

The Effect of Non-uniformity in Meshed Networks

Josifs Survilo (*Riga Technical University*)

Keywords – Circulating current, meshed network, non-uniform network, power losses.

I. INTRODUCTION

The drawback of non-uniform networks ($X/R \neq \text{const}$) appears when the network is meshed (has loops) [3], [4]: extra losses caused by circulating current (CC) appear; in some branches currents are considerably increased. A ringed network (which has one loop) is considered in [7] where the shortcomings were apprehended as well as ways to eliminate them. The task complicates when there are more loops. Then it is impossible to do without matrix algebra. The losses due to non-uniformity can be found by subtracting the losses in uniform grid from those in non-uniform one. However it could be necessary to locate the problem in the network and now more sophisticated method should be applied.

II. CONSIDERED NETWORK

The fragment of network in Kurzeme (west Latvia) is considered. The main energy flow is directed to Klaipeda. Branch impedances and loads are given in table 1.

Node matrix M reflects $n=17$ branches and $k=14-1=13$ nodes (Fig. 2). Of all 14 nodes one is balancing. Circuit diagram contains $r=4$ independent loops represented by matrix N . Branch impedances are represented by Z -matrix. On the basis of these matrices, the square matrix A_Z and inverse matrix B_Z are obtained:

$$A_Z = \begin{bmatrix} M \\ NZ \end{bmatrix} \quad (1)$$

TABLE 1
BRANCH IMPEDANCES and LOADS

Designation	Impedance (Ω)	Designation	Load (MW)
Z_1	0.42+2.62i	J_1	-275.6
Z_2	0.16+5.29i	J_2	-4.1
Z_3	6.38+12.88i	J_3	0
Z_4	6.38+12.88	J_4	-3.8
Z_5	2.05+2.64i	J_5	0
Z_6	2.05+2.64i	J_6	-1.2
Z_7	6.42+13i	J_7	0
Z_8	17.8+36i	J_8	-12.7
Z_9	12.1+24.44i	J_9	-14
Z_{10}	0.36+0.72i	J_{10}	-2.8
Z_{11}	0.16+0.31i	J_{11}	-22
Z_{12}	0.15+0.3i	J_{12}	-9.2
Z_{13}	1.18+1.52i	J_{13}	0

$$B_Z = A_Z^{-1} \quad (2)$$

CC is found by means of CC matrix ΔB

$$I_{ci} = \Delta B J, \quad (7)$$

To eliminate CC, the opposing voltages E can be found:

TABLE 5

TRUE EXTRA LOSSES IN MESHED NETWORK

Table 2	Sample 1	73.88 kW
	Sample 3	548.26 kW
Table 3	Sample 1	11.25 kW
	Sample 3	971.9 kW
Table 4	Sample 3	234.02 kW
	Sample 8	2.43 kW

$$\begin{bmatrix} E_l \\ \dots \\ E_r \end{bmatrix} = \Delta B E^{-1} \begin{bmatrix} -I_{ci1} \\ \dots \\ -I_{cir} \end{bmatrix} \quad (14)$$

III. CHARACTERISTIC OF MESHED NON-UNIFORM NETWORK

To foresee the possible extra losses in the network, the non-uniformity factor K_{nu} can be found which equals to extra losses, when the network is loaded by loads equal to unity.

IV. CONSIDERATION OF NETWORK VERSIONS

More calculations were made to see how extra losses and K_{nu} change. The results are presented in table 2 - with changed branch impedances with the same loads; table 3 - with changed branch impedances according to table 2 and with changed loads but the same for each case; table 4 - with changed branch impedances and changed for each case load.

V. USING THE SCALING FACTORS

Proceeding with calculations, vector J of node loads was written according to table 1 in MW which in calculations was considered as current in Amperes. The results A were obtained. To have the true results A_{tr} , it is necessary to apply scaling factors K :

$$A_{tr} = AK \quad (20)$$

Some true results are given in table 5.

VI. CONCLUSIONS

1. In meshed non-uniform networks, CC exist in all branches. CC in branches pertaining to both adjacent loops are combined of CC in these loops.

