

The Stipulation for Orthogonality of the Nodal and Extra Currents

Josifs Survilo (Riga Technical University – RTU), Dmitrijs Antonovs (RTU) and Edite Biela (RTU)

Keywords – circulating current, closed grids, homogenous network, loop current, non-uniform grid, power losses.

I. INTRODUCTION

In closed non-uniform grids, there exist not only power losses caused by load currents but the losses generated by grid non-uniformity ($X/R \neq \text{const}$) and foreign emf in the grid loops (if such there are). This question is considered in [5], [7] for two-terminal lines. For closed grids, it is considered in [8], [10] (f.v.). But not all influencing factors were considered and there was no general consideration made. In short, the rules must be elucidated by which the total power losses can be eliminated on losses caused by various factors (i.e. when they are orthogonal).

II. TWO TERMINAL LINE

For two terminal line, it is shown that total losses are the sum of load losses in uniform line and losses caused by non-uniformity and extra losses. The total power losses are:

$$\begin{aligned} \Delta P_{J+E} &= \Delta P_J + \Delta P_E = \\ &= \Delta P_E + \frac{R_1 J^2 |Z_2|^2}{|\dot{Z}_1 + Z_2|^2} + \frac{R_2 J^2 |\dot{Z}_1|^2}{|\dot{Z}_1 + \dot{Z}_2|^2} + \Sigma R \cdot I_{ex}^2. \end{aligned} \quad (6)$$

III. CLOSED GRIDS

Closed grids contain more than one loop. As an example, the non-uniform grid is shown in Fig. 2.

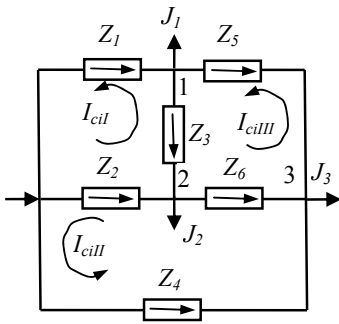


Fig. 2. Non-uniform closed network with three loops

In Fig. 2, there are depicted three independent loops $Z_1 - Z_2 - Z_3$; $Z_2 - Z_4 - Z_6$ and $Z_5 - Z_3 - Z_6$ with loop (circulating) currents (CC) I_{cit} , I_{cill} and I_{cilll} . To eliminate CC, it is necessary to insert in these loops opposing voltage \dot{U}_1 ; \dot{U}_2 and \dot{U}_3 . So far it is clearly expounded in [8] (where symbol U is replaced by symbol E).

The input current vectors are: node current input vector J_f consisting of load currents J_1, J_2, J_3 ; foreign emf input vector J_f consisting of inserted in loops foreign emf E_{f1}, E_{f2}, E_{f3} and vector J_{ff} (see (11)):

$$\begin{aligned} J_f &= [J_1; J_2; J_3; 0; 0; 0]; \quad J_f = [0; 0; 0; E_{f1}; E_{f2}; E_{f3}]; \\ J_{ff} &= [J_1; J_2; J_3; E_{f1}; E_{f2}; E_{f3}]. \end{aligned} \quad (11)$$

Further, the following quantities must be calculated: branch current vector I_j excited by node loads J ; circulating current vector I_{ci} ; equalizing current vector I_{eq} ; extra current vector I_{ex} ; summary branch current vector I_{jf} ; branch current vector I_h excited by node loads J in uniform grid; losses ΔP_j caused by load currents in non-uniform grid; losses ΔP_{ci} caused by CC;

losses ΔP_{ex} caused by extra currents; losses ΔP_{jf} caused by summary branch currents; losses ΔP_h caused by load currents in uniform grid:

$$\begin{aligned} I_j &= B_z^* J_j; \quad I_{ci} = AB^* J_j; \quad I_{eq} = B_z^* J_j; \quad I_{ex} = I_{ci} + I_{eq}; \quad I_{jf} = B^* J_{jf}; \quad I_h = B_h^* J_j; \\ \Delta P_j &= I_j^* R^* I_j; \quad \Delta P_{ci} = I_{ci}^* R^* I_{ci}; \quad \Delta P_{ex} = I_{ex}^* R^* I_{ex}; \\ \Delta P_{jf} &= I_{jf}^* R^* I_{jf}; \quad \Delta P_h = I_h^* R_b^* I_h, \end{aligned} \quad (13)$$

It is found that losses from summary branch currents are:

$$\Delta P_{jf} = \Delta P_h + \Delta P_{ex}, \quad (14)$$

which means that load currents in uniform grid and extra currents are orthogonal. Formula (14) has been proved in full version and confirmed by calculations.

