



A XI-a Conferință Națională multidisciplinară – cu participare internațională,  
"Profesorul Dorin PAVEL – fondatorul hidroenergeticii românești",  
SEBEȘ, 2011

## **ASPECTE PRIVIND RECEPTOARELE GENERALIZATE ÎN ELECTROTEHNICĂ**

Vasile Mircea POPA

### **ASPECTS REGARDING THE GENERALIZED LOADS IN ELECTROTECHNICS**

This paper presents the generalized loads in electrotechnics and a new classification of three-phase loads: unbalanced loads, balanced loads and extremely unbalanced loads. 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. We have a clear representation in impedance's complex plane. The bibliography can be found at the end of the paper.

Keywords: phase receiver, receiver unbalanced real generalized impedance, symmetrical components, symmetrical components impedance calculation

Cuvinte cheie: receptor trifazat, receptor dezechilibrat real, impedanță generalizată, componente simetrice, componente simetrice de calcul ale impedanțelor

#### **1. Introducere**

Funcționarea circuitelor electrice trifazate în regimuri nesimetrice a fost studiată încă de la începuturile utilizării energiei electrice în sistem trifazat. Au fost obținute rezultate fundamentale, ajunse astăzi clasice. Astfel, Stokvis a studiat regimurile nesimetrice și dezechilibrate începând cu anul 1915. Teorema Stokvis-Fortescue a fost publicată în anul 1918. Ulterior, prin contribuția adusă de diverși cercetători, teoria componentelor simetrice s-a dezvoltat și s-a perfecționat [1], [2].

Școala românească de electrotehnică are în acest domeniu contribuții notabile, începând cu savantul C.Budeanu încă din perioada interbelică. Un punct de vedere nou a fost evidențiat de profesorul A. Țugulea în unele lucrări publicate în ultimii ani [3]. Pe o direcție apropiată se înscriu și lucrările cercetătorului E. Pavel [1], [2].

În lucrarea de față am abordat o serie de aspecte din domeniul repectoarelor dezechilibrate, mai puțin tratate în literatura de specialitate. Am încercat să aduc unele sistematizări, completări și interpretări proprii în legătură cu acest subiect.

## 2. Un nou punct de vedere

Se definește impedanța generalizată ca o impedanță cu partea reală negativă (rezistență echivalentă) [1], [2], [4], [5]. Considerăm schema echivalentă în stea a unui receptor trifazat:

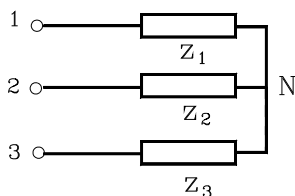


Fig. 1 Schema echivalentă în stea a unui receptor trifazat

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

$$\begin{cases} Z_1 = Z_h + Z_d + Z_i \\ Z_2 = Z_h + a^2 Z_d + a Z_i \\ Z_3 = Z_h + a Z_d + a^2 Z_i \end{cases} \quad (1)$$

Relația (1) este o extindere a teoremei Stokvis – Fortescue pentru un sistem trifazat de impedanțe. Partea reală a impedanțelor trebuie să fie nenegativă în schema echivalentă a receptorului (pentru receptorul real).

Partea echilibrată a sistemului trifazat de impedanțe 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 impedanțe este dată pentru fiecare fază de următoarele impedanțe:

$$\begin{cases} Z_{1D} = Z_d + Z_i \\ Z_{2D} = a^2 Z_d + a Z_i \\ Z_{3D} = a Z_d + a^2 Z_i \end{cases} \quad (3)$$

Prin urmare, putem scrie pentru fiecare fază în parte:

$$\begin{cases} Z_1 = Z_{1E} + Z_{1D} \\ Z_2 = Z_{2E} + Z_{2D} \\ Z_3 = Z_{3E} + Z_{3D} \end{cases} \quad (4)$$

În conformitate cu aceste relații, putem desena următoarea schemă echivalentă a receptorului, în care sunt evidențiate partea echilibrată și partea dezechilibrată (figura 2):

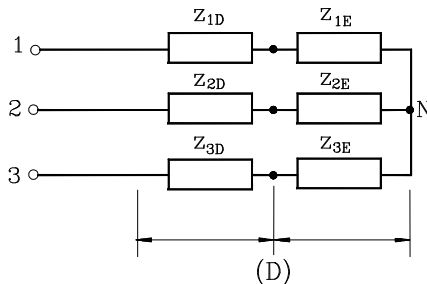


Fig. 2 Partea echilibrată și dezechilibrată (extrem dezechilibrată) unui receptor trifazat

Se numește receptor trifazat real un receptor format din trei impedanțe care au fiecare partea reală pozitivă. Dacă  $z_1 \neq z_2 \neq z_3$ , receptorul se numește dezechilibrat.