2. Extra power loss in the network is equal to the sum of extra losses in each branch which are equal to squared CC module multiplied by resistance of the branch.

7. Judging by the results, the extra losses are small but with changed input data they can greatly increase.

REFERENCES

- [3] A. Vanags un Z. Krišāns, Elektriskie tīkli un sistēmas. II daļa, Rīga, RTU, 2005, lpp.268.
- [4] Eric J. Lerner, What's wrong with the electric grid?, <http://www.aip.org/ANPHA/vol-9/iss-5/p8.html>.
- [7] J. Survilo, "A ringed non-uniform network: how to raise its efficiency", Latvian journal of physics and technical sciences, No6, Riga, 2008, p. 20 - 32.

Nehomogenitātes ietekme slēgtajos tīklos

Josifs Survilo (*Riga Technical University*)

Atslēgvārdi (angl.) – Circulating current, meshed network, non-uniform network, power losses.

I. IEVADS

Nehomogēno tīklu ($X/R \neq \text{const}$) trūkums kļūst pamanāms, kad ir slēgtais (kurā ir kontūri) tīkls [3], [4]: parādās cirkulējošās strāvas (CS) papildu zudumi, dažos zaros ievērojami palielinās strāvas. Gredzenveida tīkls (kurā ir viens kontūrs) ir apskatīts rakstā [7], kur ir apzināti trūkumi un veidi, kā tos novērst. Problēma komplicējas, kad tīklā ir vairāki kontūri. Tad nevar iztikt bez matricu algebras. Nehomogenitātes zudumus var atrast, atņemot zudumus homogēnajā tīklā no zudumiem nehomogēnajā. Toties tad nevarēs noteikt vietu, kur tie rodas, lai veiktu nepieciešamos pasākumus.

II. IZSKATĀMAIS TĪKLS

Tiek apskatīta daļa no elektriskā tīkla Kurzemē. Ir pieņemts, ka lielākā elektriskā plūsma tiek virzīta uz Klaipēdu. Zaru pretestības un slodzes ir uzrādītas 1. tabulā.

Mezglu matrica M ietver $n=17$ zarus un $k=14-1=13$ mezglus. Viens no mezgliem ir balansējošs. Tīkla shēma satur $r=4$ neatkarīgus kontūrus, ko attēlo matrica N . Zaru pretestības pārstāv matrica Z . No šīm matricām ir izveidotas matricas A_z un B_z :

$$A_z = \begin{bmatrix} M \\ NZ \end{bmatrix} \quad (1)$$

1. TABULA

ZARU PRETESTĪBAS UN SLODZES

Apzīmējums	Pretestība (Ω)	Apzīmējums	Slodze (MW)
Z_1	0.42+2.62i	J_1	-275.6
Z_2	0.16+5.29i	J_2	-4.1
Z_3	6.38+12.88i	J_3	0
Z_4	6.38+12.88	J_4	-3.8
Z_5	2.05+2.64i	J_5	0
Z_6	2.05+2.64i	J_6	-1.2
Z_7	6.42+13i	J_7	0
Z_8	17.8+36i	J_8	-12.7
Z_9	12.1+24.44i	J_9	-14
Z_{10}	0.36+0.72i	J_{10}	-2.8
Z_{11}	0.16+0.31i	J_{11}	-22
Z_{12}	0.15+0.3i	J_{12}	-9.2
Z_{13}	1.18+1.52i	J_{13}	0

$$B_z = A_z^{-1} \quad (2)$$

Cirkulējošā strāva ir noteikta caur CS matricu ΔB

$$I_{ci} = \Delta B J, \quad (7)$$

Lai novērstu CS, ir jāatrod pretpriegums E :

5. TABULA

ĪSTIE PAPILDU ZUDUMI SLĒGTĀJOS TĪKLOS

2. tabula	1. kopa	73.88 kW
	3. kopa	548.26 kW
3. tabula	1. kopa	11.25 kW
	3. kopa	971.9 kW
4. tabula	3. kopa	234.02 kW
	8. kopa	2.43 kW

$$\begin{bmatrix} E_l \\ \dots \\ E_r \end{bmatrix} = \Delta B_E^{-1} \begin{bmatrix} -I_{ci1} \\ \dots \\ -I_{cjr} \end{bmatrix} \quad (14)$$

III. SLĒGTO NEHOMOGĒNO TĪKLU RAKSTUROJUMS

Lai paredzētu iespējamus papildu zudumus tīklā, var izrēķināt nehomogenitātes koeficientu K_{nu} , kas ir vienāds ar papildu zudumiem, kad tīkls ir noslogots ar slodzi 1.