IV. DETERMINATION OF EXTRA LOSSES FROM INCORRECT TRANSFORMER RATIOS

Expounded above was used for Kurzeme Ring losses calculation.

The KR model consists of 38 nodes, 50 branches (transformers, transmission lines and cables) and they make in common 13 loops, all data of 330 kV elements were reduced to 110 kV voltage.

The results of calculations in MW for one phase are the following:

total losses for one phase are $\Delta P_{jf} = 1.989$; load losses in non-uniform grid $\Delta P_j = 1.839$; load losses in uniform grid $\Delta P_h = 1.793$; losses caused by transformer ratio difference $\Delta P_f = 0.150$; CC losses $\Delta P_{ci} = 0.046$; extra losses 0.196.

V. CONCLUSIONS

1. Closed grids inherit main properties of two-terminal line.
2. The orthogonality of load currents and extra currents means that power loss from joint action of these currents is equal to the sum of power losses by separate action of these currents.
3. Extra currents in initial grids are orthogonal to load currents in uniform grid.
8. Decomposition of power losses makes it possible to establish the cause of power losses.
9. Different transformation ratios in high voltage closed networks can increase the losses.
10. The obtained theoretical results applied to the network of Kurzeme Ring showed that extra losses are not considerable as compared with load losses in uniform grid by actual load flows.

REFERENCES

- [5] J. Survilo, "A ringed non-uniform network: how to raise its efficiency", Latvian journal of physics and technical sciences. No 6. Riga, 2008, p.20 – 32.
- [7] J. Survilo and E. Biela, „Extra losses in imperfect closed grids”, RTU 52 nd International Scientific Conference, Power and Electrical engineering, series 4, vol. 29, 2011, pp. 19 – 24.
- [8] J. Survilo, „Specifics of electricity supply in loop networks”, Latvian journal of physics and technical sciences. No 2. Riga, 2012, pp. 34 – 44.

Ortogonalitātes nosacījumi mezglu un papildus strāvām

Josifs Survilo (Riga Technical University – RTU), Dmitrijs Antonovs (RTU) and Edite Biela (RTU)

Atslēgvārdi (angl.) – circulating current, closed grids, homogenous network, loop current, non-uniform grid, power losses.

I. IEVADS

Slēgtā nehomogēnā tīklā, kur pastāv ne tikai jaudas zudumi, kurus rada slodzes strāvas, bet arī zudumi, kas ir rezultāts nehomogenitātei ($X/R \neq \text{const}$) un svešām EDS tīkla cilpās (ja tādi EDS pastāv). Šie jautājumi apskatīti [5], [7] divpusēji barotām līnijām. Slēgtajos tīklos tas ir aplūkots [8], [10] (p.v.). Bet ne visi ietekmējošie faktori tika izvērtēti, nebija vispārējas izskatīšanas. Īsi sakot, ir jāatrod noteikumi, pēc kuriem kopējie jaudas zudumi var būt sadalīti zudumos, kurus izraisa dažādi faktori (ja tie ir ortogonāli).

II. DIVPUSĒJI BAROTA LĪNIJA

Divpusēji barotām līnijām ir pierādīts, ka kopējie zudumi ir slodzes strāvu homogēnās līnijās zudumu un zudumu, kurus izraisa nehomogenitāte un izlīdzinošās strāvas, summa. Kopējie jaudas zudumi ir:

$$\Delta P_{J+E} = \Delta P_J + \Delta P_E = \Delta P_E + \frac{R_1 J^2 |Z_2|^2}{|Z_1 + Z_2|^2} + \frac{R_2 J^2 |\dot{Z}_1|^2}{|\dot{Z}_1 + \dot{Z}_2|^2} + \Sigma R \cdot I_{ex}^2 \quad (6)$$

III. SLĒGTIE TĪKLI

Slēgtajos tīklos ir vairāk nekā viens kontūrs. Piemērā (2. att.) parādīts nehomogēns slēgtais tīkls.

