

UOT 621.311.064.1.001.24

## GENERATOR DÜYÜN LƏRİ $P-U$ ŞƏKLİNDƏ VERİLƏN ELEKTRİK SISTEMİNİN QƏRARLAŞMIŞ REJİMLƏRİNİN HESABI

SÜLEYMANLI L.E.

*BiPi Eksploreyşn Ltd*

Elektrik sistemlərinin qərarlaşmış rejimlərinin hesablayıcı maşınlar üçün tərtib olunmuş proqramların alqoritmi güclərin yaxud cərəyanların balansını ifadə edən qeyri-xətti düyün tənliklərinin həllinə əsaslanır. Məqalədə təklif olunan üsul sistemin generator düyünləri  $P-U$  şəklində verildikdə onların kompleks əmsallarla yazılmış tənliklərinin iterativ yolla həllini sadələşdirməyə imkan verir.

Elektrik sistemlərinin qərarlaşmış rejimlərinin hesabı adətən düyün gərginlikləri tənlikləri (DGT) üzrə aparılır. Həmin tənliklər  $n$  sayda müstəqil düyünü olan sistem üçün belə yazılır: güclərin balansı şəklində –

$$\widehat{U}_i Y_{ii} \dot{U}_i + \widehat{U}_i \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n Y_{ij} \dot{U}_j = \widehat{S}_i - \widehat{U}_i Y_{ib} \dot{U}_b, \quad (1)$$

yaxud cərəyanların balansı şəklində –

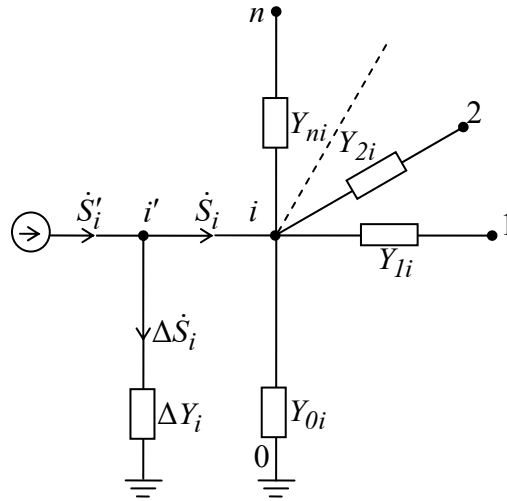
$$Y_{ii} \dot{U}_i + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n Y_{ij} \dot{U}_j = \frac{P_i - jQ_i}{\widehat{U}_i} - Y_{ib} \dot{U}_b. \quad (2)$$

Burada  $Y_{ii}$  –  $i$  düyününün məxsusi keçiriciliyi, yəni  $i$  düyününə birləşən bütün budaqların keçiriciliklərinin cəmi;  $Y_{ij}$  –  $i$  və  $j$  düyünləri arasındakı qarşılıqlı keçiricilik, yəni  $i$  və  $j$  düyünlərini birləşdirən budağın əks işarə ilə keçiriciliyi;  $Y_{ib}$  –  $i$  və  $b$  düyünləri arasındakı qarşılıqlı keçiricilik, yəni  $i$  və  $b$  düyünlərini birləşdirən budağın əks işarə ilə keçiriciliyi;  $U_i$ ,  $U_j$ ,  $U_b$  –  $i$ ,  $j$ ,  $b$  (bazis) düyünlərinin gərginliyi;  $\widehat{U}_i$  – gərginliyin qoşma-kompleks qiyməti;  $P_i$ ,  $Q_i$  –  $i$  düyününün aktiv və reaktiv gücüdür.

Müstəqil düyünlər sistemdəki generator düyünlərinə, yük düyünlərinə, yaxud da sxemdə istənilən digər düyünə aid ola bilər. Generator düyünlərini araşdıraq. Generator düyünü dedikdə oraya birləşən ayrı-ayrı elektrik stansiyaları, iri sinxron kompensatorlar, həmçinin elektrik sisteminin bir hissəsini təmsil edən ekvivalent mənbə (generator) nəzərdə tutulur. Həmin düyünlərin tənliyində dörd rejim parametri iştirak edir: generatorun aktiv ( $P$ ) və reaktiv ( $Q$ ) gücü, düyündəki gərginliyin modulu ( $U$ ) və faza bucağı ( $\delta$ ). Bunlardan ikisi müstəqil dəyişən kimi qəbul edilir və onların qiyməti məsələnin başlanğıc şərtlərindən məlum olur [1]. Adətən müstəqil dəyişən olaraq  $P$ ,  $Q$  yaxud  $P, U$  parametrləri qəbul edilir, yəni generator düyünləri  $P-Q$  yaxud  $P-U$  şəklində verilir. Onda DGT - nin həllindən 1-ci halda  $U$  və  $\delta$ , 2-ci halda isə  $\delta$  və  $Q$  kəmiyyətləri tapılır.