IV. TĪKLU VARIANTU IZSKATĪŠANA

Lai redzētu, kā mainās zudumi un nehomogenitātes koeficients, tika darīti vairāki aprēķini, rezultāti ir tabulās: 2. tabulā – ar mainītām zaru pretestībām un tām pašām slodzēm; 3. tabulā – ar mainītām zaru pretestībām saskaņā ar 2. tabulu un ar mainītām, bet katrā gadījumā vienādām slodzēm; 4. tabulā – ar mainītām zaru pretestībām un katrā gadījumā mainītām slodzēm.

V. MĒROGA KOEFICIENTU IZMANTOŠANA

Veicot aprēķinus, mezglu slodžu vektors J saskaņā ar 1. tabulu tika rakstīts megavatos, kas aprēķinos tika uzskatīts, kā strāva ampēros. Tika iegūti rezultāti A . Lai iegūtu īstos rezultātus, jāizmanto mēroga koeficientu K :

$$A_r = AK \cdot \quad (20)$$

Daži īstie rezultāti parādīti 5. tabulā.

VI. SECINĀJUMI

1. Slēgtos nehomogēnos tīklos CS ir visos zaros. Zarā, kas pieder diviem blakus esošiem kontūriem, CS ir šo kontūru summa.

2. Papildu jaudas zudums slēgtajā tīklā ir vienāds summai, ko sastāda zaru CS moduļu kvadrātu reizinājumi ar šo zaru aktīvo pretestību.

7. Spriežot pēc iegūtajiem rezultātiem, papildu zudumi ir mazi, bet, izmainoties sākumdatiem, tie var krietni pieaugt.

LĪTERATŪRA

- [3] A. Vanags un Z. Krišāns, Elektriskie tīkli un sistēmas. II daļa, Rīga, RTU, 2005, lpp.268.
- [4] Eric J. Lerner, What's wrong with the electric grid?, <http://www.aip.org/ANPHA/vol-9/iss-5/p8.html>.
- [7] J. Survilo, "A ringed non-uniform network: how to raise its efficiency", Latvian journal of physics and technical sciences, No6, Rīga, 2008, p. 20 – 32.

Эффект неоднородности в замкнутых сетях

Josifs Survilo (*Riga Technical University*)

Ключевые слова (англ.) – Circulating current, meshed network, non-uniform network, power losses.

I. ВВЕДЕНИЕ

Недостаток неоднородных сетей ($X/R \neq \text{const}$) проявляется, когда сети замкнуты (содержат контуры) [3], [4]: появляются дополнительные (доп.) потери, обусловленные циркулирующими токами (ЦТ), в некоторых ветвях увеличиваются токи. В [7] рассмотрена кольцевая (имеющая один контур) сеть, где выявлены недостатки и пути их устранения. Задача усложняется, когда появляется больше замкнутых контуров. Тогда не обойтись без матричной алгебры. Потери от неоднородности могут быть найдены, вычитая потери в однородной сети из потерь в неоднородной. Но если нужно определить место, где возникают проблемы, то необходим более изощренный метод.

II. РАССМАТРИВАЕМАЯ СЕТЬ

Рассматривается фрагмент сети в Курземе (западная Латвия). Основной поток мощности направлен в Клайпеду. Спротивления (сопр.) ветвей и нагрузки указаны в таблице (табл.) 1.

