

## Վ.Պ. ԱՌԱՔԵԼՅԱՆ, Լ.Ա. ՀԱԿՈԲՅԱՆ

## ՕՐԱՅԻՆ ԳԾԵՐԻ ԱՌԱՋՆԱՅԻՆ ՊԱՐԱՄԵՏՐԵՐԻ ՈՐՈՇՄԱՆ ՄԵԹՈԴ՝ ՀԻՄՆՎԱԾ ԷԼԵԿՏՐԱՄԱԳՆԻՍԱԿԱՆ ԴԱՇՏԵՐԻ ՀԱՇՎԱՐԿԻ ՎՐԱ

Ներկայացվում է օդային գծերի առաջնային պարամետրերի որոշման մեթոդ, որը հիմնված է Մաքսվելի հավասարումների վերլուծական (անալիտիկ) լուծման արդյունքների վրա:

**Առանցքային բառեր.** օդային գիծ, էլեկտրամագնիսական դաշտ, ներքին դիմադրություն, արտաքին դիմադրություն:

Այսօր Հայաստանում քննարկվում են դեպի հարևան երկրներ էլեկտրաէներգիայի արտահանման հնարավորությունները: Այդ մասին են վկայում այսօր գործող և նախագծման փուլում գտնվող մի շարք մեծ և փոքր ՀԷԿ-երը: Բացի դրանից ՀՀ էներգետիկայի նախարարությունում քննարկվում են նոր ԱԷԿ-ի կառուցման մի շարք նախագծեր: Հաշվի առնելով մեր երկրի էներգետիկ պոտենցիալը, կարելի է եզրակացնել, որ մոտ ապագայում Հայաստանը տա-րածաշրջանում կարող է դառնալ էլեկտրաէներգիա արտահանող պետություն: Եվ բնական է, որ այսօր միջպետական էլեկտրաէներգետիկական կապերի խնդրի լուծումը շարունակում է մնալ Հայաստանի համապատասխան կառուցվածքների ուշադրության կենտրոնում [1]:

Այս պայմաններում կարևորելով օդային գծերը (ՕԳ) որպես միջպետական էլեկտրաէներգետիկական կապեր և որպես էլեկտրաէներգետիկական համա-կարգերը կապող օղակներ, առաջարկվում է գծերի առաջնային պարամետրերի որոշման նոր մեթոդ:

Ինչպես հայտնի է, ՕԳ-երի առաջնային պարամետրեր են համարվում դրանց միավոր երկարության ակտիվ և ռեակտիվ դիմադրություններն ու հաղորդականությունները:

Առաջարկվող մեթոդն ունի հետևյալ առավելությունները.

- 1) ապահովում է հաշվարկի բարձր ճշտություն,
- 2) հնարավորություն է տալիս հաշվարկել ՕԳ-ի հաղորդալարերի ինչպես սեփական, այնպես էլ փոխադարձ դիմադրությունները,
- 3) ապահովում է կիրառության լայն սահմաններ:

Խնդրի լուծման ընթացքում արվում են հետևյալ ենթադրությունները և թույլտվությունները.

- 1) ենթադրվում է, որ ՕԳ-ը բաղկացած է կլոր կտրվածքով, հարթ մակերևույթով համասեռ հաղորդալարերից, որոնք զուգահեռ են ինչպես միմյանց, այնպես էլ հողի մակերևույթին,

- 2) խնդիրը լուծվում է համասեռ և իզոտրոպ միջավայրերի համար, որտեղ ազատ լիցքերը բացակայում են:

Ընդունված թույլտվությունների դեպքում Մաքսվելի հավասարումների լուծման արդյունքների հիման վրա արտածվում են ալիքային հավասարումները:

«Բազմահաղորդալար գիծ-հող» համակարգում դրանց լուծումից ստացվում են գծի համար Հելմհոլցի հավասարումները [2]:

Տեսական էլեկտրատեխնիկայի դասընթացից հայտնի է, որ բազմահաղորդալար գծի հաղորդալարերի լարումը որոշվում է

$$\text{grad}U = -E - j\omega A \quad (1)$$

բանաձևով, որտեղ  $A$  -ն մագնիսական պոտենցիալն է:

Հողում լայնական հոսանքների և լայնական դաշտերի անտեսման արդյունքում մագնիսական պոտենցիալն ընդունվում է հավասար զրոյի [3]: Այդ դեպքում էլեկտրական դաշտի ուղղաձիգ բաղադրիչի մեծության արժեքը (1) արտա-հայտության մեջ տեղադրելուց և ինտեգրելուց հետո ստացվում է  $k$  -րդ հաղորդալարի լարումը.