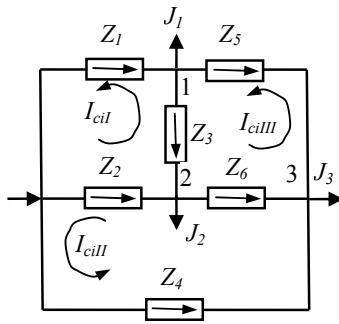


Fig. 2. Non-uniform closed network with three loops

2. att. ir parādīti trīs kontūri $Z_1 - Z_2 - Z_3$; $Z_2 - Z_4 - Z_6$ un $Z_5 - Z_3 - Z_6$ ar kontūrstrāvu (cirkulējošo) strāvu (CC) \dot{I}_{ci} , \dot{I}_{cii} un \dot{I}_{ciii} . Lai likvidētu CC, ir nepieciešams šajos kontūros ievadīt pretējos spriegumus \dot{U}_1 ; \dot{U}_2 un \dot{U}_3 . Tik tālu tas ir skaidri izklāstīts [8] (kur simbols U ir aizstāts ar simbolu E).

Ievadlielumu vektori ir: mezglu strāvas J_j vektors, kas sastāv no slodzes strāvām J_1, J_2, J_3 ; svešo EDS vektors J_f , kas sastāv no ievietotiem kontūros svešiem EDS E_{f1}, E_{f2}, E_{f3} un vektors J_{jf} (aplūkots (11):

$$J_f = [J_1; J_2; J_3; 0; 0; 0]; J_{jf} = [0; 0; 0; E_{f1}; E_{f2}; E_{f3}]; J_{jf} = [J_1; J_2; J_3; E_{f1}; E_{f2}; E_{f3}] \quad (11)$$

Turklāt sekojošos lielumus var aprēķināt: zaru strāvas vektors I_j , kas ierosināts ar mezglu strāvām J ; cirkulējošās strāvas vektors I_{ci} ; izlīdzinošo strāvu vektors I_{eq} ; papildu strāvas vektors I_{ex} ; summārais zaru strāvu vektors I_{jf} ; zaru strāvu vektors I_h ierosināts ar mezglu strāvām J homogēnā

tīklā; zudumi ΔP_j , kurus izraisa slodzes strāvas nehomogēnā tīklā; zudumi ΔP_{ci} , ko izraisa cirkulējošās strāvas; zudumi ΔP_{ex} , kurus izraisa papildu strāvas; zudumi ΔP_{jf} , izraisīti no summāram zaru strāvām; zudumi ΔP_h , izraisīti no slodzes strāvām homogēnā tīklā:

$$I_j = B_z^* J_j; I_{ci} = AB^* J_j; I_{eq} = B_z^* J_j; I_{ex} = I_{ci} + I_{eq}; I_{jf} = B^* J_{jf}; I_h = B_h^* J_j; \Delta P_j = I_j^* R^* I_j; \Delta P_{ci} = I_{ci}^* R^* I_{ci}; \Delta P_{ex} = I_{ex}^* R^* I_{ex}; \Delta P_{jf} = I_{jf}^* R^* I_{jf}; \Delta P_h = I_h^* R_b^* I_h \quad (13)$$

Tika aprēķināts, ka zudumi no summāram zaru strāvām ir:

$$\Delta P_{jf} = \Delta P_h + \Delta P_{ex} \quad (14)$$

kas nozīmē, ka slodzes strāvas homogēnā tīklā un papildu strāvas ir ortogonālas. Formula (14) ir pierādīta un apstiprināta aprēķiniem pilnā versijā.

IV. MEZGLU STRĀVU NOTEIKŠANA NO NEPAREIZIEM TRANSFORMĀCIJAS KOEFICIENTIEM

Iepriekšteiktais ir izmantots Kurzemes loka zudumu aprēķinā. Kurzemes loka modelis sastāv no 38 mezgliem, 50 zariem (transformatori, pārvades līnijas un kabeļi) un tie kopumā veido 13 kontūrus, visi elementu 330 kV lielumi tika reducēti uz 110 kV spriegumu. Aprēķinu rezultāts MW vienai fāzei ir sekojošs: Kopējie zudumi vienai fāzei ir $\Delta P_{jf} = 1.989$; slodzes zudumi nehomogēnā tīklā ir $\Delta P_j = 1.839$; slodzes zudumi homogēnā tīklā ir $\Delta P_h = 1.793$; zudumi, ko izraisa transformatoru koeficientu starpība, $\Delta P_f = 0.150$; cirkulējošās strāvas zudumi $\Delta P_{ci} = 0.046$; papildu zudumi 0.196.

