

Lucrarea 5

Măsurarea în circuite de curent alternativ trifazat

1. Obiectivul Lucrării

Lucrarea are drept scop prezentarea modului de măsurare a unor puteri și calculul unor energii în circuite de curent alternativ (c.a.) trifazat pentru familiarizarea cu metodele, instrumentele de măsură și modul de calcul al acestor mărimi.

2. Principii Teoretice

Măsurarea directă a puterii active se face cu wattmetrul electrodinamic, având conectate comun începuturile bobinelor de curent și de tensiune. Măsurarea puterii aparente se face prin citirea indicațiilor unui ampermetru și unui voltmetru, aplicând relația cunoscută:

$$S = UI \quad [VA] \quad (1)$$

astfel încât din relația între cele trei puteri se poate deduce pentru puterea reactivă expresia:

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2} = \sqrt{U^2 I^2 - P^2} \quad [Var] \quad (2)$$

Calculul uneia dintre cele trei puteri în funcție de celelalte două se mai poate face și utilizând una din relațiile:

$$\begin{cases} \frac{P}{S} = \cos\varphi; & \frac{Q}{S} = \sin\varphi; & \frac{Q}{P} = \tan\varphi \\ P = UI\cos\varphi; & Q = UI\sin\varphi \end{cases} \quad (3)$$

În circuitele de c.a. trifazat în funcție de tipul circuitului (cu sau fără fir neutru), al sarcinii (echilibrată sau nu) și al energiei măsurate (activă sau reactivă), se întâlnesc variante de scheme cu unul, două sau trei wattmetre.

Schema cu două wattmetre, care este tratată în această lucrare, este o schema universală ce se poate aplica în toate situațiile amintite mai sus. Pentru a înțelege însă modul de punere a problemei de măsurare a puterii în circuite de c.a. trifazat, să considerăm un asemenea circuit (figura 1) cu receptor în stea și încărcare simetrică pe cele trei faze:

$$Z_R = Z_S = Z_T \quad (4)$$

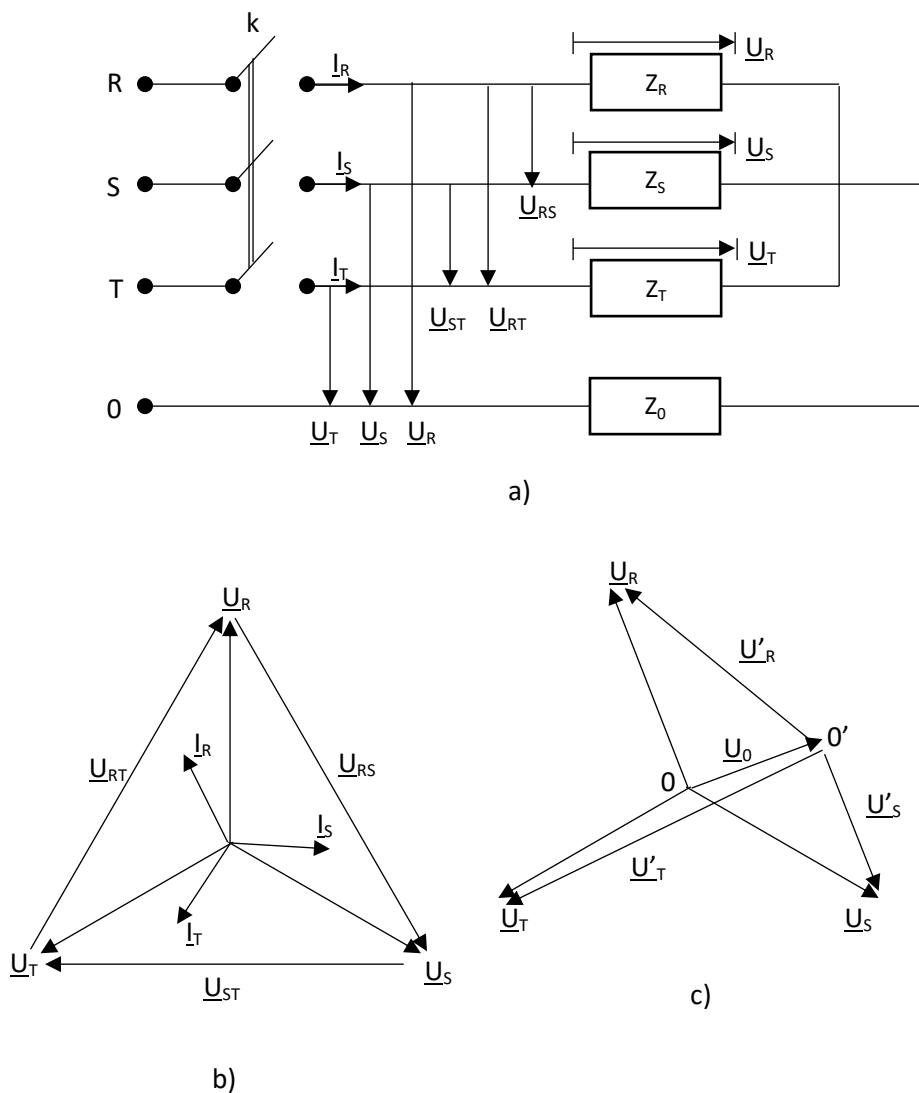


Fig. 1

În cazul unei încărcări nesimetrice, impedanțele fazelor nu mai respectă condiția (1), fiecare curent de fază are altă valoare și nici tensiunile de fază nu mai sunt egale între ele, apărând așa numita “deplasare a punctului neutru” (figura 1.c) din punctul 0 în punctul 0', determinată ca mărime și poziție de vectorul U_0 , corelat cu circulația pe conductorul de nul prin relația:

$$U_0 = I_0 Z_0 \quad (5)$$

în care dezechilibrul pentru circuitul cu conductor de nul este:

$$U_0 = \frac{U_R \frac{1}{Z_R} + U_S \frac{1}{Z_S} + U_T \frac{1}{Z_T}}{\frac{1}{Z_R} + \frac{1}{Z_S} + \frac{1}{Z_T} + \frac{1}{Z_0}} \quad (6)$$

și pentru circuitul fără conductor de nul este:

$$U_0 = \frac{U_R \frac{1}{Z_R} + U_S \frac{1}{Z_S} + U_T \frac{1}{Z_T}}{\frac{1}{Z_R} + \frac{1}{Z_S} + \frac{1}{Z_T}} \quad (7)$$

Se mai pot scrie în cazul sarcinii nesimetrice, următoarele relații:

$$\left\{ \begin{array}{l} U'_R = U_R - U_0; \quad U'_S = U_S - U_0; \quad U'_T = U_T - U_0 \\ I'_R = U'_R \frac{1}{Z_R}; \quad I'_S = U'_S \frac{1}{Z_S}; \quad I'_T = U'_T \frac{1}{Z_T} \\ P = P_R + P_S + P_T \\ Q = Q_R + Q_S + Q_T \\ S = S_R + S_S + S_T \end{array} \right. \quad (8)$$

În cazul schemei cu două wattmetre, la care se referă și prezenta lucrare, puterea totală consumată în circuit, în funcție de puterile măsurate de cele două wattmetre, P_1 și P_2 , este:

$$P = P_1 + P_2 \quad (9)$$

iar puterea reactivă:

$$Q = \sqrt{3}UI \sin \varphi = \sqrt{3}(P_1 - P_2) \quad (10)$$

în care defazajul între tensiune și curent este:

$$\varphi = \arctg \sqrt{3} \frac{P_1 - P_2}{P_1 + P_2} \quad (11)$$

Relațiile (7), (8) sunt aplicabile numai pentru sisteme echilibrate.

3. Scheme de montaj

Pentru realizarea schemei de montaj aferente acestei lucrări de laborator se va folosi o cutie wattmetrică (CW) așa cum este prezentată în figura 2. Aceasta conține:

- W, VAr - wattmetru și varmetru cu reprezentare pe același cadran, domeniile 0-550 V, 0-100 A, clasa de precizie 1;
- V - voltmetru de c.a., domeniul 0-550 V, clasa de precizie 1;
- A_R, A_S, A_T - ampermetru de c.a., domeniul 0-100 A, clasa de precizie 1;
- CV - comutator voltmetric;
- CB - comutator de borne (0-pentru alimentare de la bornele centrale; §- pentru alimentare de la bornele din stânga);
- CU – comutator scală tensiune;
- CI – comutator scală curent;
- Ind. – indicator pentru constantele aparatelor (A, V, W, VAr);
- Borne de legătură N, R, S, T pentru fiecare fază și pentru firul de nul (alimentare);
- Borne de legătură R, S, T pentru fiecare fază (sarcină).

