

**DEPENDENȚA FUNCȚIONALĂ  
DINTRE ASIMITRIE ÎN CEEA CE  
PRIVEȘTE CURENTUL ȘI  
TENSIUNEA DIN REȚEAUA DE  
DISTRIBUȚIE ELECTRICĂ**

**Conferențiar Dr. Evtim Kurtzelin**  
Universitatea de Mine și Geologie “St.Iv.  
Rilski”, Sofia, Republica Bulgaria  
**Vasile Cozma, Prof.** Universitatea  
“Constantin Brâncuși”, Targu Jiu, Romania  
**Asistent Universitar Dr. Rumén Istalianov,**  
Universitatea de Mine și Geologie “St.Iv.  
Rilski”, Sofia, Republica Bulgaria  
**Inginer Diplomat Dinko Gospodinov,**  
Universitatea de Mine și Geologie “St.Iv.  
Rilski”, Sofia, Republica Bulgaria  
**Inginer Diplomat Ioana Mladenova,**  
Universitatea de Mine și Geologie “St.Iv.  
Rilski”, Sofia, Republica Bulgaria

**Abstract:** În această lucrare este elaborată expresia analitică pentru a determina dependența funcțională dintre asimetrie în ceea ce privește curentul și tensiunea în rețelele de distribuție electrică.

**Cuvinte-cheie:** Protecția filtrelor, asimetria referitoare la curent și tensiune

Pentru asigurarea unei funcționări fiabile, sigure și eficiente a echipamentului electric, conectat la sistemul de energie electrică, documentele normative fixează anumiți indicatori și norme care determină calitatea energiei electrice [1÷6].

Pentru a realiza protecția filtrului de curent este necesar să se țină cont de asimetria naturală a rețelei electrice referitor la curent care se caracterizează prin coeficientul de asimetrie pentru curent  $\varepsilon_T$ . Totuși în documentele normative sunt determinate rate/norme permisibile ale asimetriei tensiunii  $\varepsilon_U$ . Așadar, pentru a realiza protecția filtrului, ținând seama de ratele/normele permisibile pentru asimetria tensiunii, este necesar să se determine

**FUNCTIONAL DEPENDENCE  
BETWEEN THE ASYMMETRY  
AS REGARDS CURRENT AND  
VOLTAGE IN THE  
ELECTRICAL DISTRIBUTION  
NETWORK**

**Evtim Kurtzelin Assos.Prof.Dr,** University of  
Mining and Geology “St.Iv. Rilski”, Sofia,  
Republic of Bulgaria  
**Vasile Cozma, Prof.** “Constantin Brâncuși”  
University of Targu Jiu, Romania  
**Rumen Istalianov Assis Prof. Dr,** University  
of Mining and Geology “St. Iv. Rilski”, Sofia,  
Republic of Bulgaria  
**Dinko Gospodinov, Dipl.Eng,** University of  
Mining and Geology “St. Iv. Rilski”, Sofia,  
Republic of Bulgaria  
**Ioana Mladenova Dipl.Eng,** University  
of Mining and Geology “St. Iv. Rilski”, Sofia,  
Republic of Bulgaria

**Abstract:** In the paper is elaborated analytical expression in order to be determined the functional dependence between the asymmetry as regards current and voltage in the electrical distribution networks.

**Keywords:** Filter protection, asymmetry as regards current and voltage

For providing of reliable, safe and effective operation of the electrical equipment, connected with electrical-energy system in the normative documents are fixed some indicators and norms determined the quality of electrical energy [1÷6].

In order the setting of current filter protection to be determined there is necessary to render an account the natural asymmetry of the electrical network as regards current, which is characterized through the coefficient for asymmetry as regards current  $\varepsilon_T$ . However in the normative documents are determined [1÷6] allowable rates / norms/ about asymmetry

conexiunea funcțională dintre  $\varepsilon_T$  și  $\varepsilon_U$ .

În Figura 1 este prezentată schema pentru alimentarea unui motor asincron pentru o situație generală: prezența asimetriei în ceea ce privește tensiunea, aplicată fazelor motorului și prezența simultană a asimetriei rezistenței pe fază a rețelei de furnizare a energiei electrice și rezistențele pe fază asimetricale ale motorului care este protejat.

Ținând seama de experiența în exploatare, presupunem că asimetria rezistenței pe fază este cauzată în primul rând de asimetria rezistenței pe fază a cablului pentru energia electrică și de prezența unuia dintre utilizatorii pe fază de asemenea.

