

## ANALIZA REGIMURILOR DEFORMANTE CARE APAR ÎN SISTEMELE DE DISTRIBUȚIE A ENERGIEI ELECTRICE

### 1. Introducere

În procesul de exploatare a rețelelor electrice care aparțin sistemului electroenergetic aprecierea calității energiei electrice prin analiza regimului deformant este o problemă de primă însemnătate. Din acest motiv, în cadrul lucrării de laborator sunt caracterizate anumite sisteme de monitorizare care utilizează un contor electronic trifazat Alpha, facilitățile oferite de acesta privind regimurile deformante care apar inevitabil în rețea, nivelul de poluare cu armonici, precum și modul de conectare a contorului la rețea, în vederea efectuării de măsuratori.

### 2. Considerații de ordin teoretic

#### 2.1 Monitorizarea calității energiei electrice

Sistemele de achiziție a datelor dintr-un anumit proces reprezintă o metodă de măsurare care s-a dezvoltat intens în ultimele decenii, datorită, în special, îmbunătățirii spectaculoase și, în același timp, accelerate a caracteristicilor echipamentelor utilizate în scopul menționat. Îmbunătățirea evidentă a caracteristicilor acestor echipamente a fost posibilă datorită realizărilor tehnologice de vârf din domeniul electronicii și a tehnicii de calcul, precum și din domeniul transmiterii datelor prin folosirea circuitelor cu fibră optică.

În scopul folosirii achiziției numerice a datelor pentru analiza calității tensiunii precum și a jurnalului de evenimente, a fost necesară transformarea contoarelor clasice de măsurare a energiei electrice în contoare cu impulsuri. Acest lucru s-a realizat, în principiu, prin adaptarea discului rotitor al contorului la un dispozitiv electronic de generare a unor impulsuri electrice, câte un impuls pentru fiecare rotație completă a discului. Impulsurile respective sunt preluate de către un numărător de impulsuri, care este citit în mod periodic de interfața de achiziție a măsurătorii. De asemenea, există posibilitatea ca datele numerice prelevate prin scanarea punctelor de măsură sau de monitorizare, constituite din contoare cu impulsuri, să fie multiplexate și apoi să fie transmise prin interfețe seriale la un punct central de colectare a măsurătorilor (dispecer local, zonal sau de municipiu). Aici, acestea sunt stocate pe suporturi magnetice, în cadrul unor fișiere de date dedicate. Datele din aceste fișiere pot să fie accesate din orice punct al rețelei de calculatoare, dacă utilizatorul care le apelează dispune de drepturile necesare vizualizării și, în anumite cazuri speciale, existând chiar posibilitatea modificării respectivelor informații. În felul acesta, este asigurată o gestiune sigură, rapidă și eficientă a datelor măsurate, fiind posibilă utilizarea datelor respective atât local, cât și la distanță, în funcție de necesități.

## Laborator Transportul și distribuția energiei electrice - B. Neagu

În acest context, prin dotarea cu aparatură de înregistrare mai performantă a companiilor teritoriale sau zonele de distribuție a energiei electrice din țara noastră (sisteme electronice de achiziție numerică a datelor sau măsurătorilor), s-a creat posibilitatea monitorizării sarcinilor active și reactive, a curbelor sau diagramelor de sarcină ale consumatorilor din sistemele publice de distribuție de joasă și medie tensiune, precum și a calității energiei electrice livrate consumatorilor, putând fi evidențiate totodată și principalele caracteristici ale regimului deformant care se stabilește, în mod inevitabil, în aceste rețele.

### 2.2. Contorul electronic trifazat Alpha®Power+

Astfel de măsurători în sistemele de distribuție din țara noastră au fost efectuate, în principal, cu ajutorul contoarelor electronice trifazate *Alpha*. Acestea, pe lângă înregistrarea curbelor de sarcină, permit și urmărirea evoluției unor indicatori ce caracterizează forma undelor de curent, respectiv tensiune. Culegerea de date sau de măsurători, în ceea ce privește contoarele electronice, se realizează în mod continuu, intervalul dintre două măsurători putând fi schimbat de către utilizator, în funcție de necesități. Achiziția locală a datelor de la aceste contoare electronice se poate efectua prin intermediul unui calculator numeric, care se conectează la aceste contoare, transferul de date fiind facilitat de programul *PQM (Power Quality Inspector)*.



