

## Lucrarea 4

### Măsurarea în circuite de curent alternativ monofazat

#### 1. Obiectivul lucrării

Lucrarea are drept scop măsurarea de puteri și calculul de impedențe în curent alternativ (c.a.) monofazat, utilizând wattmetre, apermetre și voltmetre

#### 2. Principii teoretice

Considerând un circuit de c.a. monofazat și o impedență de sarcină  $Z$  (fig. 1), aceasta este caracterizată prin relațiile:

$$Z = R + jX = Z(\cos\varphi_Z + j\sin\varphi_Z); \quad Z = \frac{U_Z}{I_Z}; \quad \varphi_Z = \arctg \frac{X}{R} \quad (1)$$

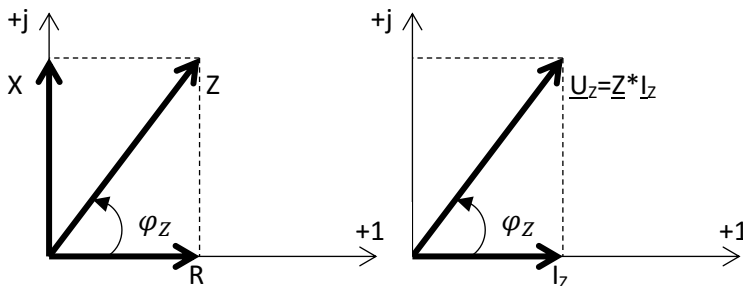


Fig. 1

Măsurarea puterii consumate pe această impedență se poate face cu un wattmetru, conectat în montaj amonte (începutul bobinei de tensiune legat la începutul bobinei de curent), sau în montaj aval (începutul bobinei de tensiune legat la sfârșitul bobinei de curent).

În cazul montajului amonte (fig. 2), puterea activă indicată de wattmetru este:

$$P = UI \cos \varphi \quad (2)$$

și diferă de puterea reală consumată pe sarcină prin consumul propriu al bobinei de curent a wattmetrului. Considerând-o ca o rezistență pură cu valoarea  $R_{aw}$ , puterea reală consumată pe sarcină este:

$$P_Z = P - R_{aw}I^2; \quad \Delta P_{aw} = R_{aw}I^2 \quad (3)$$

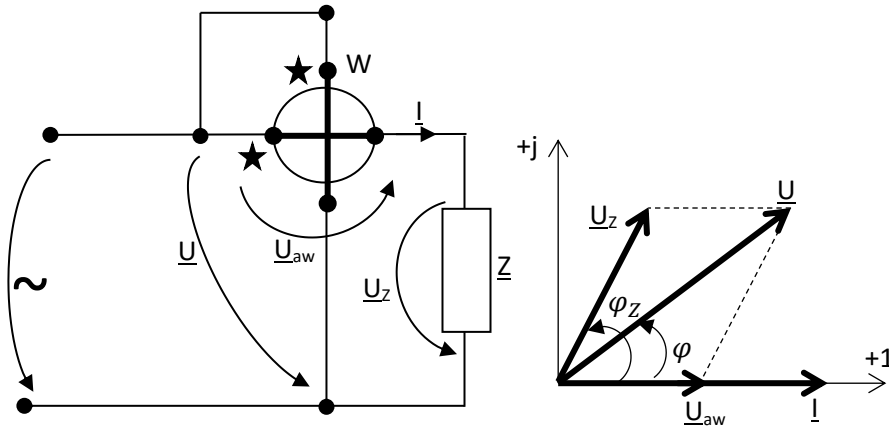


Fig. 2

Din diagrama fazorială se vede că în acest caz:

$$U_Z^2 = U^2 + U_{aw}^2 - 2UU_{aw}\cos\varphi; \quad U_{aw} = R_{aw}I \quad (4)$$

Cu acestea, modulul impedanței de sarcină este:

$$Z = \frac{U_Z}{I} = \frac{\sqrt{U^2 - R_{aw}(2P - R_{aw}I^2)}}{I} \quad (5)$$

Iar factorul de putere:

$$\cos\varphi_Z = \frac{P - R_{aw}I^2}{\sqrt{U^2 - R_{aw}(2P - R_{aw}I^2)}} \quad (6)$$

Din ultimele două relații se pot determina componentele reală și imaginară ale impedanței de sarcină cu relațiile:

$$R_Z = Z \cos \varphi_Z; \quad X_Z = Z \sin \varphi_Z \quad (7)$$

În cazul montajului aval, (fig. 3), puterea activă indicată de wattmetru este:

$$P = UI \cos \varphi \quad (8)$$

și diferă de puterea reală consumată pe sarcină prin consumul propriu al bobinei de tensiune.