Luând în considerare reprezentarea în planul complex al impedanțelor, există situațiile următoare:

a) receptor trifazat real:

$$\operatorname{Re}(z_1) \geq 0 ; \operatorname{Re}(z_2) \geq 0 ; \operatorname{Re}(z_3) \geq 0$$

b) receptor trifazat generalizat:

$$\operatorname{Re}(z_1) < 0 , \text{ sau } \operatorname{Re}(z_2) < 0 , \text{ sau } \operatorname{Re}(z_3) < 0$$

c) receptor dezechilibrat:

$$Z_1 \neq Z_2 \neq Z_3$$

d) receptor echilibrat:

$$Z_1 = Z_2 = Z_3$$

e) receptor dezechilibrat extrem generalizat:

$$Z_1 + Z_2 + Z_3 = 0 .$$

Clasificarea clasică a receptoarelor trifazate este în receptoare echilibrate și în receptoare dezechilibrate. Un nou punct de vedere asupra acestei probleme ia în considerare impedanțe cu partea reală negativă, cu alte cuvinte, impedanțe generalizate.

În acest fel, receptoarele sunt în general dezechilibrate, situații limită (particulare) fiind receptoarele echilibrate și receptoarele extrem dezechilibrate [4], [5] (figura 3).



Fig. 3 Clasificarea receptoarelor trifazate: clasică (a) și propusă (b)

unde:

- RD = receptor dezechilibrat
- RE = receptor echilibrat
- RED = receptor extrem dezechilibrat

Avem de asemenea reprezentările în planul complex al impedanțelor.

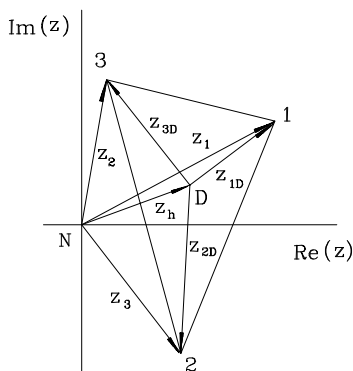


Fig. 4 Receptor dezechilibrat real

Triunghiul 123 corespunde receptorului trifazat dezechilibrat.

Punctul D este centrul de greutate al triunghiului. Întotdeauna avem relația:

$$z_{1D} + z_{2D} + z_{3D} = 0 \tag{5}$$

Alte cazuri de receptoare trifazate sunt prezentate în continuare.

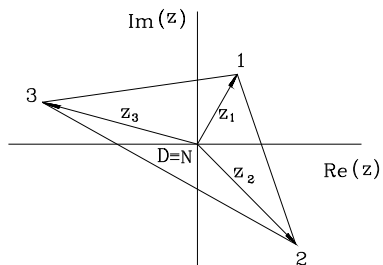


Fig. 5 Receptor generalizat extrem dezechilibrat,  $z_h = 0, z_d \neq 0, z_i \neq 0$

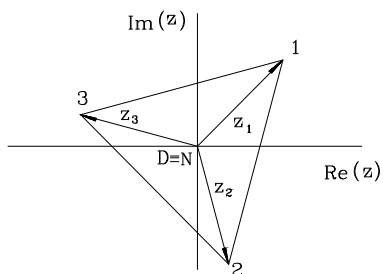


Fig. 6 Receptor generalizat extrem dezechilibrat,  $z_h = 0, z_d \neq 0, z_i = 0$

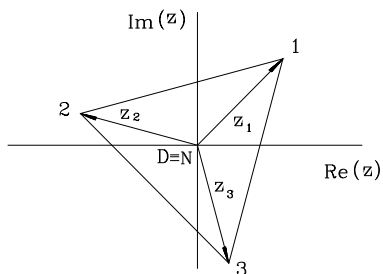


Fig. 7 Receptor generalizat extrem dezechilibrat,  $z_h = 0, z_d = 0, z_i \neq 0$

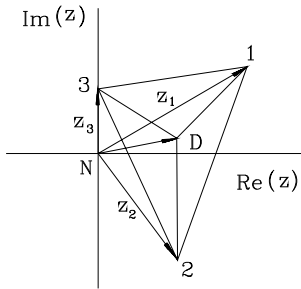


Fig. 8 Receptor dezechilibrat real,  $Z_3 = \text{inductanță}$

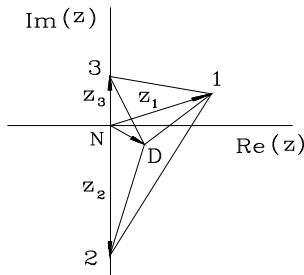


Fig. 9 Receptor dezechilibrat real,  $Z_2 = \text{capacitate}$ ,  $Z_3 = \text{inductanță}$

