A XIV-a Conferinţă internaţională – multidisciplinară,
"Profesorul Dorin PAVEL – fondatorul hidroenergeticii româneşti",
SEBEŞ, 2014

ANALIZA PUTERILOR COMPLEXE ALE UNUI RECEPTOR TRIFAZAT

Vasile Mircea POPA

THE COMPLEX POWERS ANALYSIS OF A THREE-PHASE LOAD

This paper presents the real unbalanced load and the powers absorbed by it. It is considered the impedances with negative real part, in other words generalized impedances. Also, taking into consideration the calculation symmetrical components of impedances, a three-phase impedance system may be divided into two parts: a balanced part and an unbalanced part. Afterwards, the complex powers absorbed are calculated for the direct, inverse and homopolar sequences. Then the diagram of the complex powers is deduced for the real unbalanced load and are presented the conclusions. The bibliography can be found at the end of the paper.

Keywords: three-phase, power complex receiver, generalized impedance, symmetrical components, calculation of symmetrical components Attenuation, the powers

Cuvinte cheie: receptor trifazat, putere complexă, impedanţă generalizată, componente simetrice, componente simetrice de calcul ale impedanţelor, diagrama puterilor

1. Introducere

După cum se ştie, funcţionarea circuitelor electrice trifazate în regimuri nesimetrice a fost studiată încă de la începuturile utilizării energiei electrice în sistem trifazat. Utilizând teoria componentelor

simetrice se poate face o analiză detaliată a puterilor aferente unui receptor trifazat. O semnificaţie aparte se poate da impedanţelor cu partea reală negativă, denumite impedanţe generalizate şi care pot fi considerate nişte mărimi de calcul utile de multe ori în electrotehnică.

2. Receptor trifazat şi puterile complexe absorbite

Un receptor trifazat admite o schemă echivalentă în stea şi pe baza teoremei de transfigurare, o schemă echivalentă în triunghi. Considerăm schema echivalentă în stea a unui receptor trifazat:

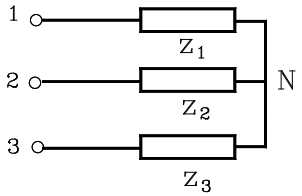

Fig. 1

Schema echivalentă în stea a unui receptor trifazat

Utilizând componentele simetrice de calcul ale impedanţelor, se poate scrie:

$$\begin{cases} z_1 = z_h + z_d + z_i \\ z_2 = z_h + a^2 z_d + a z_i \\ z_3 = z_h + a z_d + a^2 z_i \end{cases} \quad (1)$$

Relaţia (1) este o extindere a teoremei Stokvis – Fortescue pentru un sistem trifazat de impedanţe. Partea reală a impedanţelor trebuie să fie nenegativă în schema echivalentă a receptorului (pentru receptorul trifazat real, considerat de noi în figura 1).

Partea echilibrată a sistemului trifazat de impedanţe este dată de componenta homopolară pentru fiecare fază:

$$z_{1E} = z_h;\ z_{2E} = z_h;\ z_{3E} = z_h \quad (2)$$

Partea dezechilibrată a sistemului trifazat de impedanţe este dată pentru fiecare fază de următoarele impedanţe:

$$\begin{cases} z_{1D} = z_d + z_i \\ z_{2D} = a^2 z_d + a z_i \\ z_{3D} = a z_d + a^2 z_i \end{cases} \quad (3)$$

Prin urmare, ţinând seama de relaţiile de mai sus, putem scrie pentru fiecare fază în parte:

$$\begin{cases} z_1 = z_{1E} + z_{1D} \\ z_2 = z_{2E} + z_{2D} \\ z_3 = z_{3E} + z_{3D} \end{cases} \tag{4}$$

În conformitate cu aceste relaţii, putem desena următoarea schemă echivalentă a receptorului, în care sunt evidenţiate partea echilibrată şi partea dezechilibrată (figura 2):

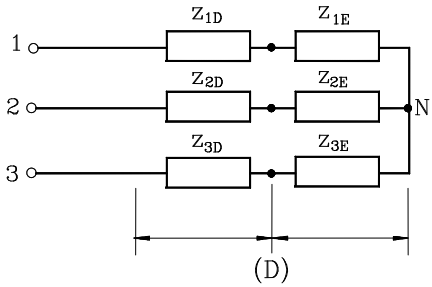

Fig. 2 Partea echilibrată şi dezechilibrată (extrem dezechilibrată) a unui receptor trifazat

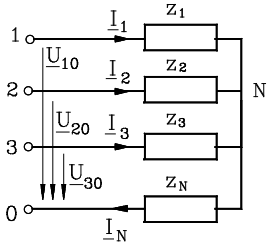

Fig. 3
Receptor trifazat legat în stea, cu fir neutru de impedanţă z_N

Considerăm receptorul trifazat legat în stea cu fir neutru alimentat cu un sistem trifazat de tensiuni indicat în figura următoare Presupunem că sistemul tensiunilor de alimentare are numai componentă simetrică directă.