În figura 1 se presupun următoarele denumiri:

$\dot{U}_A, \dot{U}_B, \dot{U}_C, \dot{I}_A, \dot{I}_B, \dot{I}_C$  - ratele complexe ale tensiunii pe fază și curentului motorului;

$Z_{MA}, Z_{MB}, Z_{MC}, Z_{DA}, Z_{DB}, Z_{DC}$  - ratele complexe ale rezistențelor pe fază ale rețelei electrice (M) și motorului (D).

Pe baza sumei/ în rata Inginerului Proiectant din suma menționată ca rata de bază, adică  $Z_{\Sigma \min}$ , se obține schema de înlocuire/ Figura 1b/ , care conține următoarele denumiri:

$\Delta \dot{Z}_A, \Delta \dot{Z}_B, \Delta \dot{Z}_C$  - ratele complexe ale părții asimetricale a rezistenței pe fază a rețelei, o fază cu cea mai scăzută rezistență este rates zero.

of voltage  $\varepsilon_U$ . Therefore for the purpose of setting the filter protection, taking into consideration the allowable rates/norms for asymmetry of voltage, there is necessary to be determined the functional connection between  $\varepsilon_T$  and  $\varepsilon_U$ .

In Figure 1 is presented a scheme for supply of asynchronous motor for the general case: presence of asymmetry in respect of the voltage applied to the motor, phases, and simultaneously presence of asymmetry of phase resistance of electrical power supply network, and asymmetrical phase resistances of the motor that is protected.

Taking into consideration the experience of the exploitation we assume that asymmetry of phase resistance are caused first of all by asymmetry of phase resistance of the cable for electrical power, and by presence of one phase users of energy as well.

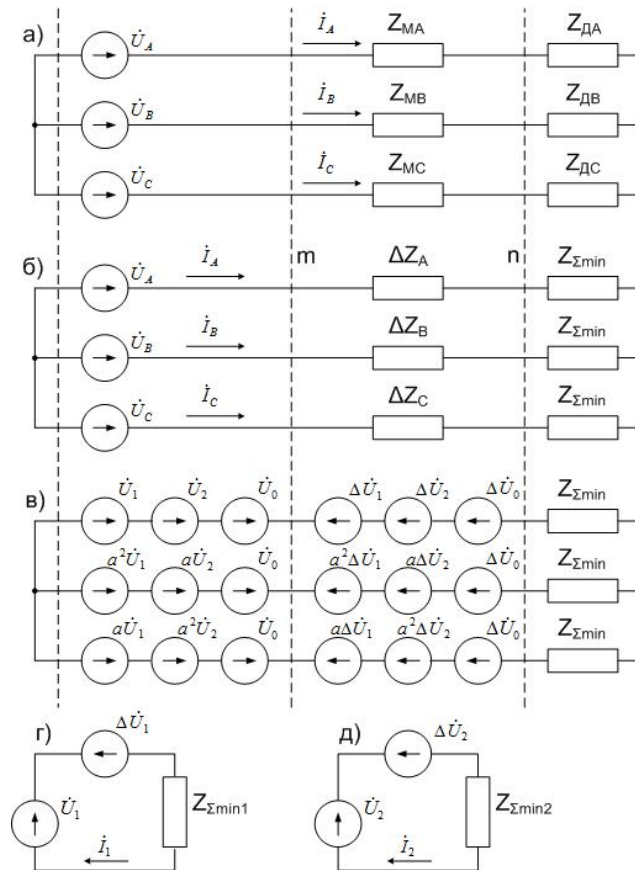
On the Figure 1 the following names are assumed:

$\dot{U}_A, \dot{U}_B, \dot{U}_C, \dot{I}_A, \dot{I}_B, \dot{I}_C$  - complex rates of the phase, voltage and the current of the motor;

$Z_{MA}, Z_{MB}, Z_{MC}, Z_{DA}, Z_{DB}, Z_{DC}$  - complex rates of the resistances of the phases of the both electrical network (M) and motor (D).

Based on the sum / in Design Engineer rate of the mentioned sum as base rate, i.e.  $Z_{\Sigma \min}$ , there is obtained substitute scheme / Figure 1b/, containing the following names:

$\Delta \dot{Z}_A, \Delta \dot{Z}_B, \Delta \dot{Z}_C$  - complex rates of the asymmetric part of the phase resistance of the network, one of which / phase with the lowest resistance/ is zero.