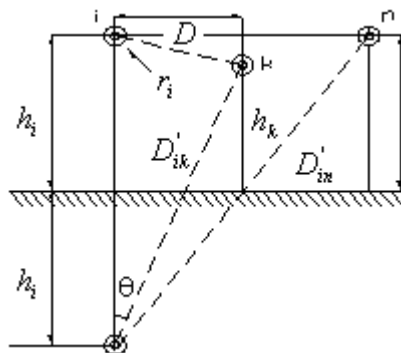
$$U_k = \frac{j}{2\pi\omega\epsilon_0} \sum_{i=1}^n N_{ik} \frac{dI_i}{dx} \quad (k = 1, 2, 3, \dots, n) : \quad (2)$$

Այս արտահայտության  $N$  մեծությունը ներկայացնենք մատրիցի տեսքով՝ հաշ-վի առնելով, որ տվյալ դեպքում բազմահաղորդալար գիծը բաղկացած է երեք հաղորդալարերից.

| N | 1                           | 2                           | 3                           |
|---|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| 1 | $\ln \frac{2h_1}{r_1}$      | $\ln \frac{D_{12}}{D_{12}}$ | $\ln \frac{D_{13}}{D_{13}}$ |
| 2 | $\ln \frac{D_{21}}{D_{21}}$ | $\ln \frac{2h_2}{r_2}$      | $\ln \frac{D_{23}}{D_{23}}$ |
| 3 | $\ln \frac{D_{31}}{D_{31}}$ | $\ln \frac{D_{32}}{D_{32}}$ | $\ln \frac{2h_3}{r_3}$      |

(3)

(3) արտահայտության բաղադրիչների որոշման համար կիրառվել է հայելային արտապատկերումների մեթոդը: Հաշվարկի ժամանակ օգտվում ենք ստորև ներկայացվող գծագրից (նկ. 1) [3].



Նկ.1. ՕԳ-ի առաջնային պարամետրերի որոշման վերաբերյալ

Հայելային արտապատկերումների մեթոդով ստանում ենք.

$$\begin{cases} h_1 = h_2 = h_3, \\ r_1 = r_2 = r_3, \\ D_{12} = D_{21} = D_{23} = D_{32} = D_{13} = D_{31}, \\ D'_{12} = D'_{21} = D'_{23} = D'_{32} = D'_{13} = D'_{31}, \end{cases} \quad (4)$$

որտեղ  $h_1$ -ը,  $h_2$ -ը,  $h_3$ -ը և  $r_1$ -ը,  $r_2$ -ը,  $r_3$ -ը համապատասխանաբար առաջին, երկրորդ և երրորդ ֆազերի հաղորդալարերի կախման բարձրություններն ու շառավիղներն են,  $D_{12}$ -ը և  $D_{21}$ -ը՝ առաջին և երկրորդ,  $D_{23}$ -ը և  $D_{32}$  ը՝ երկրորդ և երրորդ,  $D_{13}$ -ը և  $D_{31}$ -ը՝ առաջին և երրորդ ֆազերի հաղորդալարերի միջև հեռավորությունները,  $D'_{12} = D'_{21}$ -ը՝ երկրորդ ֆազի հաղորդալարից մինչև առաջին ֆազի հաղորդալարի հայելային արտապատկերը եղած հեռավորությունը,  $D'_{23} = D'_{32}$  - ը՝ երրորդ ֆազի հաղորդալարից մինչև երկրորդ ֆազի հաղորդալարի հայելային արտապատկերը եղած հեռավորությունը,  $D'_{13} = D'_{31}$  - ը՝ երրորդ ֆազի հաղորդալարից մինչև առաջին ֆազի հաղորդալարի հայելային արտապատկերը եղած հեռավորությունը:

Մաքսվելի հավասարումների լուծման արդյունքների հիման վրա արտածվում են ՕԳ-ի համար Հելմհոլցի հավասարումները: Ներկայացնենք դրանք մատրիցային տեսքով.

$$\begin{bmatrix} U_1 \\ U_2 \\ U_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{j}{2\pi\omega\epsilon_0} N_{11} & \frac{j}{2\pi\omega\epsilon_0} N_{12} & \frac{j}{2\pi\omega\epsilon_0} N_{13} \\ \frac{j}{2\pi\omega\epsilon_0} N_{21} & \frac{j}{2\pi\omega\epsilon_0} N_{22} & \frac{j}{2\pi\omega\epsilon_0} N_{23} \\ \frac{j}{2\pi\omega\epsilon_0} N_{31} & \frac{j}{2\pi\omega\epsilon_0} N_{32} & \frac{j}{2\pi\omega\epsilon_0} N_{33} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \frac{d}{dx} I_1 \\ \frac{d}{dx} I_2 \\ \frac{d}{dx} I_3 \end{bmatrix}, \quad (5)$$