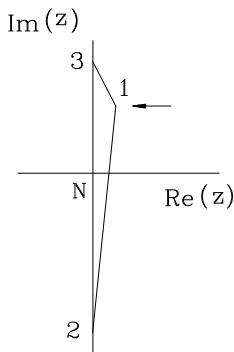


Fig. 10 Receptor extrem dezechilibrat real

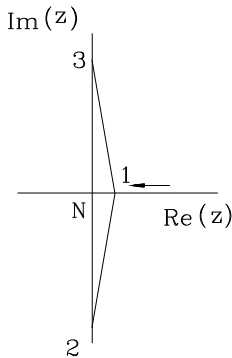


Fig. 11 Receptor extrem dezechilibrat real (caz particular)

### 3. Concluzii

■ În această lucrare este prezentat un nou punct de vedere asupra receptoarelor trifazate dezechilibrate. Acest punct de vedere utilizează noțiunea de receptor generalizat, respectiv de impedanță generalizată. Impedanța generalizată are partea reală (rezistența echivalentă în curent alternativ) negativă. Ea nu are existență fizică reală, obiectivă, ci este o noțiune teoretică, de calcul, foarte utilă în interpretarea unor fenomene legate de funcționarea circuitelor electrice trifazate în regimuri nesimetrice și dezechilibrate. Aceste regimuri intervin des în practică, iar analiza lor este evident foarte importantă. Putem spune că regimurile nesimetrice și dezechilibrate sunt un rău de multe ori inevitabil, în sensul că ideal ar fi să avem regimuri simetrice și echilibrate în funcționarea circuitelor trifazate.

■ Lucrarea de față prezintă schema echivalentă în stea a receptorului trifazat dezechilibrat cu evidențierea importanței considerării componentelor simetrice de calcul ale impedanțelor: componenta homopolară, componenta directă și componenta inversă.

■ Sistemul de impedanțe poate fi divizat în partea echilibrată (formată din componenta homopolară pentru fiecare fază) și în partea extrem dezechilibrată (care cuprinde componenta directă și componenta inversă pentru fiecare fază).

■ Se propune în lucrare o clasificare a receptoarelor trifazate care diferă de clasificarea clasică, prezentă în toate tratatele de electrotehnică. Această nouă clasificare nu contrazice clasificarea clasică, ci o completează și o nuanțează.

■ Se consideră în continuare reprezentarea în planul complex a receptorului trifazat, care se face evident prin reprezentarea impedanțelor de pe fiecare fază în parte. Unind extremitățile defazorilor impedanțelor complexe de pe fiecare fază, se obține un triunghi reprezentativ pentru receptorul trifazat. Se arată diverse situații de receptoare trifazate, cu reprezentările respective în planul impedanțelor.

■ Acest nou punct de vedere asupra receptoarelor trifazate are aplicații în calculul regimurilor de funcționare ale consumatorilor și în analiza energetică a acestor regimuri [5], [6], [7]. Se poate arăta că existența receptoarelor trifazate dezechilibrate într-un circuit alimentat simetric conduce la mărirea pierderilor pe linia de transport (la aceeași putere utilă la consumator).

## BIBLIOGRAFIE

- [1] Pavel, E., *Considerații privind receptoarele electrice trifazate dezechilibrate*, ENERG, Vol. VII, Editura tehnică, București, 1989, pag.194-220.
- [2] Pavel, E., *Noi aspecte ale teoriei receptoarelor trifazate statice dezechilibrate*, Energetica, Vol. 37, Nr. 11, noiembrie 1989, pag. 481-492.
- [3] Țugulea, A., *Considerații privind efectele energetice în regimuri armonice nesimetrice ale sistemelor trifazate*; Energetica, Vol. XXXIV, Nr. 3, martie 1986, pag. 121-129.
- [4] Popa, V.M., *On an Analysis for the Unbalanced Loads*, Acta Electrotehnica Napocensis, Vol. 36, Nr. 1, Cluj-Napoca, 1995, pag. 93-94.
- [5] Popa, V.M., *Contribuții la analiza sistemelor trifazate nesimetrice, cu aplicații*, Teză de doctorat, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, 1999.
- [6] 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.
- [7] Popa, V.M., *The Energetical Study of the Unbalanced Three-Phased Load*, Conferința Națională cu participare internațională „Electrotehnica aplicată în eco-reconstrucția industrială”, Sibiu, 23-24 septembrie 2005; Volum, ISBN 973-739-138-1, pag. 144-151.

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