**Figura 1. Schema complexă de înlocuire a rețelei electrice și motorului asincron pentru determinarea dependenței funcționale dintre coeficientul de asimetrie în ceea ce privește curentul  $\varepsilon_T$  și tensiunea  $\varepsilon_H$ .**

**Figure 1. Complex substitute scheme of the electrical network and asynchronous motor for determining the functional dependence between the coefficient of asymmetry as regards current  $\varepsilon_T$  and voltage  $\varepsilon_H$ .**

. Schema menționată este calculată folosind metoda de părți asimetrice prin înlocuirea părților asimetrice ale rezistențelor cu trei surse de tensiuni  $\Delta\dot{U}_A, \Delta\dot{U}_B, \Delta\dot{U}_C$ . După dezintegrarea tensiunilor menționate și a sistemului de rezistențe asimetrice pe fază  $\dot{U}_A, \dot{U}_B, \dot{U}_C$  conform [7] în părți simetrice, se obține o schemă de înlocuire, prezentată în Figura 1c . din condiția referitoare la dezintegrarea sectorului asimetric “mn”, ca rezultat este următorul sistem de ecuații:

The mentioned scheme is calculated using the method of symmetric forming parts through replacement of asymmetric parts of the resistances with three sources of voltages  $\Delta\dot{U}_A, \Delta\dot{U}_B, \Delta\dot{U}_C$ . After disintegration of the mentioned voltages, and the system of asymmetric phases resistances as well  $\dot{U}_A, \dot{U}_B, \dot{U}_C$  according to [7] to symmetric forming parts, there is a result substitute scheme, presented in the Figure 1c . From the condition about voltage disintegration of asymmetric sector “mn”, as a result there is the following system of equations:

$$\begin{aligned}\Delta\dot{U}_1 &= \frac{1}{3}(\Delta\dot{U}_A + a\Delta\dot{U}_B + a^2\Delta\dot{U}_C) \\ \Delta\dot{U}_2 &= \frac{1}{3}(\Delta\dot{U}_A + a^2\Delta\dot{U}_B + a\Delta\dot{U}_C) \\ \Delta\dot{U}_0 &= \frac{1}{3}(\Delta\dot{U}_A + \Delta\dot{U}_B + \Delta\dot{U}_C)\end{aligned}\quad (1)$$

După înlocuirea curenților pe fază cu părțile lor simetrice conform schemei din Figura 1b, se obțin următoarele expresii:

After replacement of phase currents with their symmetric forming parts according to scheme in the Figure 1b, there are obtained the following expressions:

$$\begin{aligned}\Delta\dot{U}_A &= \Delta Z_A \cdot \dot{I}_A = (\dot{I}_1 + \dot{I}_2) \Delta Z_A; \\ \Delta\dot{U}_B &= \Delta Z_B \cdot \dot{I}_B = (a^2 \dot{I}_1 + a \dot{I}_2) \Delta Z_B; \\ \Delta\dot{U}_C &= \Delta Z_C \cdot \dot{I}_C = (a \dot{I}_1 + a^2 \dot{I}_2) \Delta Z_C.\end{aligned}\quad (2)$$

În (2) cu  $\dot{I}_1$  și  $\dot{I}_2$  sunt indicate ratele complexe de curent și este o ordine directă și inversă în secvența schemei de început. În cazul analizat nu sunt curenți disponibili cu secvență zero din cauză că motorul acționează cu punct zero izolat.

In (2) with  $\dot{I}_1$  and  $\dot{I}_2$  are indicated the complex current rates and there is direct and reverse order in sequence of the starting scheme. In the considered case there are not available currents with zero sequence because the motor acts with isolated zero point.

Ținând seama de (1) și (2) devine posibil să obținem următoarele expresii:

Rendering an account of (1) and (2) becomes possible to obtain the expressions:

$$\begin{aligned}\Delta\dot{U}_1 &= \dot{I}_1 \bar{Z}_0 + \dot{I}_2 \bar{Z}_2; \\ \Delta\dot{U}_2 &= \dot{I}_1 \bar{Z}_1 + \dot{I}_2 \bar{Z}_2;\end{aligned}\quad (3)$$

unde:

where:

$$\begin{aligned}\bar{Z}_1 &= \frac{1}{3}(\Delta Z_A + a\Delta Z_B + a^2\Delta Z_C) \\ \bar{Z}_2 &= \frac{1}{3}(\Delta Z_A + a^2\Delta Z_B + a\Delta Z_C) \\ \bar{Z}_0 &= \frac{1}{3}(\Delta Z_A + \Delta Z_B + \Delta Z_C)\end{aligned}\quad (4)$$

În (3) rezistențele  $\bar{Z}_1$ ,  $\bar{Z}_2$ ,  $\bar{Z}_0$  sunt indicate cu linie pentru a le distinge de rezistențele echivalente ale sarcinii și rețelei cu curenții cu ordine directă și inversă în secvență.