որտեղ  $U$  -ն և  $I$  -ն ՕԳ-ի հաղորդալարերի վրա լարումների և դրանցով հոսող հոսանքների սյունային մատրիցներն են,  $U_1$ -ը,  $U_2$ -ը,  $U_3$ -ը և  $I_1$ -ը,  $I_2$ -ը,  $I_3$ -ը՝ լարումների և հոսանքների սյունային մատրիցների տարրերը, ՕԳ-ի համապատասխանաբար առաջին, երկրորդ և երրորդ ֆազերի հաղորդալարերի վրայի լարումները և դրանցով հոսող հոսանքներն են,  $N$ -ը՝ քառակուսային սիմետրիկ մատրից, որի տարրերը որոշվում են (3) արտահայտությամբ և բնութագրում են հողի իդեալական հաղորդականության դեպքում հաղորդալարերի արտաքին սեփական և փոխադարձ ինդուկտիվ դիմադրությունները:

(5) արտահայտության ձևափոխման արդյունքում արտաձվում է ՕԳ-ի միավոր երկարության սեփական և փոխադարձ դիմադրությունների քառակուսային մատրիցը [3].

| $Z_0$ | 1                                                        | 2                                                        | 3                                                        |
|-------|----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| 1     | $\frac{j\omega\epsilon_0}{2\pi} ([N_0] + [F_0] + [M_0])$ | $\frac{j\omega\epsilon_0}{2\pi} ([N_0] + [F_0])$         | $\frac{j\omega\epsilon_0}{2\pi} ([N_0] + [F_0])$         |
| 2     | $\frac{j\omega\epsilon_0}{2\pi} ([N_0] + [F_0])$         | $\frac{j\omega\epsilon_0}{2\pi} ([N_0] + [F_0] + [M_0])$ | $\frac{j\omega\epsilon_0}{2\pi} ([N_0] + [F_0])$         |
| 3     | $\frac{j\omega\epsilon_0}{2\pi} ([N_0] + [F_0])$         | $\frac{j\omega\epsilon_0}{2\pi} ([N_0] + [F_0])$         | $\frac{j\omega\epsilon_0}{2\pi} ([N_0] + [F_0] + [M_0])$ |

), (6)

որտեղ  $M$ -ն անկյունագծային մատրից է, որի տարրերը հաղորդալարերի միավոր երկարության ներքին դիմադրություններն են և որոշվում են հետևյալ արտահայտությամբ [2] .

| $M_0 = Z_{0\text{դերք}}$ | 1                                                                        | 2                                                                        | 3                                                                        |
|--------------------------|--------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|
| 1                        | $\frac{\bar{k}}{2\pi\gamma r_1} \frac{I_0(\bar{k}r_1)}{I_1(\bar{k}r_1)}$ | 0                                                                        | 0                                                                        |
| 2                        | 0                                                                        | $\frac{\bar{k}}{2\pi\gamma r_2} \frac{I_0(\bar{k}r_2)}{I_1(\bar{k}r_2)}$ | 0                                                                        |
| 3                        | 0                                                                        | 0                                                                        | $\frac{\bar{k}}{2\pi\gamma r_3} \frac{I_0(\bar{k}r_3)}{I_1(\bar{k}r_3)}$ |

): (7)

$F$  քառակուսային սիմետրիկ մատրիցի տարրերը հողի վերջավոր հաղորդականության հետևանքով առաջացող հաղորդալարերի միավոր երկարության լրացուցիչ արտաքին սեփական և փոխադարձ դիմադրություններն են.

| $F_0$ | 1                                                                | 2                                                                | 3                                                                |
|-------|------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|
| 1     | $-\left(\ln \frac{\gamma' r}{2\sqrt{e}} + j\frac{\pi}{4}\right)$ | $-\left(\ln \frac{\gamma' r}{2\sqrt{e}} + j\frac{\pi}{4}\right)$ | $-\left(\ln \frac{\gamma' r}{2\sqrt{e}} + j\frac{\pi}{4}\right)$ |
| 2     | $-\left(\ln \frac{\gamma' r}{2\sqrt{e}} + j\frac{\pi}{4}\right)$ | $-\left(\ln \frac{\gamma' r}{2\sqrt{e}} + j\frac{\pi}{4}\right)$ | $-\left(\ln \frac{\gamma' r}{2\sqrt{e}} + j\frac{\pi}{4}\right)$ |
| 3     | $-\left(\ln \frac{\gamma' r}{2\sqrt{e}} + j\frac{\pi}{4}\right)$ | $-\left(\ln \frac{\gamma' r}{2\sqrt{e}} + j\frac{\pi}{4}\right)$ | $-\left(\ln \frac{\gamma' r}{2\sqrt{e}} + j\frac{\pi}{4}\right)$ |