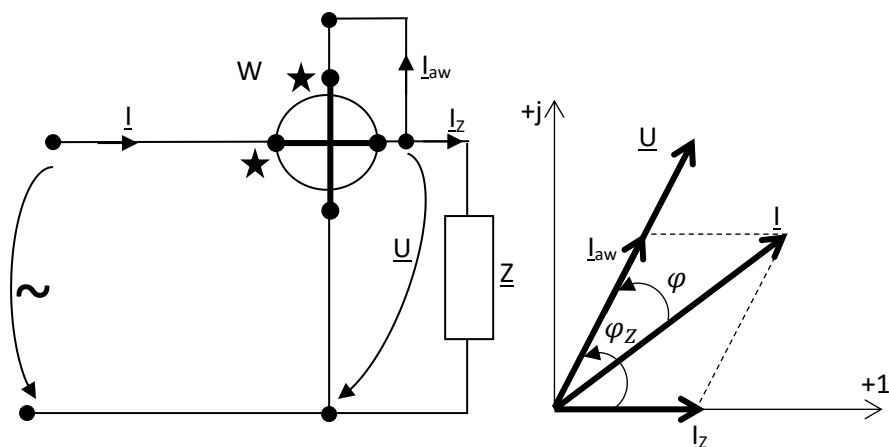


Fig. 3

Considerând și în acest caz bobina de tensiune ca o rezistență pură de valoare  $R_{vw}$ , puterea reală consumată pe sarcina Z va fi:

$$P_Z = P - \frac{U^2}{R_{vw}}; \quad \Delta P_{av} = \frac{U^2}{R_{vw}} \quad (9)$$

Din diagrama fazorială se vede că în acest caz:

$$I_{vw} = \frac{U}{R_{vw}}; \quad I_Z^2 = I^2 + I_{vw}^2 - 2II_{vw} \cos \varphi \quad (10)$$

Ca și în cazul anterior modulul impedenței de sarcină se poate calcula cu:

$$Z = \frac{U}{I_Z} = \frac{U}{\sqrt{I^2 - \frac{1}{R_{vw}}(2P - \frac{U^2}{R_{vw}})}} \quad (11)$$

iar factorul de putere:

$$\cos\varphi_Z = \frac{P - \frac{U^2}{R_{vw}}}{U \sqrt{I^2 - \frac{1}{R_{vw}}(2P - \frac{U^2}{R_{vw}})}} \quad (12)$$

Componentele reală și imaginară ale impedenței de sarcină se determină în acest caz cu aceleași relații:

$$R_Z = Z \cos\varphi_Z; \quad X_Z = Z \sin\varphi_Z \quad (13)$$

Așa cum se vede din relațiile (3) și (9), erorile de metodă la măsurarea puterii, pentru conexiunile amonte și aval, sunt:

$$\Delta P_{aw} = R_{aw} I^2 - a_{monte}; \quad \Delta P_{av} = \frac{U^2}{R_{vw}} - a_{aval} \quad (14)$$

și apar datorită consumului propriu al bobinei de curent, respectiv al bobinei de tensiune ale aparatului. Erorile de metodă sunt egale dacă  $Z^2 = R_{aw} R_{vw}$ . Dacă  $Z^2 > R_{aw} R_{vw}$ , atunci este recomandată conexiunea amonte, iar dacă  $Z^2 < R_{aw} R_{vw}$ , este recomandată conexiunea aval.

### 3. Scheme de montaj

În cazul măsurărilor cu wattmetrul în conexiunea amonte, schema de montaj este cea din figura 4, cu următoarele aparate:

ATR - autotransformatoar, 0-260 V, 8 A;

V - voltmetru de c.a., domeniile 0-150-300 V;

A - ampermetru de c.a., domeniile 0-1-5 A;

W - wattmetru de c.a., domeniile 0-150-300 V, 0-5 A;

R1, R2, R3 - sarcină rezistivă, reostate de 190  $\Omega$ , 2A; 75  $\Omega$ , 3A respectiv 29  $\Omega$ , 5A;

C - sarcină capacitivă, baterie de condensatoare;

