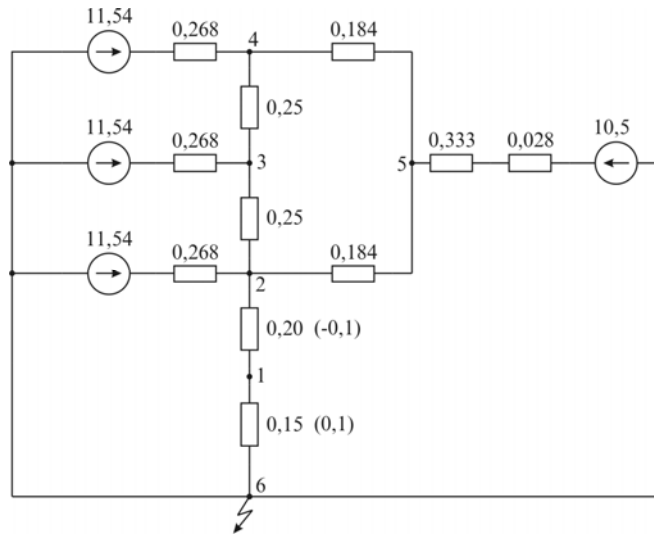


Şəkil 1. Hesablama alqoritminin blok-sxemi

Birinci hala $R + (-R) = 0, 1 + (-0,1) = 0$, ikinci hala isə $j(X_i - X_c) = j(0,1 - 0,1) = 0$ uyğun gəlir ki, bunlar şəkildə mötərizə içərisində göstərilmişdir.



a)



b)

Şəkil 2. ES-nin elektrik birləşmə sxemi və ona uyğun əvəz sxemi

Əvəz sxeminə müvafiq olaraq ES-nin K1 və K2 nöqtələrində QQ olarkən EHM-in köməyi ilə hesablamalar aparılmış və alınan nəticələr cədvəldə göstərilmişdir. Cədvəldə ES-nin düyün nöqtələrindəki gərginliklərin və elementlərindən axan QQ cərəyanlarının periodik toplananlarının başlanğıc andakı qiymətləri təsvir olunmuşdur. Bunlar generator gərginliyinə gətirilmiş qiymətlərdir.

Cədvəl. QQ-lərin EHM-də hesablanması nəticələri

i	Düyün gərginlikləri, kV		Elementlərdən axan QQ cərəyanları, kA		
	K1	K2	i-j	K1	K2
1	3.6242	9.4723	1 - 2	13.966	54.753
2	8.4564	0	1 - 6	13.966	54.753
3	10.0629	6.1236	2 - 3	3.714	54.159
4	10.2916	7.1944	2 - 5	3.601	15.705
5	9.6027	4.9991	2 - 6	6.651	24.890
6	0	0	3 - 4	0.529	2.476
			3 - 6	3.186	11.682
			4 - 5	2.164	6.897
			4 - 6	2.693	9.373
			5 - 6	1.437	8.808

NƏTİCƏ

Elektrik sistemlərində üçfazlı qısaqapanma yarandıqda onun xarakterik nöqtələrindəki gərginliklərin, ayrı-ayrı elementlərindən axan qısaqapanma cərəyanlarının EHM-də hesablanması üçün alqoritm və proqram işlənmişdir ki, bu da istənilən konfigurasiyaya malik sistemin elementləri üzrə qısaqapanma cərəyanlarının paylanması tapmağa imkan verir. Proqram elektrik sistemlərinin layihələndirilməsində və tədris prosesində istifadə oluna bilər.

1. *Быстров В.П., Кимельман Л.Б.* О разработке комплекса программ расчета токов короткого замыкания.- *Электричество*, 1988, № 8.
2. *Беляков Ю.С.* Отклик на статью Быстрова В.П. и Кимельмана Л.Б. «О разработке комплекса программ расчета токов короткого замыкания», опубликованную в журнале *Электричество*, 1988, №8.- *Электричество*, 1989, № 12. Там же ответ авторов.
3. *Идельчик В.И.* Электрические системы и сети. -М: Энергоатомиздат, 1989.-592 с.
4. *Süleymanlı E.H.* Elektrik sistemlərində keçid prosesləri. 1 hissə. Dərslik - Bakı: Maarif, 2001.
5. *Sadiqov Q.S., Orucov N.İ.* Sənaye müəssisələrinin elektrik təchizatı.-Bakı, AzTU-nun nəşriyyatı, 2004.

РАСЧЕТ ТОКОВ ТРЕХФАЗНОГО КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

САДЫГОВ Г.С.

Данная статья посвящена разработке алгоритма расчета токов трехфазного короткого замыкания с помощью ЭВМ в электрических системах. Даны обобщенные формулы для расчета узловых напряжений в характерных точках системы и токов короткого замыкания отдельных элементов системы. При этом использованы методы уравнения узловых напряжений и закона Кирхгофа.

CALCULATION OF CURRENTS OF THREE-PHASE SHORT CIRCUIT IN ELECTRIC SYSTEMS

SADIGOV G.S.

Given article is devoted development of algorithm of calculation of currents of three-phase short circuit by means of the computer in electric systems. The generalized formulas for calculation of central voltage in characteristic points of system and currents of short circuit of separate elements of system are given. Thus methods of the equation of central voltage and law Kirchhoff are used.