Figura 1 Contorul electronic trifazat Alpha



Figura 2 Contorul electronic Alpha® Power+

+

Gama diversă de contoare electronice trifazate, cum ar fi *Alpha* (Figura 1), *Alpha® Power+* (Figura 2) și *Alpha® Power+ Portabil*, în diferite configurații, proiectate și dezvoltate de *ABB*, utilizează cele mai avansate tehnologii din domeniul electronicii, asigurând, în felul acesta, un nivel ridicat de flexibilitate, precizie, fiabilitate și calitate. Aceste contoare măsoară, prelucrează, colectează și stochează datele referitoare la puterea și energia electrică. În configurația ce permite multitarifarea (*TOU = Time – Of – Use*), datele referitoare la putere și energie sunt măsurate pe maxim patru tarife pe zi (24 ore). Informațiile cu privire la energia și puterea activă totale și/sau pe

fiecare tarif în parte pot fi afișate împreună cu una din mărimile adiționale și anume puterea reactivă, în Varh sau aparentă, în VA ori combinații ale acestora.

Principalele părți componente ale acestor contoare sunt următoarele:

- **Șasiul contorului Alpha** care conține placa de bază, de care sunt atașate blocuri terminale, circuitul primar de curent, precum și senzorii de curent.
- **Ansamblul electronic** care are în componență partea electronică a contorului și conține o singură placă de bază, ce include sursa de alimentare cu domeniul lărgit de tensiuni și divizoare rezistive de tensiune, înlocuindu-se, în felul acesta, transformatoarele de tensiune. Totodată, ansamblul electronic conține și afișajul cu cristale lichide, suportul pentru etichetarea contorului și bateria opțională cu litiu. Atunci când se utilizează plăci de circuit suplimentare față de configurația de bază, contoarele Alpha pot fi reconfigurate local, pentru o largă varietate de mărimi măsurabile suplimentar și funcții complexe de măsură avansate.
- **Afișajul cu cristale lichide al contorului Alpha® Power +**, prezentat în Figura 3, oferă utilizatorului posibilitatea de a vizualiza datele de facturare a mărimilor măsurate, precum și a stărilor în care se află contorul. Conform celor reprezentate în Figura 3, afișajul cu cristale lichide se împarte în 8 câmpuri, fiecare dintre acestea permițând afișarea unui anumit tip de informații:

- **Identificatori numerici** – Aceștia ocupă un câmp de trei cifre și precizează în mod unic mărimea afișată. Prin folosirea programului Alpha Plus, se poate asocia un astfel de indicator numeric pentru fiecare mărime afișată. Totodată, în câmpul respectiv vor fi afișate indicații în legătură cu posibilitățile de testare a condițiilor de lucru, precum și afișarea mărimilor specifice aparatelor de măsură și supraveghere a calității energiei. De exemplu, se pot afișa *SYS, Ser, PhA, PhB, PhC, THA etc.* De asemenea, acest câmp va conține afișarea unor indicații de tipul *Er, F* și *C*, în situațiile de apariție a unor erori, precum și un avertisment sau o eroare în procesul de comunicație. Pentru aceste situații, în câmpul de afișare a mărimii măsurate va apărea un cod numeric pentru identificarea erorii sau a avertismentului.