): (8)

որտեղ  $\ln \gamma' = 0,5772$  - Էյլերի հաստատունն է,  $r$  -ը՝ Կարսոնի պարամետրը [3] :

Հաշվի առնելով, որ  $N$  մատրիցի տարրերը որոշվում են (3), իսկ  $F$  մատրիցի տարրերը՝ (8) արտահայտությամբ, (6) արտահայտությունը կարելի է ձևափոխել՝ ընդունելով, որ  $\gamma' \approx \sqrt{e}$  .

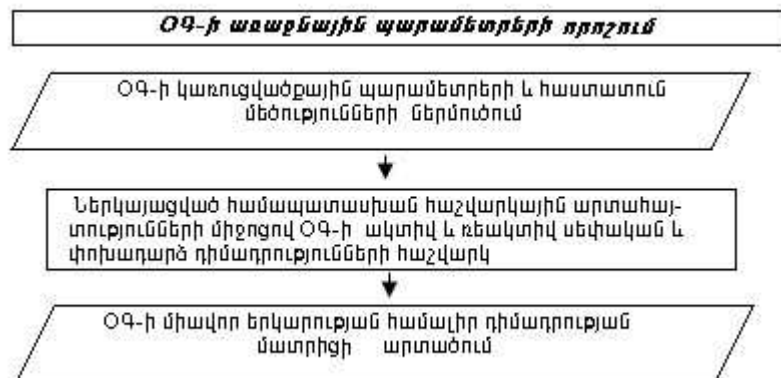
|       |                                      |                                      |                                      |
|-------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| $Z_0$ | 1                                    | 2                                    | 3                                    |
| 1     | $Z_{0\text{ցերք}} + Z_{0\text{արտ}}$ | $Z_{0\text{արտ}}$                    | $Z_{0\text{արտ}}$                    |
| 2     | $Z_{0\text{արտ}}$                    | $Z_{0\text{ցերք}} + Z_{0\text{արտ}}$ | $Z_{0\text{արտ}}$                    |
| 3     | $Z_{0\text{արտ}}$                    | $Z_{0\text{արտ}}$                    | $Z_{0\text{ցերք}} + Z_{0\text{արտ}}$ |

,
(9)

որտեղ ՕԳ-ի միավոր երկարության արտաքին դիմադրությունների մատրիցի տարրերը որոշվում են հետևյալ արտահայտությամբ.

|                   |                                                                                                                         |                                                                                                                         |                                                                                                                         |       |
|-------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| $Z_{0\text{արտ}}$ | 1                                                                                                                       | 2                                                                                                                       | 3                                                                                                                       |       |
| 1                 | $j \frac{\varpi \mu_0}{2\pi} \ln \sqrt{\rho_h \cdot 10^7} + \frac{\varpi \mu_0}{8}$                                     | $j \frac{\varpi \mu_0}{2\pi} \ln \left( \frac{\sqrt{\rho_h \cdot 10^7}}{10\pi D_{12}} \right) + \frac{\varpi \mu_0}{8}$ | $j \frac{\varpi \mu_0}{2\pi} \ln \left( \frac{\sqrt{\rho_h \cdot 10^7}}{10\pi D_{13}} \right) + \frac{\varpi \mu_0}{8}$ | :(10) |
| 2                 | $j \frac{\varpi \mu_0}{2\pi} \ln \left( \frac{\sqrt{\rho_h \cdot 10^7}}{10\pi D_{21}} \right) + \frac{\varpi \mu_0}{8}$ | $j \frac{\varpi \mu_0}{2\pi} \ln \sqrt{\rho_h \cdot 10^7} + \frac{\varpi \mu_0}{8}$                                     | $j \frac{\varpi \mu_0}{2\pi} \ln \left( \frac{\sqrt{\rho_h \cdot 10^7}}{10\pi D_{23}} \right) + \frac{\varpi \mu_0}{8}$ |       |
| 3                 | $j \frac{\varpi \mu_0}{2\pi} \ln \left( \frac{\sqrt{\rho_h \cdot 10^7}}{10\pi D_{31}} \right) + \frac{\varpi \mu_0}{8}$ | $j \frac{\varpi \mu_0}{2\pi} \ln \left( \frac{\sqrt{\rho_h \cdot 10^7}}{10\pi D_{32}} \right) + \frac{\varpi \mu_0}{8}$ | $j \frac{\varpi \mu_0}{2\pi} \ln \sqrt{\rho_h \cdot 10^7} + \frac{\varpi \mu_0}{8}$                                     |       |