De asemenea, considerăm receptorul în general dezechilibrat În continuare, vom analiza puterile absorbite de receptorul dezechilibrat real (**RDR**) şi care sunt deduse în lucrările [3], [4], [5].

Puterile pentru partea echilibrată sunt:

$$\underline{S}_{hE} = 3\underline{U}_{hE}\underline{I}_h^* = 3\frac{z_h z_d^2 - z_h^2 z_i}{D}\underline{U}_d\underline{I}_h^*$$

$$\underline{S}_{dE} = 3\underline{U}_{dE}\underline{I}_d^* = 3\frac{z_h^3 - z_h z_d z_i + 3z_N z_h^2}{D}\underline{U}_d\underline{I}_d^*$$

$$\underline{S}_{iE} = 3\underline{U}_{iE}\underline{I}_i^* = 3\frac{z_h z_i^2 - z_h^2 z_d - 3z_N z_h z_d}{D}\underline{U}_d\underline{I}_i^* \qquad (5)$$

Puterile pentru partea dezechilibrată sunt:

$$\underline{S}_{hD} = 3\underline{U}_{hD}\underline{I}_h^* = 3\frac{z_h^2 z_i - z_h z_d^2 + 3z_N z_h z_i - 3z_N z_d^2}{D}\underline{U}_d\underline{I}_h^*$$

$$\underline{S}_{dD} = 3\underline{U}_{dD}\underline{I}_d^* = 3\frac{z_d^3 + z_i^3 - 2z_h z_d z_i - 3z_N z_d z_i}{D}\underline{U}_d\underline{I}_d^*$$

$$\underline{S}_{iD} = 3\underline{U}_{iD}\underline{I}_i^* = 3\frac{z_h^2 z_d - z_h z_i^2 + 3z_N z_h z_d}{D}\underline{U}_d\underline{I}_i^* \qquad (6)$$

Puterile pentru impedanţa firului neutru sunt:

$$\underline{S}_{hN} = 3\underline{U}_{hN}\underline{I}_h^* = 3\frac{3z_N z_d^2 - 3z_N z_h z_i}{D}\underline{U}_d\underline{I}_h^*$$

$$\underline{S}_{dN} = 3\underline{U}_{dN}\underline{I}_d^* = 0$$

$$\underline{S}_{iN} = 3\underline{U}_{iN}\underline{I}_i^* = 0 \qquad (7)$$

$$D = z_h^3 + z_d^3 + z_i^3 - 3z_h z_d z_i + 3z_N z_h^2 - 3z_N z_d z_i$$

Se observă că avem următoarele relaţii:

$$\underline{S}_{hE} + \underline{S}_{hN} = -\underline{S}_{hD}\,;\ \underline{S}_{dE} + \underline{S}_{dD} = 3\underline{U}_d\underline{I}_d^* = \underline{S}_g\,;\ \underline{S}_{iE} = -\underline{S}_{iD} \qquad (8)$$

Puterea totală absorbită de receptorul considerat este:

$$\underline{S} = \underline{S}_E + \underline{S}_D + \underline{S}_N\,;\ \underline{S}_E = \underline{S}_{hE} + \underline{S}_{dE} + \underline{S}_{iE}$$

$$\underline{S}_D = \underline{S}_{hD} + \underline{S}_{dD} + \underline{S}_{iD}\,,\ \underline{S}_N = \underline{S}_{hN} + \underline{S}_{dN} + \underline{S}_{iN} \qquad (9)$$

Rezultă: $\underline{S} = 3\underline{U}_d\underline{I}_d^* = \underline{S}_d = \underline{S}_g$ (10)

Avem:

$$\underline{S} = \underline{S}_h + \underline{S}_d + \underline{S}_i\,;\ \underline{S}_h = \underline{S}_{hE} + \underline{S}_{hD} + \underline{S}_{hN} = 0$$

$$\underline{S}_d = \underline{S}_{dE} + \underline{S}_{dD} + \underline{S}_{dN} = 3\underline{U}_d\underline{I}_d^*\,;\ \underline{S}_i = \underline{S}_{iE} + \underline{S}_{iD} + \underline{S}_{iN} = 0\,. \qquad (11)$$

3. Diagrama puterilor complexe

Toate aceste puteri pot fi aşezate într-o matrice în care sumele laturilor şi coloanelor sunt impuse, în conformitate cu relaţiile prezentate mai sus:

$\underline{S}$	$\underline{S}_E$	$\underline{S}_D$	$\underline{S}_N$
$\underline{S}_h$	$\underline{S}_{hE}$	$\underline{S}_{hD}$	$\underline{S}_{hN}$
$\underline{S}_d$	$\underline{S}_{dE}$	$\underline{S}_{dD}$	$\underline{S}_{dN}$
$\underline{S}_i$	$\underline{S}_{iE}$	$\underline{S}_{iD}$	$\underline{S}_{iN}$

Separarea puterilor complexe pe cele două părţi ale receptorului dezechilibrat real precum şi pe impedanţa firului neutru pune în evidenţă o circulaţie de putere internă între aceste zone.