V. SECINĀJUMI

- Slēgtais tīkls iemanto galvenās īpašības no divpusēji barotām līnijām.
- Slodzes strāvu un papildu strāvu ortogonalitāte nozīmē, ka jaudas zudumi no šo strāvu summas ir vienādi ar zudumiem no šo strāvu atsevišķas darbības summas.
- Papildu strāvas sākotnējā tīklā ir ortogonālas slodzes strāvām homogēnā tīklā.
- Jaudas zudumu sadalīšanās ļauj noteikt iemeslu papildu jaudas zudumiem.
- Dažādi transformācijas koeficienti augstsprieguma slēgtos tīklos var palielināt zudumus.
- Iegūtie teorētiskie rezultāti, kas tika piemēroti tīklam Kurzemes loks, parādīja, ka papildu zudumi nav lieli, salīdzinot ar slodzes zudumiem homogēnā tīklā pie faktiskām jaudas plūsmām.

LITERATŪRA

- J. Survilo, "A ringed non-uniform network: how to raise its efficiency", Latvian journal of physics and technical sciences. No 6. Rīga, 2008, p.20 – 32.
- J. Survilo and E. Biela, „Extra losses in imperfect closed grids”, RTU 52 nd International Scientific Conference, Power and Electrical engineering, series 4, vol. 29, 2011, pp. 19 – 24.
- J. Survilo, „Specifics of electricity supply in loop networks”, Latvian journal of physics and technical sciences. No 2. Rīga, 2012, pp. 34 – 44.

Обуславливание ортогональности узловых и сверхтоков

Josifs Survilo (Riga Technical University – RTU), Dmitrijs Antonovs (RTU) and Edite Biela (RTU)

Ключевые слова (англ.) – circulating current, closed grids, homogenous network, loop current, non-uniform grid, power losses.

I. ВВЕДЕНИЕ

В замкнутых неоднородных сетях существуют не только потери электроэнергии, вызванные токами нагрузки, но и потери от неоднородности сети ($X/R \neq \text{const}$) и от инородных ЭДС в контурах сети. Данный вопрос рассматривался в [5], [7] для линий с двусторонним питанием. Для замкнутых сетей, это было рассмотрено в [8], [10]. Вкратце, необходимо найти правила при помощи, которых могут быть найдены потери мощности, вызванные различными факторами.

II. ЛИНИЯ С ДВУСТОРОННИМ ПИТАНИЕМ

Для линии с двусторонним питанием известно, что общие потери равны сумме потерь нагрузки в однородной линии и потерь, обусловленных неоднородностью линии и уравнительными токами. Общие потери мощности равны:

$$\begin{aligned} \Delta P_{J+E} &= \Delta P_J + \Delta P_E = \\ &= \Delta P_E + \frac{R_1 J^2 |Z_2|^2}{|\dot{Z}_1 + Z_2|^2} + \frac{R_2 J^2 |\dot{Z}_1|^2}{|\dot{Z}_1 + \dot{Z}_2|^2} + \Sigma R \cdot I_{ex}^2. \end{aligned} \quad (6)$$

III. ЗАМКНУТЫЕ СЕТИ

Замкнутые сети состоят из нескольких контуров. Пример неоднородной сети изображен Рис. 2.

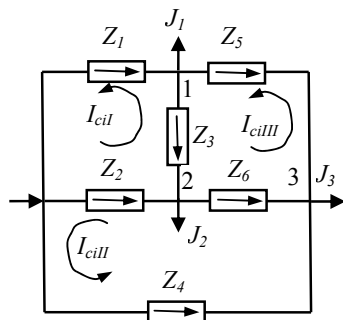


Рис. 2. Неоднородная замкнутая сеть с 3 контурами

На рисунке 2 изображены три независимых контура $Z_1 - Z_2 - Z_3$; $Z_2 - Z_4 - Z_6$ и $Z_5 - Z_3 - Z_6$ с циркулирующими (контурными) токами (ЦТ) I_{cil} , I_{cill} и I_{ciii} . Чтобы исключить ЦТ, необходимо включить в контуры компенсационные напряжения \dot{U}_1 ; \dot{U}_2 и \dot{U}_3 . Это изложено в [8].