In (3) the resistances  $\bar{Z}_1$ ,  $\bar{Z}_2$ ,  $\bar{Z}_0$  are indicated with line in order to distinguish them from equivalent resistances of the both load and network with currents with direct and reverse order in sequence.

Schemele de înlocuire pentru calcularea curenților cu ordine directă și inversă în

The substitute schemes for calculating od currents with direct and reverse order in

secvență sunt prezentate în Figura 1 d,f. Schemele sunt rezultatul schemei din Figura 1c. În Figura 1 d,f cu  $Z_{\Sigma \min 1}$  și  $Z_{\Sigma \min 2}$  sunt indicate rezistențele cu ordine directă și inversă în secvență sub formă de rezistențe ale rezistenței totale a rețelei și sarcinii. Din schemele menționate, ținând seama de [2] devine posibil să obținem următoarele relații de dependență:

$$\begin{aligned} \dot{U}_1 &= \dot{I}_1 \cdot Z_{\Sigma \min 1} + \Delta \dot{U}_1 = \dot{I}_1 (Z_{\Sigma \min 1} + \bar{Z}_0) + \dot{I}_2 \bar{Z}_2; \\ \dot{U}_2 &= \dot{I}_2 \cdot Z_{\Sigma \min 2} + \Delta \dot{U}_2 = \dot{I}_1 \bar{Z}_1 + \dot{I}_2 (Z_{\Sigma \min 2} + \bar{Z}_0); \end{aligned} \quad (5)$$

unde:

$$\begin{aligned} \dot{I}_1 &= \frac{\dot{U}_1 \cdot (Z_{\Sigma \min 2} + \bar{Z}_0) - \dot{U}_2 \cdot Z_{\Sigma \min 2}}{(Z_{\Sigma \min 1} + \bar{Z}_0)(Z_{\Sigma \min 2} + \bar{Z}_0) - \bar{Z}_1 \cdot \bar{Z}_2}; \\ \dot{I}_2 &= \frac{\dot{U}_2 \cdot (Z_{\Sigma \min 1} + \bar{Z}_0) - \dot{U}_1 \cdot Z_{\Sigma \min 1}}{(Z_{\Sigma \min 1} + \bar{Z}_0)(Z_{\Sigma \min 2} + \bar{Z}_0) - \bar{Z}_1 \cdot \bar{Z}_2}; \end{aligned} \quad (6)$$

Pentru coeficientul de asimetrie conform (6) este posibil să obținem:

$$\varepsilon_T = \frac{|\dot{I}_2|}{|\dot{I}_1|} = \frac{|\dot{U}_2 \cdot (Z_{\Sigma \min 1} + \bar{Z}_0) - \dot{U}_1 \cdot \bar{Z}_1|}{|\dot{U}_1 \cdot (Z_{\Sigma \min 2} + \bar{Z}_0) - \dot{U}_2 \cdot \bar{Z}_2|} = \frac{|\dot{\varepsilon}_H \cdot (Z_{\Sigma \min 1} + \bar{Z}_0) - \bar{Z}_1|}{|(Z_{\Sigma \min 2} + \bar{Z}_0) - \dot{\varepsilon}_H \cdot \bar{Z}_2|}, \quad (7)$$

unde:

$$\dot{\varepsilon}_H = \frac{\dot{U}_1}{U_2} = \frac{U_2}{U_1} \cdot e^{j\psi_U} \quad \text{coeficientul}$$

complex de asimetrie al tensiunilor pe fază;

$\psi_U$  - unghiul de fază al coeficientului  $\varepsilon_H$  nivelului/planului complex.

Așa cum este permis prin formula (7), conexiunea dintre  $\varepsilon_T$  și  $\varepsilon_H$  nu este neechivocă. Ea depinde de parametrii rețelei și motorului pe de o parte și de caracterul asimetriei rezistențelor lor pe fază, pe de altă parte.