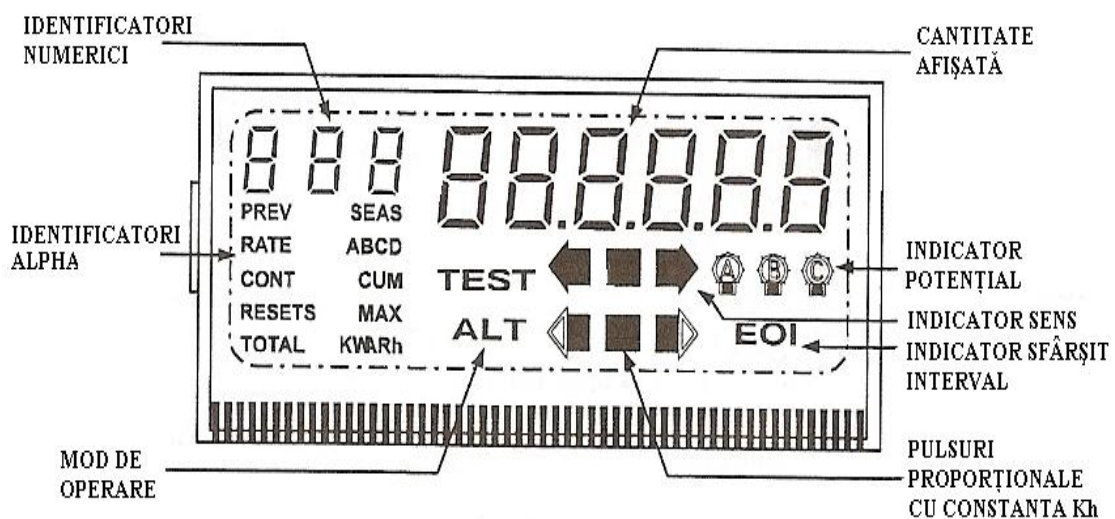


Figura 3 Afișajul cu cristale lichide al contorului de tip Alpha

## Laborator Transportul și distribuția energiei electrice - B. Neagu

---

- **Identificatori alfabetici** – cu ajutorul acestora se precizează mărimea afișată, făcând excepție identificatorii pentru putere și energie, care pot fi activați sau dezactivați numai cu ajutorul programului *Alpha Plus*.
- **Indicatori pulsatori**, care sunt, de fapt, echivalentul discului ce se rotește la contoarele de tip electromecanic.
- **Indicatorii de potențial** – arată fazele ale căror tensiuni sunt active.

Pentru configurația de bază a contoarelor electronice trifazate *Alpha*, mărimile tipice care pot fi programate în vederea afișării sunt următoarele:

- ❖ total energie activă;
- ❖ puterea activă maximă;
- ❖ total energie reactivă;
- ❖ energie activă sau reactivă pe maxim patru tarife;
- ❖ puterea activă sau reactivă maximă pentru fiecare tarif;
- ❖ intervalul de integrare a puterii, programabil de către utilizator de la un minut la 60 minute;
- ❖ constantele contorului și multiplicatori.

Prin echiparea contorului cu plăci suplimentare adecvate față de configurația de bază, acesta poate fi reconfigurat pentru o mare varietate de mărimi măsurabile suplimentar și funcții complexe de măsură avansate, care permit măsurarea puterii active sau reactive în cele patru cadrane. Astfel, contoarele cu programare avansată în patru cadrane pot înregistra, pe maxim patru canale, date referitoare la puterile, respectiv energiile, din întreaga perioadă analizată. Un asemenea contor poate fi programat să înregistreze toate datele pe cele patru canale, la fiecare interval de 15 minute, pentru energia și puterea activă livrate, energia și puterea reactivă livrate, pentru energia și puterea activă primite, energia și puterea reactivă primite.

Numărul de zile în care pot fi stocate aceste date depinde atât de numărul de canale, cât și de mărimea intervalului de integrare. De exemplu, dacă sunt înregistrate date privind doar energia activă și reactivă, pentru intervale de 15 minute, acestea pot fi stocate pentru o perioadă de 320 de zile. Dacă se înregistrează numai energia activă, datele respective pot fi stocate pe o perioadă de 640 de zile.

Datele înregistrate și stocate de către contor, interval cu interval, pentru întreaga perioadă analizată, sunt culese cu ajutorul unui cititor portabil sau un laptop, în scopul transferării lor pe calculatoare numerice mai performante.

*Programele software* necesare utilizării contoarelor *Alpha* și *Alpha®Power+* sunt următoarele: programul *AlphaPlus* și pachetul de programe *ALPHAVIEW*.

*Programul AlphaPlus* îndeplinește, de fapt, trei funcții importante și anume:

- Creează datele de configurare a contorului, care sunt definite de către utilizator.
- Asigură transmiterea datelor privind configurarea contorului, precum și anumite comenzi transmise acestuia.

## Laborator Transportul și distribuția energiei electrice - B. Neagu

---

- Asigură atât primirea datelor referitoare la cantitățile măsurate, cât și a informațiilor de stare ale contorului.

*Pachetul de programe ALPHAVIEW* este utilizat pentru reprezentarea grafică a curbelor de sarcină înregistrate și memorate de către contoare.

*Sonda UNICOM* este utilizată în practica de exploatare fie în teren, fie în laborator, în scopul stabilirii comunicației dintre contor și calculator. Sonda trebuie alimentată de la o sursă externă de 9V, în curent continuu, și se conectează între portul serial al calculatorului și portul optic al contorului.