L - sarcină inductivă, bobină

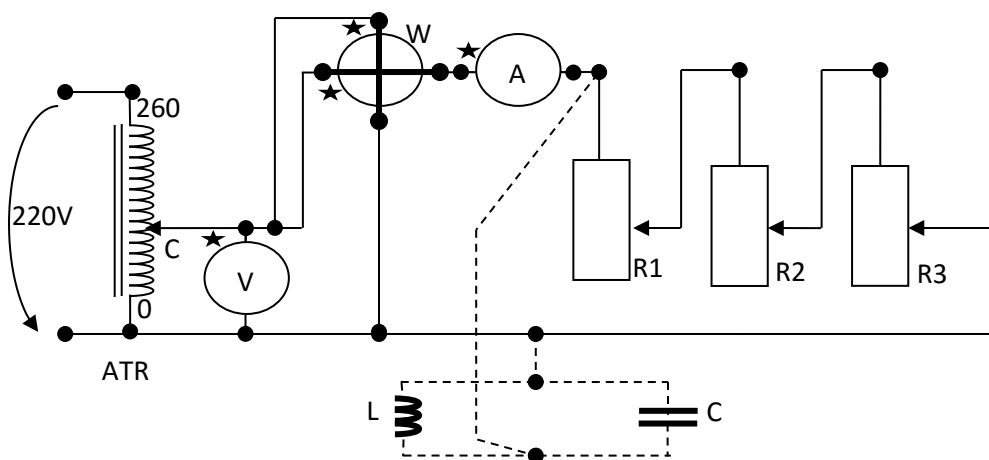


Fig. 4

Pentru efectuarea măsurătorilor cu wattmetrul conectat în montaj aval, se realizează schema din figura 5, utilizând aceleași aparate ca și în cazul anterior. Singurele modificări apărute se referă la pozițiile ampermetrului și voltmetrului, și la conectarea aparatului.

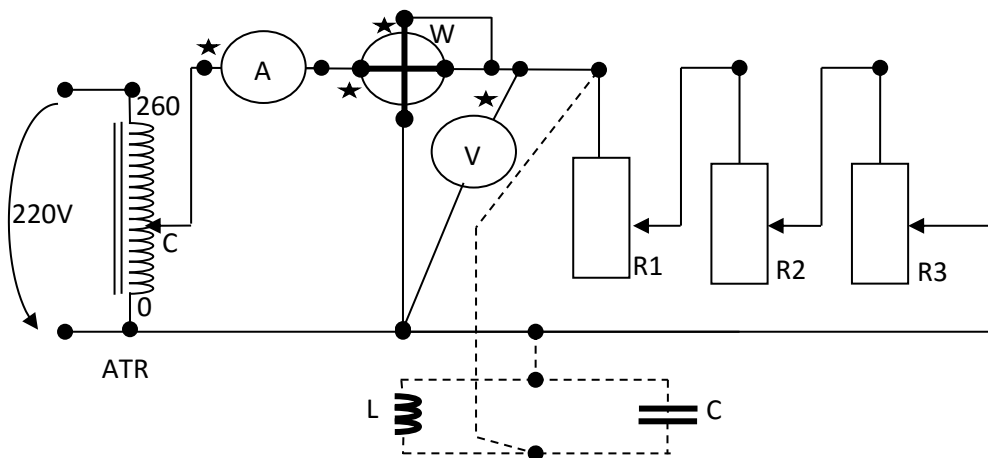


Fig. 5

#### 4. Mersul lucrării

Pentru măsurări de puteri și calcul de impedanțe în montajul amonte, se realizează schema de montaj din figura 4. Înainte de cuplarea tensiunii de alimentare, se verifică poziția cursorului autotransformatorului să fie pe zero, și poziția cursorului watmetrului se reglează la 150 V, iar cea a domeniului de curent pe 5 A. După conectarea montajului la tensiune, se reglează din cursorul autotransformatorului 150 V (indicați pe voltmetrul V). Se reglează reostatul de sarcină pe poziția corespunzătoare unui curent de 0,1 A, și se efectuează un set de măsurători pentru sarcina rezistivă, rezistiv-capacitivă, rezistiv-inductivă și rezistiv-capacitiv-inductivă (sarcină mixtă). Se reglează din nou reostatul de sarcină pentru curenții de sarcină 0,2 A și 0,3 A, repetându-se setul de măsurări pentru fiecare dintre aceștia. Valorile măsurate se trec în tabelul 1.