Qeyd edək ki, generator düyünləri  $P - U$  şəklində verildikdə reaktiv gücün qiyməti məlum olmadığından (1) və (2) tənliklərini birbaşa həll etmək mümkün olmur və əlavə hesabat aparmaq lazım gəlir ki, bu da məsələnin həllini mürəkkəbləşdirir [2]. Bu məqsədlə təklif olunan aşağıdakı sadələşdirici üsuldən istifadə etdikdə hesabat xeyli asanlaşır.

Sistemin əvəz sxemində generator düyünlərinin hər birinə uyğun  $\Delta Y_i$  keçiriciliyini əlavə edək və onu generator düyünü ilə sxemin sıfır nöqtəsi arasına qoşaq (şəkil 1); burada  $Y$ -lər uyğun bucaqların keçiriciliyidir.



Şəkil 1. Sistemin  $i$  düyününə görə əvəz sxemi

Aydındır ki, bu əməliyyat müstəqil düyünlər arasındakı qarşılıqlı keçiriciliklərə təsir göstərmir, lakin  $i$  düyününün məxsusi keçiriciliyini  $Y_{ii}$ -dən  $Y'_{ii}$ -dək dəyişmiş olur.  $\Delta Y_i$  keçiriciliyinin qiyməti elə seçilir ki, onun qoşulduğu düyünün məxsusi keçiriciliyi sıfıra bərabər olsun, yəni

$$Y'_{ii} = Y_{ii} + \Delta Y_i = 0 \quad (i = \overline{1, n}).$$

Buradan

$$\Delta Y_i = -Y_{ii} = -g_{ii} + jb_{ii} = \sum_{j=0}^n Y_{ij}.$$

Dövrəyə  $\Delta Y_i$  keçiriciliyinin qoşulması sayəsində  $i$  generator düyününün gücü müəyyən  $\Delta S_i$  qədər dəyişir,

$$\Delta S_i = U_i^2 \Delta \widehat{Y}_i = -U_i^2 g_{ii} - jU_i^2 b_{ii};$$

$$\Delta P_i = -U_i^2 g_{ii}; \quad \Delta Q_i = -U_i^2 b_{ii}.$$

Belə olduqda sistemin ilkin rejimi dəyişmiş olur ki, bu da yolverilməzdir. Sistemin əvvəlki rejimini saxlamaq üçün generatorların gücünü  $P'_i$  və  $Q'_i$  qiymətə dəyişdiririk:

$$\left. \begin{aligned} P'_i &= P_i + \Delta P_i = P_i - U_i^2 g_{ii}; \\ Q'_i &= Q_i + \Delta Q_i = Q_i - U_i^2 b_{ii}. \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Əvəz sxemində  $P'_i$ ,  $Q'_i$ ,  $P_i$ ,  $Q_i$  güclərini əks etdirmək üçün şəkildə fiktiv  $i'$  düyünü göstərilə bilər, həqiqətdə isə  $i$  və  $i'$  düyünləri üst-üstə düşür. Belə ki,  $i$  düyününün gücləri  $P_i$ ,  $Q_i$ ,  $i'$  düyünününkü isə  $P'_i$ ,  $Q'_i$ -dir.

İndi sistemin hesabat düyünləri olaraq  $i' = \overline{l', n'}$  düyünlərini qəbul edib, (1) DGT-ni yazaq:

$$\widehat{U}_i Y'_{ii} \dot{U}_i + \widehat{U}_i \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n Y_{ij} \dot{U}_j + \widehat{U}_i Y_{ib} \dot{U}_b = P'_i - jQ'_i,$$

yaxud  $Y'_{ii} = 0$  olduğunu nəzərə alsaq

$$\widehat{U}_i \left( \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n Y_{ij} \dot{U}_j + Y_{ib} \dot{U}_b \right) = P'_i - jQ'_i. \quad (4)$$

(4) tənliyində mötərizədəki yekun kompleks kəmiyyəti

$$\dot{B}_i = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n Y_{ij} \dot{U}_j + Y_{ib} \dot{U}_b = B_i \angle \beta_i \quad (5)$$

işarə edək,  $B_i$ ,  $\beta_i$  –  $\dot{B}_i$  kəmiyyətinin modulu və arqumentidir. Onda (4) tənliyi aşağıdakı şəkllə düşər:

$$\widehat{U}_i \dot{B}_i = P'_i - jQ'_i,$$

buradan

$$U_i = \frac{P'_i + jQ'_i}{\widehat{B}_i}. \quad (6)$$

Beləliklə, təklif olunan üsula uyğun olaraq sistemin əvəz sxemində generator düyünlərinə müvafiq keçiriciliklər qoşmaqla düyünlərin məxsusi keçiriciliyi sıfıra bərabərləşdirilir. Onda DGT sadələşir ki, bu da hesabat üçün əlverişlidir.