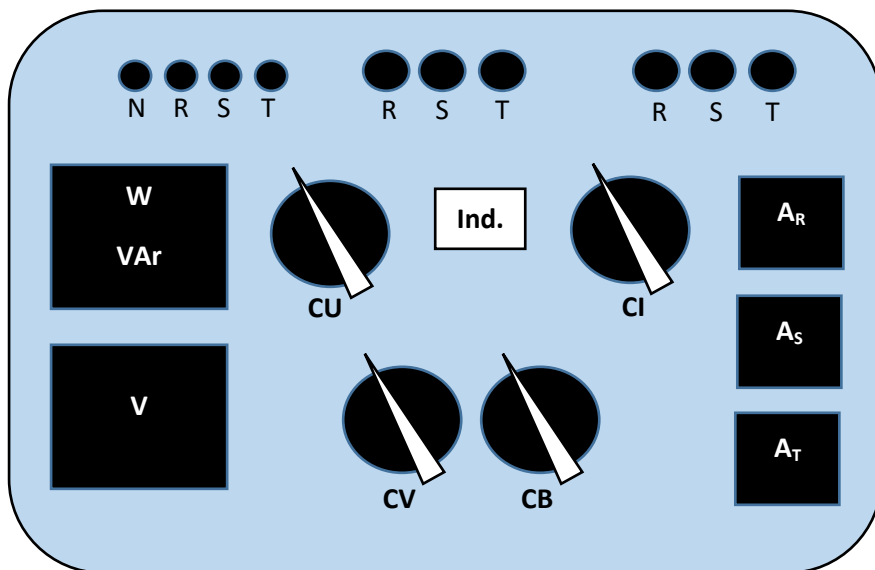


Fig. 2

Se realizează schema de montaj din figura 3, cu următoarele aparate:

K_1 , K_2 - întrerupătoare tripolare capsulate;

CW – cutie wattmetrică;

RS1, RS2, RS3 - reostate de sarcină de 75Ω , 3A;

RSE1, RSE2, RSE3 – reostate de sarcină pentru echilibrare;

A_D – ampermetru pentru măsurarea curentului de dezechilibru, 5A;

M - motor electric asincron trifazat, putere maximă 1.1 - 1.5 kW.