Partea echilibrată consumă atât puterea directă $\underline{S}_{dE}$ cât şi puterile homopolară şi inversă $\underline{S}_{hE}$ şi $\underline{S}_{iE}$. Impedanţa firului neutru consumă numai puterea homopolară $\underline{S}_{hN}$. Receptorul fiind alimentat de un generator simetric care furnizează putere numai pe componenta directă, deducem că puterile homopolară şi inversă sunt primite prin partea dezechilibrată a receptorului.

Se poate afirma că partea dezechilibrată a receptorului se comportă ca un convertizor de putere a componentelor simetrice [8].

Considerând că în partea echilibrată a receptorului intră şi reţeaua de alimentare presupusă ca fiind şi ea echilibrată, puterea homopolară şi cea inversă aferentă acestei reţele este efectiv un consum suplimentar faţă de situaţia unui receptor echivalent, de aceeaşi putere, echilibrat.

Se poate desena o diagramă a puterilor complexe, care este o ilustrare grafică a relaţiilor anterioare (fig. 4).

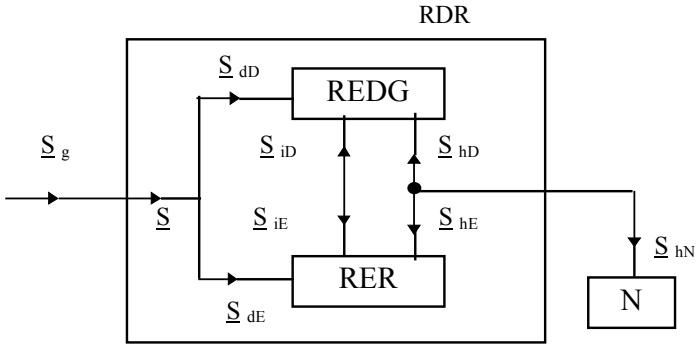

Fig. 4 Diagrama puterilor complexe pentru receptorul dezechilibrat real (**RDR**)

Notaţiile au următoarele semnificaţii:

- **REDG** = receptor extrem dezechilibrat generalizat;
- **RER** = receptor echilibrat real;
- **N** = impedanţa firului neutru;
- **RDR** = receptor dezechilibrat real.

4. Concluzii

■ În această lucrare este prezentat un nou punct de vedere asupra receptoarelor trifazate dezechilibrate şi asupra calculului puterilor complexe absorbite de acesta. Acest punct de vedere utilizează noţiunea de impedanţă generalizată. Impedanţa generalizată are partea reală (rezistenţa echivalentă în curent alternativ) negativă.

■ Ea nu are existenţă fizică reală, obiectivă, ci este o noţiune teoretică, de calcul, foarte utilă în interpretarea unor fenomene legate de funcţionarea circuitelor electrice trifazate în regimuri nesimetrice şi dezechilibrate. Aceste regimuri intervin des în practică, iar analiza lor este evident foarte importantă.

BIBLIOGRAFIE

[1] Pavel, E., *Noi aspecte ale teoriei receptoarelor trifazate statice dezechilibrate*, Energetica, Vol.37, Nr.11, noiembrie 1989, pag.481-492.

[2] Ţugulea, A., *Consideraţii privind efectele energetice în regimuri armonice nesimetrice ale sistemelor trifazate*; Energetica, Vol.XXXIV, Nr. 3, martie 1986, pag.121-129.

[3] Popa, V.M., *Contribuţii la analiza sistemelor trifazate nesimetrice, cu aplicaţii*, Teză de doctorat, Universitatea Tehnică Cluj-Napoca, 1999.

[4] Popa, V.M., *Using Generalized Impedances in the Study of a Real Unbalanced Load*, Proceedings of the 2-nd International Workshop CAD in Electromagnetism and Electrical Circuits CADEMEC 99, 7-9 September 1999, Cluj-Napoca, Romania, volume, pag. 91-94.

[5] Popa, V.M., *The Energetical Study of the Unbalanced Three-Phased Load*, Conferinţa Naţională cu participare internaţională „Electrotehnica aplicată în eco-reconstrucţia industrială", Sibiu, 23-24 septembrie 2005; Volum, ISBN 973-739-138-1, pag. 144-151.

[6] Popa, V.M., *Receptoare generalizate în electrotehnică*, Editura Universităţii "Lucian Blaga" din Sibiu, Sibiu, 2010, ISBN 978-606-12-0033-7.

[7] Popa, V.M., *Regimuri nesimetrice în electrotehnică*, Editura Universităţii "Lucian Blaga" din Sibiu, Sibiu, 2012, ISBN 978-606-12-0382-6.

[8] Popa, V.M., *Circuite trifazate dezechilibrate*, Editura Universităţii "Lucian Blaga" din Sibiu, Sibiu, 2013, ISBN 978-606-12-0512-7.

Prof. Dr. Ing. Vasile Mircea POPA,
membru AGIR
Universitatea „Lucian Blaga" din Sibiu
Facultatea de Inginerie
Sibiu, str. Emil Cioran nr. 4, cod poştal: 550025
e-mail: popavm@yahoo.com