Ներկայացվող մեթոդիկայով իրականացվել է հայկական էներգահամակարգի «Կանթեղ1» և «Կանթեղ-2» ՕԳ-երի առաջնային պարամետրերի հաշվարկ, կազմվել է նաև հաշվողական ծրագիր՝ օգտագործելով հետևյալ բլոկ-սխեման (նկ. 2).



Նկ. 2. ՕԳ-երի առաջնային պարամետրերի հաշվարկի բլոկ-սխեմա

ՕԳ-երի էլակետային տվյալները և հաշվարկի արդյունքները ներկայացվում են աղյուսակում.

Աղյուսակ

| Ելակետային տվյալներ            |           |                         |                                  |                |      |                |       |
|--------------------------------|-----------|-------------------------|----------------------------------|----------------|------|----------------|-------|
| Սն,<br>կՎ                      | Մակնիշ    | Գծի<br>անվանումը        | Ֆազերի<br>դասավոր-<br>վածություն | H, մ           | D, մ | F,<br>[մմ]²    | r, մմ |
| 110                            | ԱՊ 185/29 | «Կանթեղ1»,<br>«Կանթեղ2» | ⋈                                | 14,5           | 5,5  | 181            | 9,4   |
| Հաշվարկման արդյունքներ         |           |                         |                                  |                |      |                |       |
| պարամետր<br>մեթոդ, տեղեկագիրք՝ |           |                         |                                  | $R_0$ , Օհմ/կմ |      | $X_0$ , Օհմ/կմ |       |
| Մեթոդ                          |           |                         |                                  | 0,163          |      | 0,392          |       |
| Տեղեկագիրք                     |           |                         |                                  | 0,162          |      | 0,413          |       |

#### Եզրակացություններ

Էլեկտրամագնիսական դաշտերի հաշվարկման հիման վրա մշակված ՕԳ-երի առաջնային պարամետրերի որոշման մեթոդն ապահովում է.

1. Հաշվարկի բարձր ճշտություն. ակտիվ դիմադրության հաշվարկի սխալը չի գերազանցում 0,6%-ը, ռեակտիվ դիմադրության սխալը՝ 5,3%-ը:

2. ՕԳ-ի առաջնային պարամետրերի հաշվարկ՝ Կարսոնի փոքր պարամետրի դեպքում, երբ  $r \leq 0,25$ :

3. 110 կՎ լարման ՕԳ-ի սեփական և փոխադարձ ակտիվ և ռեակտիվ դիմադրությունների հաշվարկ:

4. C++ միջավայրում հաշվողական ծրագրի կազմման հնարավորություն, որն ապահովում է հաշվարկի բարձր ճշտություն և կիրառության լայն սահմաններ:

#### ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Առաքելյան Վ.Պ., Հակոբյան Լ.Ա.** Էլեկտրահաղորդման գծերի զարգացման հեռանկարները // ՀՃԱԼ.-2007.-շ.4, N 4.-էջ. 554-558:
2. **Бессонов Л.А.** Теоретические основы электротехники. - М.: Высшая школа, 1973.- 752 с.
3. **Костенко М.В., Перельман Л.С., Шкарин Ю.П.** Волновые процессы и электрические помехи в многопроводных линиях высокого напряжения. - М.: Энергия, 1973.- 271 с.

ՀՊՃՀ. Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 10.06.2008:

**В.П. АРАКЕЛЯН, Л.А. АКОПЯН**

**МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЕРВИЧНЫХ ПАРАМЕТРОВ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ,  
ОСНОВАННЫЙ НА РАСЧЕТЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ**

Предлагается метод определения первичных параметров воздушных линий, который основан на результатах аналитического решения уравнений Максвелла.

**Ключевые слова:** воздушная линия, электромагнитное поле, внутреннее сопротивление, наружное сопротивление.

**V.P. ARAKELYAN, L.A. HAKOPYAN**

**AIR LINE PRIMARY PARAMETER DEFINITION METHOD BASED ON  
ELECTROMAGNETIC FIELD CALCULATION**

An air line primary parameter definition method based on the results of Maxwell equation solution is proposed.

**Keywords.** air line, electromagnetic field, internal resistance, external resistance.