Узловая матрица M содержит $n=17$ ветвей и $k=14-1=13$ узлов (Рис. 2). Из 14 узлов один балансирующий. Схема содержит $r=4$ независимые контуры, представленные матрицей N . Спротивления (сопр.) ветвей представлены матрицей Z . На основе этих матриц получены квадратная матрица A_Z и обратная матрица B_Z :

$$A_Z = \begin{bmatrix} M \\ NZ \end{bmatrix} \quad (1)$$

ТАБЛИЦА 1

СОПР. ВЕТВЕЙ И НАГРУЗКИ

Обозначение	Сопр. (Ω)	Обозначение	Нагрузка (MW)
Z_1	0.42+2.62i	J_1	-275.6
Z_2	0.16+5.29i	J_2	-4.1
Z_3	6.38+12.88i	J_3	0
Z_4	6.38+12.88	J_4	-3.8
Z_5	2.05+2.64i	J_5	0
Z_6	2.05+2.64i	J_6	-1.2
Z_7	6.42+13i	J_7	0
Z_8	17.8+36i	J_8	-12.7
Z_9	12.1+24.44i	J_9	-14
Z_{10}	0.36+0.72i	J_{10}	-2.8
Z_{11}	0.16+0.31i	J_{11}	-22
Z_{12}	0.15+0.3i	J_{12}	-9.2
Z_{13}	1.18+1.52i	J_{13}	0

$$B_Z = A_Z^{-1} \quad (2)$$

ЦТ определяется при помощи матрицы ЦТ ΔB

$$I_{ci} = \Delta B J, \quad (7)$$

ТАБЛИЦА 5

ПЕРЕСЧИТАННЫЕ ДОП. ПОТЕРИ В ЗАМКНУТОЙ СЕТИ

Табл. 2	Выборка 1	73.88 kW
	Выборка 3	548.26 kW
Табл. 3	Выборка 1	11.25 kW
	Выборка 3	971.9 kW
Табл. 4	Выборка 3	234.02 kW
	Выборка 8	2.43 kW

Чтобы устранить ЦТ, необходимо найти напряжения E :

$$\begin{bmatrix} E_l \\ \dots \\ E_r \end{bmatrix} = \Delta B E^{-1} \begin{bmatrix} -I_{ci1} \\ \dots \\ -I_{cir} \end{bmatrix} \quad (14)$$

III. ХАРАКТЕРИСТИКА НЕОДНОРОДНОЙ ЗАМКНУТОЙ СЕТИ

Чтобы предвидеть возможные доп. потери, возможно определить коэффициент неоднородности K_{nu} , который равен доп. потерям при единичной нагрузке узлов.

IV. РАССМОТРЕНИЕ ВАРИАНТОВ СЕТИ

Были сделаны расчеты, чтобы убедиться, как изменяются потери и K_{nu} , результаты в: табл. 2 – с измененными сопр. ветвей и с теми же нагрузками; табл. 3 – с измененными сопр. ветвей (по табл. 2) и с измененными но одинаковыми для всех случаев нагрузками; 4 – с измененными сопр. и нагрузками.

V. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАСШТАБНЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ

Производя расчеты, вектор J узловых нагрузок в табл. 1 указан в MW, но в расчетах эти числа принимались как амперы. При этом получен результат A . Для получения истинного результата A_{tr} , необходимо применить масштабный коэффициент K :

$$A_{tr} = AK \cdot \quad (20)$$

Некоторые пересчитанные результаты даны в табл. 5.

VI. ВЫВОДЫ

1. В замкнутых неоднородных сетях ЦТ появляются во всех ветвях. ЦТ в общей для двух контуров ветви равен сумме ЦТ этих контуров.
2. Доп. потери сети равны сумме доп. потерь ветвей, равных произведению квадрата модуля ЦТ ветви на активное сопр. ветви.
7. Судя по результатам, доп. потери малы, но при изменении входных данных они могут сильно возрасти.

ЛИТЕРАТУРА

- [3] A. Vanags un Z. Krišāns, Elektriskie tīkli un sistēmas. II daļa, Rīga, RTU, 2005, lpp.268.
- [4] Eric J. Lerner, What's wrong with the electric grid?, <http://www.aip.org/ANPHA/vol-9/iss-5/p8.html>.
- [7] J. Survilo, "A ringed non-uniform network: how to raise its efficiency", Latvian journal of physics and technical sciences, No6, Riga, 2008, p. 20 – 32.