Tabelul 1

| Tipul sarcinii | U (V) | I (A) | P (W) | $\Delta P$ (W) | $e_{rp}$ (%) | Z ( $\Omega$ ) | $R_z$ ( $\Omega$ ) | $X_z$ ( $\Omega$ ) | $\cos \phi_z$ | $P_z$ (W) | $Q_z$ (VAR) | $S_z$ (VA) |
|----------------|-------|-------|-------|----------------|--------------|----------------|--------------------|--------------------|---------------|-----------|-------------|------------|
| R              |       |       |       |                |              |                |                    |                    |               |           |             |            |
| R-L            |       |       |       |                |              |                |                    |                    |               |           |             |            |
| R-C            |       |       |       |                |              |                |                    |                    |               |           |             |            |
| R-L-C          |       |       |       |                |              |                |                    |                    |               |           |             |            |
| R              |       |       |       |                |              |                |                    |                    |               |           |             |            |
| R-L            |       |       |       |                |              |                |                    |                    |               |           |             |            |
| R-C            |       |       |       |                |              |                |                    |                    |               |           |             |            |
| R-L-C          |       |       |       |                |              |                |                    |                    |               |           |             |            |
| R              |       |       |       |                |              |                |                    |                    |               |           |             |            |
| R-L            |       |       |       |                |              |                |                    |                    |               |           |             |            |
| R-C            |       |       |       |                |              |                |                    |                    |               |           |             |            |
| R-L-C          |       |       |       |                |              |                |                    |                    |               |           |             |            |

Pentru măsurări de puteri și calcul de impedanțe cu montajul aval, se realizează schema de montaj din figura 5. În continuare se fac aceleași determinări ca și în cazul anterior, iar valorile măsurate se trec în tabelul 2.

Tabelul 2

| Tipul sarcinii | U (V) | I (A) | P (W) | $\Delta P$ (W) | $e_{rp}$ (%) | Z ( $\Omega$ ) | $R_z$ ( $\Omega$ ) | $X_z$ ( $\Omega$ ) | $\cos \phi_z$ | $P_z$ (W) | $Q_z$ (VAR) | $S_z$ (VA) |
|----------------|-------|-------|-------|----------------|--------------|----------------|--------------------|--------------------|---------------|-----------|-------------|------------|
| R              |       |       |       |                |              |                |                    |                    |               |           |             |            |
| R-L            |       |       |       |                |              |                |                    |                    |               |           |             |            |
| R-C            |       |       |       |                |              |                |                    |                    |               |           |             |            |
| R-L-C          |       |       |       |                |              |                |                    |                    |               |           |             |            |
| R              |       |       |       |                |              |                |                    |                    |               |           |             |            |
| R-L            |       |       |       |                |              |                |                    |                    |               |           |             |            |
| R-C            |       |       |       |                |              |                |                    |                    |               |           |             |            |
| R-L-C          |       |       |       |                |              |                |                    |                    |               |           |             |            |
| R              |       |       |       |                |              |                |                    |                    |               |           |             |            |
| R-L            |       |       |       |                |              |                |                    |                    |               |           |             |            |
| R-C            |       |       |       |                |              |                |                    |                    |               |           |             |            |
| R-L-C          |       |       |       |                |              |                |                    |                    |               |           |             |            |

## 5. Rezultate experimentale și calculate

În cazul măsurătorilor cu montajul amonte, rezistența  $R_{aw}$  reprezintă suma rezistențelor bobinei de curent a wattmetrului, respectiv ampermetrului montat în serie în circuit. Dacă valorile acestor rezistențe nu se cunosc, ele se pot calcula din condiția ca la curent nominal, căderea de tensiune pe aparat să nu depășească 100-300 mV (valabilă pentru aparate industriale), deci:

$$R_a = \frac{\Delta U}{I_N} = \frac{0,1 \dots 0,3}{I_N} \quad [\Omega] \quad (15)$$

În cazul montajului aval, rezistența  $R_{vw}$  reprezintă rezistența echivalentă rezistențelor bobinei de tensiune a wattmetrului, respectiv voltmetrului montat în circuit, conectate în paralel. Dacă valorile acestor rezistențe nu se cunosc, atunci se poate considera că valoarea lor este de 500  $\Omega/V$  (valabilă în cazul aparatelor industriale, și deci:

$$R_v = U_N 500 \quad [\Omega] \quad (16)$$

Erorile absolute la măsurarea puterii se calculează cu formulele:

$$\Delta P = R_{aw} I^2; \quad \Delta P = U^2 / R_{vw} \quad (17)$$

pentru montajul amonte, respectiv aval. Eroarea relativă la măsurarea puterii se determină în ambele cazuri cu formula:

$$e_{rp} \frac{\Delta P}{P} 100 \quad [\%] \quad (18)$$

Modulul impedanței necunoscute se determină pentru conexiunea amonte cu relația:

$$Z = \frac{\sqrt{U^2 - R_{aw}(2P - R_{aw}I^2)}}{I} \quad (19)$$

iar pentru conexiunea aval cu relația:

$$Z = \frac{U}{\sqrt{I^2 - \frac{1}{R_{vw}}(2P - \frac{U^2}{R_{vw}})}} \quad (20)$$