*Sonda ABACUS* prezintă același mod de înțrubițare ca și sonda *UNICOM*, prezentând, față de aceasta din urmă, deosebirile următoare:

- ❖ dimensiuni mai mici;
- ❖ nu necesită alimentare de la o sursă externă;
- ❖ pe portul optic al contorului sonda se montează invers, adică cu cardanul în sus.

**Modurile de lucru** ale contoarelor electronice trifazate, care fac parte din familia *Alpha*, sunt următoarele:

- **Normal** – acest mod este implicit și este folosit, în general, pentru afișarea datelor de facturare.
- **Alternativ (ALT)** – este folosit, de regulă, pentru afișarea unui al doilea set de mărimi. Trecerea contorului în modul de lucru *Alternativ* poate fi realizată printr-o apăsare scurtă, mai puțin de o secundă, a butonului *ALT*.
- **Test** – acest mod de lucru este folosit în scopul afișării unui set de valori de control, fără a fi afectate mărimile specifice perioadei curente, precum și a datelor de facturare, permițând micșorarea duratei de calcul a puterii maxime, în scopul testării modului de înregistrare a acestei mărimi.
- **Eroare** – acest mod de lucru apare în situațiile când contorul electronic detectează o eroare care afectează în mod grav funcționarea corectă a acestuia sau integritatea datelor care au fost deja memorate, situație în care afișajul contorului se blochează în modul *Eroare*.

### 3. Sisteme de monitorizare a energiei electrice

Gama de contoare *Alpha* poate fi utilizată, în afara efectuării unor măsurători și înregistrări locale, în diferite puncte caracteristice ale sistemelor de repartiție și distribuție a energiei electrice (firidele consumatorilor, posturile de transformare la nivelul barelor de joasă sau medie tensiune, plecările sau distribuitorii de joasă tensiune, stațiile de transformare coborâtoare la nivelul barelor de medie sau înaltă tensiune, plecările sau distribuitorii de medie tensiune, liniile electrice de repartiție etc.) și în vederea constituirii unor sisteme de monitorizare a calității energiei electrice (regimul deformant sau armonici care apar inevitabil în sistemele publice de distribuție a energiei electrice), ca de exemplu:



➤ **Genergy – Sistem de monitorizare a energiei electrice pentru companiile producătoare.**  
Familia de contoare *Alpha* și *Alpha*® *Power+* utilizate în sistemul *Genergy* colectează și înmagazinează date din diferite puncte de măsurare de interes, conform celor prezentate în Figura 6, pentru a putea efectua în mod eficient următoarele operații: producția de energie electrică, monitorizarea balanței de energie electrică, schimburile de energie electrică realizate la nivelul stațiilor de transformare, monitorizarea calității puterii și a energiei active.

➤ **Galaxy – Sistem de monitorizare a schimburilor de energie electrică.**

În cadrul sistemului *Galaxy*, sunt integrate echipamente cu calități deosebite de măsurare, cu memorarea curbelor de sarcină, precum și diferite opțiuni de comunicații la distanță a datelor măsurate și înregistrate. Pentru realizarea acestor deziderate, sistemele respective sunt echipate cu contoare electronice de precizie ridicată, de tip *Alpha* și *Alpha*®*Power+*, contoare care oferă o multitudine de informații ușor de transmis la distanță.

Contoarele de energie electrică care echează sistemul de monitorizare *Galaxy* asigură, în principiu, efectuarea următoarelor operații:

✓ **verificarea conectării în circuitul de măsură și al mărimilor de instrumentație**

- fazorii de curent și tensiune corespunzători fiecărei faze;
- mesaje de eroare privind o conectare incorectă a contorului în circuitul de măsură;
- tensiuni;
- curenți;
- defazaje impropriei sistemului etc.

✓ **calitatea energiei electrice – jurnalul evenimentelor :**

- căderi de scurtă durată ale tensiunii;
- test de nivel coborât al tensiunii pe durate mai lungi de timp;
- test de nivel ridicat al tensiunii;
- test de circulație negativă sau inversă a puterii și limitele de variație a factorului de putere;
- test de nivel coborât al curentului;
- test de verificare a limitelor intervalului prescris în ce privește factorul de putere etc.