Ținând seama că magnitudinea  $\dot{I}_2$  va primi o valoare maximă în timpul pornirii motorului când:

sequence are presented in the Figure 1 d,f. The schemes are result of the scheme in the Figure 1c. In the Figure 1 d,f with  $Z_{\Sigma \min 1}$  and  $Z_{\Sigma \min 2}$  are indicated the resistances with direct and reverse order in sequence as a resistances of total resistance of the both - network and load. From the mentioned schemes, taking into consideration [2] becomes possible to obtain the following dependencies:

where:

where:

$$\dot{\varepsilon}_H = \frac{\dot{U}_1}{U_2} = \frac{U_2}{U_1} \cdot e^{j\psi_U} \quad \text{complex coefficient}$$

of asymmetry of phase voltages;

$\psi_U$  - phase angle of the coefficient  $\varepsilon_H$  of the complex level/plane.

As follows from the formula (7), the connection between  $\varepsilon_T$  și  $\varepsilon_H$  is not unequivocal. It depends on the parameters of the network and motor from one side and on the character of asymmetry of their phase resistances, from another site.

Taking into consideration that the magnitude  $\dot{I}_2$  will receive maximum value during the starting of the motor when:

$$Z_{\Sigma \min 1} = Z_{\Sigma \min 2} = Z_{\Sigma \min n}$$

$$Z_{\Sigma \min 1} = Z_{\Sigma \min 2} = Z_{\Sigma \min n}$$

Și neglijând multiplicarea  $\varepsilon H.Z2$ , care este mult mai mică referitor la expresia  $(Z2 + Z2)$ , or (7), este posibil să obținem expresia:

and neglecting the multiplication  $\varepsilon H.Z2$ , which is much less as regards the expression  $(Z2 + Z2)$ , or (7), there is possible to obtain the expression:

$$\varepsilon_T = \left| \dot{\varepsilon}_H - \frac{\bar{Z}}{\bar{Z}_0 + Z_{\Sigma \min n}} \right| = |\dot{\varepsilon}_H - \dot{\varepsilon}_z| = \sqrt{\varepsilon_H^2 + \varepsilon_z^2 - 2\varepsilon_H \varepsilon_z \cos(\psi_U - \psi_z)} \quad ; \quad (8)$$

unde:

$\bar{Z}_0 + Z_{\Sigma \min n}$  - conform Figurii 1b – vectorul mediu al fazei asimetrice, vector al rezistențelor asimetrice pe fază ale rețelei;

$\dot{\varepsilon}_z = \frac{\bar{Z}_1}{\bar{Z}_0 + \bar{Z}_{\Sigma \min n}}$  - coeficientul de asimetrie al rezistențelor pe fază ale rețelei ( $\varepsilon_z$  se modifică de la 0 în cazul rezistențelor simetrice ale rețelei la 1 în cazul întreruperii fiecărui conductor liniar);

$\psi_z$  - diferența dintre unghiurile de fază ale vectorilor  $\bar{Z}_1$  și  $\bar{Z}_0 + \bar{Z}_{\Sigma \min n}$ .

Analiza (8) arată că asimetria în ceea ce privește curentul, cauzată de inegalitatea rezistențelor complexe ale fazelor sarcinii și fazelor rețelei este posibil fie să crească, fie să reducă asimetria rezistenței, cauzată de asimetria tensiunii rețelei.

Ca un unghi mai mare între vectorii  $\dot{\varepsilon}_H$  și  $\dot{\varepsilon}_z$ , o valoare mai mare are  $\varepsilon_T$  și invers.

La valori limitate ale diferenței calculate ale acestor unghiuri, respectiv egale cu  $0^\circ$  și  $180^\circ$ , coeficientul de asimetrie în ceea ce privește curentul este egal cu suma scalară și diferența coeficienților de asimetrie în ceea ce privește tensiunea  $\dot{\varepsilon}_H$  și rezistența  $\dot{\varepsilon}_z$ . Este necesar să specificăm că în conformitate cu (8) modificarea unghiurilor rezistențelor complexe  $\bar{Z}_1$  și  $\bar{Z}_0 + \bar{Z}_{\Sigma \min n}$  sau numai a unuia dintre ele/ a doua opțiune posibilă în cazul inversării fazelor sarcinii cauzează modificarea  $\varepsilon_T$ .

where:

$\bar{Z}_0 + Z_{\Sigma \min n}$  - according to Figure 1b – average vector of asymmetric phase resistances of the network;

$\dot{\varepsilon}_z = \frac{\bar{Z}_1}{\bar{Z}_0 + \bar{Z}_{\Sigma \min n}}$  - coefficient of asymmetry of the phase resistances of the network ( $\varepsilon_z$  is amending from 0 in case of symmetric resistances of the network to 1 in case of interruption of every linear conductor);

$\psi_z$  - difference between phase angles of the vectors  $\bar{Z}_1$  and  $\bar{Z}_0 + \bar{Z}_{\Sigma \min n}$ .