İndi (4) tənliklərinin Zeydel üsulu ilə həllinə baxaq. Generator düyünü  $P-U$  şəklində verilmişsə,  $\dot{U}_i$  gərginliyinin faza bucağının  $k$ -cı iterasiyadakı qiyməti ( $\delta_i^{(k)}$ ) (6) düsturunu üzrə tapılır. Həmin düsturu belə yazırıq:

$$U_i B_i^{(k)} \angle (\delta_i^{(k)} - \beta_i^{(k)}) = P'_i + jQ'_i.$$

Sonuncu tənliyin sol və sağ tərəflərinin həqiqi və xəyali hissələrini uyğun olaraq bərabərləşdirməklə alırıq:

$$U_i B_i^{(k)} \cos(\delta_i^{(k)} - \beta_i^{(k)}) = P'_i; \quad (7)$$

$$U_i B_i^{(k)} \sin(\delta_i^{(k)} - \beta_i^{(k)}) = Q_i' \quad (8)$$

(7) bərabərliyindən  $\delta_i^{(k)}$  tapılır:

$$\cos(\delta_i^{(k)} - \beta_i^{(k)}) = \frac{P_i'}{U_i B_i^{(k)}} \quad (9)$$

Burada  $P_i'$  aktiv gücü (3) düsturu üzrə,  $B_i^{(k)}$  və  $\beta_i^{(k)}$  kəmiyyətləri isə (5) ifadəsinə görə hesablanır:

$$\dot{B}_i^{(k)} = \sum_{j=1}^{i-1} Y_{ij} \dot{U}_j^{(k)} + \sum_{j=i+1}^n Y_{ij} \dot{U}_j^{(k-1)} + Y_{ib} \dot{U}_b \quad (10)$$

$\delta_i^{(k)}$  məlum olduqda (8) düsturu üzrə  $Q_i^{(k)}$  tapılır və (3) düsturundan  $Q_i^{(k)}$  təyin edilir:

$$Q_i^{(k)} = Q_i'^{(k)} + U_i^2 b_{ii}$$

Göründüyü kimi, sistemin generator düyünlərinin tənliyini yuxarıda göstərilən qaydada həll etdikdə, generatorun reaktiv gücünün ilkin rejimdə məlum olmaması sayəsində yaranan çətinlik aradan qalxır və hesabat sadələşir.

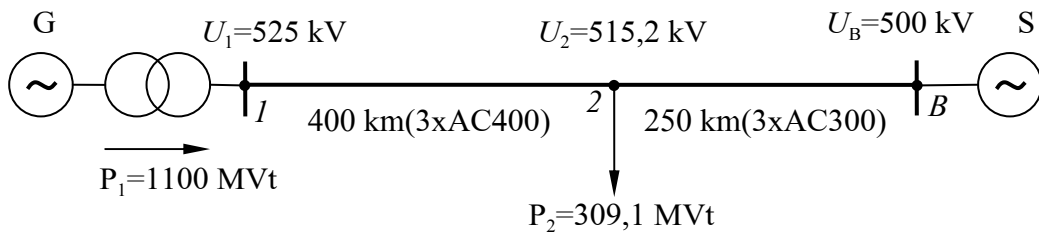
Sonda qeyd edək ki, (9) ifadəsini riyazi yolla daha asan almaq olar. Bunun üçün (1) tənliyinin sol tərəfindəki birinci həddi tənliyin sağ tərəfinə keçirib, sonra isə sol və sağ tərəflərin həqiqi və xəyali hissələrini uyğun olaraq bir-birinə bərabərləşdirmək lazımdır.

*Misal.* Şəkil 2-də göstərilən sxemdə  $G$  ekvivalent generatoru 500 kV-luq hava xətti vasitəsilə  $S$  qəbuledici sistemi ilə əlaqələnməmişdir. Xəttin 2 düyünündən alçaldıcı yarımstansiya bəslənir və buradakı sinxron kompensator  $U_2$  gərginliyinin qiymətini sabit saxlayır. Sxemin 1 və 2 düyünləri  $P-U$  şəklində verilmişdir, yəni onların aktiv gücü və gərginliyi məlumdur:  $P_1=1100$  MVt,  $U_1=525$  kV;  $P_2=309,1$  MVt,  $U_2=515,2$  kV. Balanslayıcı və bazis düyünü olaraq qəbuledici sistemin  $B$  düyününü qəbul edirik,  $\dot{U}_B = const = 500 \angle 0^\circ$  kV.