Вектора входных токов: входной вектор узловых токов J_j , состоящий из токов нагрузки J_1 , J_2 , J_3 ; входного вектора инородных ЭДС J_f , состоящего из включённых в контуры инородных ЭДС E_{f1} , E_{f2} , E_{f3} и вектора J_{jf} (11):

$$\begin{aligned} J_f &= [J_1; J_2; J_3; 0; 0; 0]; \quad J_f = [0; 0; 0; E_{f1}; E_{f2}; E_{f3}]; \\ J_{jf} &= [J_1; J_2; J_3; E_{f1}; E_{f2}; E_{f3}]. \end{aligned} \quad (11)$$

Далее, нужно рассчитать следующие величины: вектор токов ветвей I_j , вызываемых нагрузками узлов J ; вектор ЦТ I_{ci} ; вектор уравнительных токов I_{eq} ; вектор дополнительных I_{ex} ; вектор суммарных токов ветвей I_{jf} ; вектор тока ветвей I_h , вызываемых узловыми нагрузками J в однородной сети; потери ΔP_j , вызываемые токами

нагрузки в неоднородной сети; потери ΔP_{ci} , вызываемые ЦТ; потери ΔP_{ex} , вызываемые дополнительными токами; потери ΔP_{jf} , вызываемые суммарными токами ветвей; потери ΔP_h , вызываемые токами нагрузки в однородной сети:

$$\begin{aligned} I_j &= B_z * J_j; \quad I_{ci} = \Delta B * J_j; \quad I_{eq} = B_z * J_j; \quad I_{ex} = I_{ci} + I_{eq}; \quad I_{jf} = B * J_{jf}; \quad I_h = B_h * J_j; \\ \Delta P_j &= I_j * R * I_j; \quad \Delta P_{ci} = I_{ci} * R * I_{ci}; \quad \Delta P_{ex} = I_{ex} * R * I_{ex}; \\ \Delta P_{jf} &= I_{jf} * R * I_{jf}; \quad \Delta P_h = I_h * R_h * I_h, \end{aligned} \quad (13)$$

Найдено, что потери от суммарных токов ветвей равны:

$$\Delta P_{jf} = \Delta P_h + \Delta P_{ex}, \quad (14)$$

Это значит, что токи нагрузки в однородной сети и сверхтоки ортогональны. Доказательство формулы (14) предложено в полной версии статьи и подтверждена соответствующими расчетами.

IV. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СВЕРХПОТЕРЬ ПРИ НЕВЕРНОМ КОЭФФИЦИЕНТЕ ТРАНСФОРМАЦИИ

Изложенное ранее использовалось для расчётов потерь в Курземском кольце (КК).

Модель КК состоит из 38 узлов, 50 ветвей (трансформаторы, линии и кабели электропередачи) и 13 контуров, все данные элементов напряжения 330 кВ приведены к напряжению 110 кВ.

Результаты расчётов (МВт на одну фазу) следующие:

Общие потери на 1 фазу $\Delta P_{jf} = 1.989$; потери нагрузки в неоднородной сети $\Delta P_j = 1.839$; потери нагрузки в однородной сети $\Delta P_h = 1.793$; потери вызванные различными коэффициентами трансформации $\Delta P_f = 0.150$; потери от ЦТ $\Delta P_{ci} = 0.046$; сверхпотери 0.196.

V. ВЫВОДЫ

1. Замкнутые сети имеют главные свойства линии с двусторонним питанием.
2. Ортогональность токов нагрузки и дополнительных токов означает, что потери мощности от совместного воздействия этих токов равны сумме потерь мощности при раздельном воздействии данных токов.
3. Дополнительные токи в исходной сети ортогональны токам нагрузки однородной сети.
8. Декомпозиция потерь мощности делает возможным установить причину потерь мощности.
9. Разложение потерь делает возможным установить причину возникновения дополнительных потерь.
10. Полученные теоретические результаты, примененные для сети КК, показывают, что дополнительные потери незначительны в сравнении с потерями от нагрузки в однородной сети при существующих перетоках мощности.

ЛИТЕРАТУРА

- [5] J. Survilo, "A ringed non-uniform network: how to raise its efficiency", Latvian journal of physics and technical sciences. No 6. Riga, 2008, p.20 – 32.
- [7] J. Survilo and E. Biela, „Extra losses in imperfect closed grids”, RTU 52 nd International Scientific Conference, Power and Electrical engineering, series 4, vol. 29, 2011, pp. 19 – 24.
- [8] J. Survilo, „Specifics of electricity supply in loop networks”, Latvian journal of physics and technical sciences. No 2. Rīga, 2012, pp. 34 – 44