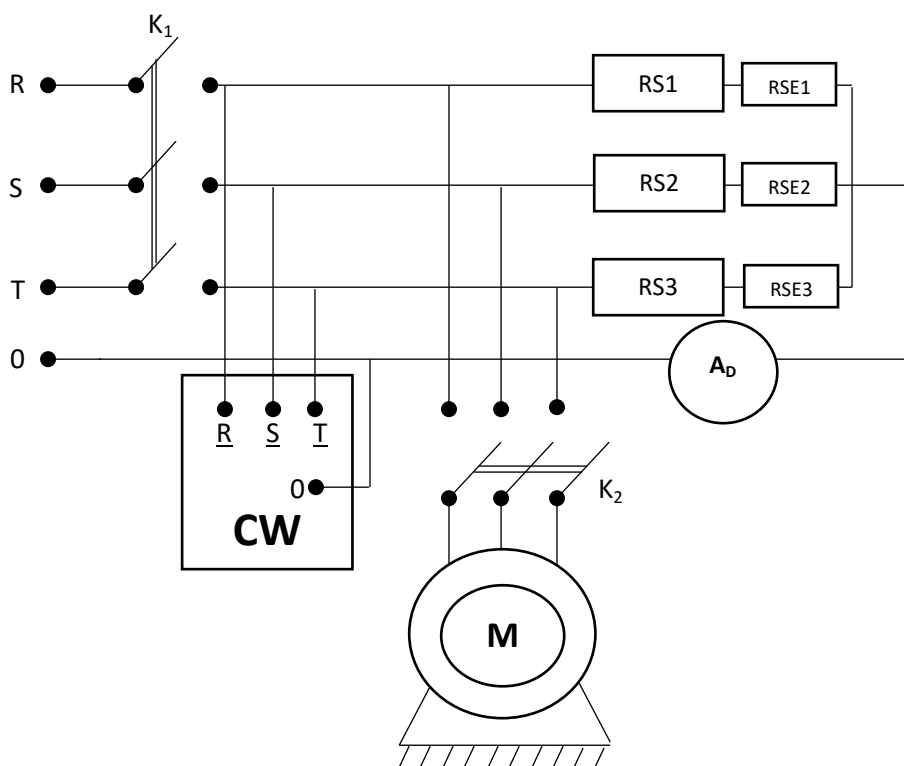


Fig. 3

4. Mersul lucrării. Relații de calcul

Se execută montajul din figura 3. Sarcinile pentru care se fac determinări sunt următoarele:

- O sarcină pur rezistivă echilibrată;
- O sarcină inductivă - rezistivă echilibrată;

- O sarcină inductivă - rezistivă dezechilibrată:
- O sarcină pur rezistivă dezechilibrată.

NOTĂ: Alegerea sarcinii se face în lipsa tensiunii (K_1 deschis).

Se citesc datele măsurate (tensiuni, curenți, putere) pentru toate tipurile de sarcină și se trec în tabelul 1.

Tabelul 1

Nr. crt.	Încărcarea (sarcina)	Tensiuni de linie			Tensiuni de fază			Curenți de fază			Puterea activă P [W]	Curent fir de nul I ₀ [A]	Valori calculate					
		U _{RS} [V]	U _{ST} [V]	U _{TR} [V]	U _R [V]	U _S [V]	U _T [V]	I _R [A]	I _S [A]	I _T [A]			Q [VAr]	S [VA]	Z _R [Ω]	Z _S [Ω]	Z _T [Ω]	U ₀ [V]
1	Pur rezistivă echilibrată																	
2	Inductivă-rezistivă echilibrată																	
3	Inductivă-rezistivă dezechilibrată																	
4	Pur rezistivă dezechilibrată																	

Se calculează următoarele valori: S , Q , Z_R , Z_S , Z_T , U_0 , $\cos\phi$.

Pe baza datelor măsurate și calculate se construiește grafic deplasarea punctului neutru (figura 4), în modul următor: din vârfurile R, S, T ale vectorilor tensiunilor de fază $\underline{U}_R$, $\underline{U}_S$, $\underline{U}_T$ de la încărcarea echilibrată, se descriu trei cercuri C_R , C_S , C_T având ca raze valorile celor trei tensiuni de fază U_R , U_S , U_T de la încărcarea dezechilibrată. Punctul lor de intersecție determină neutrul deplasat O' , iar vectorul $OO'=\underline{U}_0$ reprezintă potențialul punctului nou neutru determinându-l ca mărime, direcție și sens.

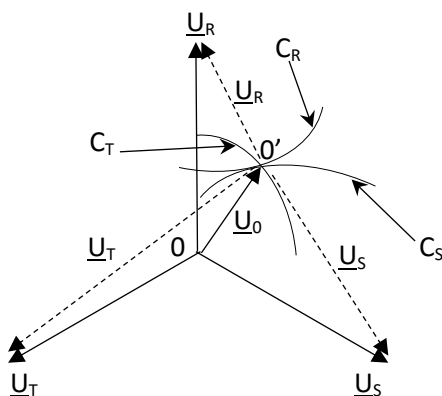


Fig. 4

5. Analiza rezultatelor

Se vor face observații asupra influenței dezechilibrului asupra funcționării sistemului trifazat și a influenței sarcinii inductive asupra puterilor măsurate, precum și asupra altor aspecte considerate de remarcat în lucrare.

6. Notății

Tabelul 2 prezintă notațiile folosite în această lucrare.

Tabelul 2

Termen	Explicație
$\cos \phi$	factor de putere

I	curent
I_R, I_S, I_T	curenții celor trei faze R, S, T
P	puterea activă
Q	puterea reactivă
S	puterea aparentă
U	tensiune
U_0	vectorul deplasării punctului neutru
U_R, U_S, U_T	tensiunile celor trei faze R, S, T
U_{RS}	tensiunea dintre faza R și faza S
U_{RT}	tensiunea dintre faza R și faza T
U_{ST}	tensiunea dintre faza S și faza T
Z_R, Z_S, Z_T	impedanțele celor trei faze R, S, T