Sxemin düyünlərinin məxsusi və qarşılıqlı keziriciliklərinin qiyməti xəttin tutumunu nəzərə almaqla, belədir ( $1/\text{Om}$ ):

$$Y_{11} = 7,42 \cdot 10^{-3} \angle -84^\circ 52'; \quad Y_{22} = 20,97 \cdot 10^{-3} \angle -84^\circ 21'; \\ Y_{12} = 8,14 \cdot 10^{-3} \angle 94^\circ 40'; \quad Y_{1B} = 0; \quad Y_{2B} = 12,825 \cdot 10^{-3} \angle 96^\circ 15'.$$

Tələb olunur: sistemin güclər balansını şəklində kompleks əmsallarla yazılmış DGT-ni Zeydel üsulu ilə, məqalədə göstərilən qaydada həll etməli.



Şəkil 2. Elektrik sisteminin sxemi

Həlli. (9) ifadəsinə uyğun olaraq  $U_1$  və  $U_2$  gərginliklərinin faza bucağı  $(\delta_1^{(k)}, \delta_2^{(k)})$  belə təyin edilir:

$$\cos(\delta_1^{(k)} - \beta_1^{(k)}) = \frac{P_1'}{U_1 B_1^{(k)}}; \quad (11)$$

$$\cos(\delta_2^{(k)} - \beta_2^{(k)}) = \frac{P_2'}{U_2 B_2^{(k)}}. \quad (12)$$

Burada, (3) və (10) ifadələrinə görə:

$$P_1' = P_1 - U_1^2 g_{11} = 917,26 \text{ MVt};$$

$$P_2' = P_2 - U_2^2 g_{22} = -856,15 \text{ MVt};$$

$$\dot{B}_1^{(k)} = Y_{12} \dot{U}_2^{(k-1)} + Y_{1B} \dot{U}_B;$$

$$\dot{B}_2^{(k)} = \dot{U}_1^{(k)} Y_{12} + \dot{U}_B Y_{2B}.$$

Bucaqların ilkin qiyməti  $\delta_1^{(0)} = 0$ ;  $\delta_2^{(0)} = 0$ .

Hesabat (11) və (12) düstürları üzrə aparılmış, alınan nəticə cədvəldə göstərilmişdir.

	Cədvəl								
k	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$\delta_1^{(k)}$ , dər	29,27	37,33	40,32	41,4	41,79	41,93	41,98	41,99	42,00
$\delta_2^{(k)}$ , dər	8,07	11,05	12,13	12,52	12,66	12,71	12,72	12,73	12,74

Beləliklə bucaqların qərarlaşmış qiyməti  $\delta_1 = 42^\circ$ ,  $\delta_2 = 12,74^\circ$ .

1. Идельчик В.И. Расчеты и оптимизация режимов электрических сетей и систем. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 288 с.
2. Электрические системы и сети в примерах и иллюстрациях / Под ред. В.А. Строева. - М.: Высшая школа, 1999. – 352 с.

## **РАСЧЕТ УСТАНОВИВШИХСЯ РЕЖИМОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ С ГЕНЕРАТОРНЫМИ УЗЛАМИ, ЗАДАННЫМИ В ФОРМЕ $P-U$**

**СУЛЕЙМАНЛЫ Л.Э.**

Предложен способ, который позволяет упростить расчеты установившихся режимов электрических систем, когда генераторные узлы заданы в форме  $P-U$ , а их уравнения записаны в виде баланса мощностей с комплексными коэффициентами. Он основан на введении в схему замещения системы дополнительных проводимостей, включенных в генераторные узлы, с целью приравнивания к нулю их собственных проводимостей. Для случая расчета методом Зейделя получена простая формула определения значения фазового угла напряжений узлов.

## **CALCULATION OF ELECTRICAL SYSTEMS STEADY REJIMS WITH GENERATING NODES GIVEN IN $P-U$ FORM**

**SULEYMANLI L.E**

The method is offered which allows to simplify calculation of electrical systems steady rejims when generating nodes are given in  $P-U$  form and their equations are written down as a balance of powers with complex coefficients. They are solved by the Zeydels method. It is based on inclusion additional conductances to an systems equivalent diagram switched on generating nodes, with the purpose of equating their own conductances to zero. The simple definition formula of nodes voltages phase angle value is gained for a case of calculation with the Zeydels method.