Factorul de putere al impedanței necunoscute se determină pentru conexiunea amonte cu relația:

$$\cos\varphi_Z = \frac{P - R_{aw}I^2}{\sqrt{U^2 - R_{aw}(2P - R_{aw}I^2)}} \quad (21)$$

iar pentru conexiunea aval cu relația:

$$\cos\varphi_Z = \frac{P - \frac{U^2}{R_{vw}}}{U \sqrt{I^2 - \frac{1}{R_{vw}}(2P - \frac{U^2}{R_{vw}})}} \quad (22)$$

Componentele reală și imaginară ale impedanței necunoscute se determină în ambele cazuri cu relațiile:

$$R_Z = Z\cos\varphi_Z; \quad X_Z = Z\sin\varphi_Z \quad (23)$$

Puterea activă consumată pe sarcină este egală cu:

$$P_Z = P - \Delta P \quad (24)$$



iar puterile reactivă și aparentă consumate pe impedența de sarcină se calculează cu relațiile:

$$Q_Z = X_Z I^2, \text{montaj amonte}$$

$$Q_Z = \frac{U^2}{X_Z}, \text{montaj aval} \quad S_Z \sqrt{P_Z^2 + Q_Z^2} \quad (25)$$

Rezultatele calculelor se trec în tabelele 1 și 2. Caracteristicile aparatelor sunt prezentate în tabelul 3

Tabelul 3

| Domeniul   |           |           | R <sub>a</sub> | R <sub>v</sub> | R <sub>wi</sub> | R <sub>wu</sub> | R <sub>aw</sub> | R <sub>vw</sub> |
|------------|-----------|-----------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| ampermetru | voltmetru | wattmetru | 0,04           | 450K           | 0,04            | 420K            | 0,08            | 170             |

Notății:

R<sub>a</sub> - rezistența internă a ampermetrului;

R<sub>v</sub> - rezistența internă a voltmetrului;

R<sub>wi</sub> - rezistența bobinei de curent a wattmetrului;

R<sub>wu</sub> - rezistența bobinei de tensiune a wattmetrului;

R<sub>aw</sub> - R<sub>a</sub> + R<sub>wi</sub>;

R<sub>vw</sub> - R<sub>v</sub> + R<sub>wu</sub>;

## 6. Analiza rezultatelor

În urma efectuării lucrării, se analizează rezultatele și apoi se formulează concluzii cu privire la erorile de măsurare în funcție de impedența de sarcină, pentru cele două cazuri de conectare a wattmetrului.

## 7. Notății

Tabelul 4 prezintă notațiile folosite în această lucrare.

Tabelul 4

| Termen | Explicație         |
|--------|--------------------|
| A      | ampermetru         |
| cosφ   | factorul de putere |

|          |                                                                               |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------|
| $e_a$    | eroarea absolută                                                              |
| $e_r$    | eroarea relativă                                                              |
| $e_{rp}$ | eroarea relativă la măsurarea puterii                                         |
| $I$      | curent                                                                        |
| $I_{aw}$ | curentul prin bobina de curent a wattmetrului                                 |
| $I_N$    | curentul nominal                                                              |
| $I_{vw}$ | curentul prin bobina de tensiune a wattmetrului                               |
| $P$      | puterea activă                                                                |
| $P_Z$    | puterea activă consumată pe sarcină                                           |
| $Q_Z$    | puterea reactivă consumată pe sarcină                                         |
| $R$      | rezistență                                                                    |
| $R_a$    | rezistența internă a ampermetrului                                            |
| $R_{aw}$ | suma rezistențelor bobinei de curent a wattmetrului, respectiv ampermetrului  |
| $R_{vw}$ | suma rezistențelor bobinei de tensiune a wattmetrului, respectiv voltmetrului |
| $R_v$    | rezistența internă a voltmetrului                                             |
| $R_Z$    | componenta reală a impedanței de sarcină                                      |
| $S_Z$    | puterea aparentă consumată pe sarcină                                         |
| $U$      | tensiune                                                                      |
| $U_N$    | tensiunea nominală                                                            |
| $V$      | voltmetru                                                                     |
| $W$      | wattmetru                                                                     |
| $X_Z$    | componenta imaginară a impedanței de sarcină                                  |
| $Z$      | impedanța de sarcină                                                          |