The analysis of (8) shows that the asymmetry as regards current, caused by inequality of the complex resistances of load phases and of network phases is possible as to increase, so to reduce the asymmetry as regard the resistance, caused by asymmetry of voltage of the network.

As a larger angle between vectors  $\dot{\varepsilon}_H$  and  $\dot{\varepsilon}_z$ , more value has  $\varepsilon_T$  and the opposite.

At limited values of calculated difference of these angles respectively equal to  $0^\circ$  and  $180^\circ$ , the coefficient of asymmetry as regard current is equal respectively to scalar sum and difference of coefficients of asymmetry as regard voltage  $\dot{\varepsilon}_H$  and resistance  $\dot{\varepsilon}_z$ . It is necessary to specify that according to (8) the amendment of angles of complex resistances  $\bar{Z}_1$  and  $\bar{Z}_0 + \bar{Z}_{\Sigma \min n}$  or only one of them / the second option possible in case of reverse of the phases of load/ causes the

## REFERINȚE LA STANDARDE

1. BDS 10694-80. Energia electrică. Norme pentru indicatorii de calitate ai energiei electrice la receptorii electrici
2. BDS/ EN 6100-4-7. Compatibilitatea electromagnetică. Metode de testare și măsurare. Consiliere generală pentru instrumentele de măsurare și în sistemul de furnizare de energie electrică și echipamentele aferente. *Общо ръководство за измервателни средства и измерване на хармоници и междинни хармоници в захранващи системи и съоръжения, свързани с тях.*
3. BDS/ EN 50160-1994 Caracteristicile tensiunii furnizate utilizatorilor prin rețelele electrice de distribuție cu destinație generală/ pentru țările UE și Europa de Vest / „Характеристики на напрежението, което се доставя до потребителите с електроразпределителни мрежи с общо предназначение (за страни от Европейския съюз и западна Европа)”.
4. Standardul 1000-2-4:1994 « Compatibilitatea electromagnetică. Nivelul compatibilității electromagnetice a obiectelor industriale pentru interferențe de frecvență. Електромагнитна съвместимост. Ниво на електромагнитна съвместимост на промишлени обекти за нискочестотни смущения».
5. BSEN 50160:2000 (Standard britanic) Caracteristicile de tensiune ale electricității furnizate de sistemele publice de distribuție.
6. ГОСТ 13109-97 Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.

## BIBLIOGRAPHY

7. Гимоян Г. Г., Ароян Ш. А., Шахбазян С. А. Асиметрия токов в подземных сетях электроснабжения. Изв. ВУЗ „Г. Журнал”, 1974, №9.

amendment of  $\epsilon T$ .

## REFERENCES TO STANDARDS

1. BDS 10694-80. Electrical energy. Norms for quality indicators of the electrical energy in electrical receivers
2. BDS/ EN 6100-4-7. Electromagnetic compatibility . Methods for testing and measurement . General guidance for measurement instruments and measurement of ..... orders and intermediate ..... orders in electrical power supply systems and equipments connected with them. *Общо ръководство за измервателни средства и измерване на хармоници и междинни хармоници в захранващи системи и съоръжения, свързани с тях.*
3. BDS/ EN 50160-1994 Characteristics of the voltage delivered to users through electrical distribution networks with general designation / for countries of EU and West Europe/ „Характеристики на напрежението, което се доставя до потребителите с електроразпределителни мрежи с общо предназначение (за страни от Европейския съюз и западна Европа)”.
4. Standard 1000-2-4:1994 « Electromagnetic compatibility. Level of Electromagnetic compatibility of industrial objects for low frequency interferences. Електромагнитна съвместимост. Ниво на електромагнитна съвместимост на промишлени обекти за нискочестотни смущения».
5. BSEN 50160:2000 (British standart) Voltage characteristics of electricity supplied by public distribution systems.
6. ГОСТ 13109-97 Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.

## BIBLIOGRAPHY

7. Гимоян Г. Г., Ароян Ш. А., Шахбазян С. А. Асиметрия токов в подземных сетях электроснабжения. Изв. ВУЗ „Г. Журнал”, 1974, №9.