✓ **calitatea energiei electrice – armonici**, cu privire la impactul distorsiunilor armonice injectate și care se răspândesc în întreaga rețea electrică, afectând calitatea energiei electrice utilizată de consumatorii de energie electrică sau care este schimbată cu alte companii teritoriale sau zonele de distribuție a energiei electrice:

- afișarea distorsiunilor armonice de tensiune și curent, până la armonica 15;

- factorul total de distorsiune – THD<sub>L,U</sub> ;
- valorile efective pentru tensiune și pentru curent pe fiecare fază în parte;
- test de prezență a armonicilor a doua.

➤ **Guardian – Sistem de monitorizare a consumurilor de energie electrică.** Sistemul *Guardian* utilizează cele mai noi tehnologii privind arhitectura sistemului, managementul bazelor de date, precum și aplicații software deosebit de conversaționale care, împreună cu gama de contoare electronice *Alpha* și *Alpha®Power+*, oferă o soluție sigură în ceea ce privește managementul energiei electrice. Trebuie menționat, că acest sistem de monitorizare permite supravegherea încadrării consumurilor de energie electrică în limitele dorite.

Sistemul de monitorizare *Guardian* asigură, de regulă, efectuarea următoarelor operațiuni principale:

- ✓ analiza detaliată a curbelor de sarcină într-un interval de 24 ore, pentru fiecare contor *Alpha* definit în cadrul sistemului *Guardian*;
- ✓ balanțele de energie electrică zilnice, lunare și anuale;
- ✓ variațiile zilnice, lunare și anuale ale factorului de putere;
- ✓ raportul întreruperilor de tensiune, sub forma numărului total al întreruperilor de tensiune, data apariției întreruperii împreună cu timpul și duratele ultimelor două întreruperi.

Achiziția de date de la contoarele de energie *Alpha* se poate efectua prin citirea acestora conform unui program structurat în timp. În ce privește datele de interes, acestea sunt extrase din contoarele electronice de energie electrică *Alpha* prin folosirea unor reguli predefinite și sunt transmise către baza de date a sistemului de monitorizare *Guardian*, constituind, în același timp, un instrument de diagnosticare a sistemelor de repartiție și distribuție a energiei electrice și anume:

- ✓ Verificarea conectării în circuitul de măsură a contoarelor de tip *Alpha®Power+*, precum și a mărimilor de instrumentație.
- ✓ Calitatea energiei electrice – jurnalul evenimentelor, diverse teste privind:
  - căderi ale tensiunii de scurtă durată;
  - nivel coborât al tensiunii pe intervale mai lungi de timp;
  - nivel ridicat al tensiunii;
  - circulația negativă sau inversă a puterii;
  - limite de variație ale factorului de putere;
  - nivel coborât de curent;
  - verificarea atingerii limitelor prescrise în ceea ce privește factorul de putere.
- ✓ Calitatea energiei electrice – armonici. În acest scop, contoarele electronice de tip *Alpha®Power+* permit:

- afișarea distorsiunilor armonice de tensiune și curent, în mod detaliat până la armonica a 15-a;
- test de prezență a armonicilor a 2-a;
- factorul total de distorsiune *THD* ;
- valorile efective de tensiune și de curent, pentru fiecare fază în parte.

#### 4. Originea perturbațiilor armonice

Regimul deformant sau distorsiunea armonică, în sistemele de distribuție a energiei electrice, provine din deformarea undei de tensiune și de curent, astfel că analiza spectrală pune în evidență frecvențe multiple ale fundamentalei.

Tensiunile și curenții nu sunt perfect sinusoidale într-un sistem de distribuție, deoarece anumite aparate electrice absorbând curenți nesinusoidali, îi propagă distorsionând, în felul acesta, unda de tensiune, iar prin rețeaua electrică se propagă aceste distorsiuni.

În sistemele publice de distribuție a energiei electrice, regimul deformant este produs de elementele deformante care produc sau amplifică tensiuni și curenți armonici. Astfel de elemente deformante pot fi împărțite în următoarele categorii:

- ✓ *Elemente care alimentate cu tensiuni sau curenți riguroși sinusoidali produc fenomene deformante, cum ar fi:*
  - cuptoarele cu arc,
  - instalațiile de sudură:
  - redresoarele și orice element de circuit cu caracter pronunțat neliniar.
- ✓ *Elemente care nu dau naștere la fenomene deformante, dar, care fiind alimentate de curenți deformanți, amplifică această deformație.* Din această categorie fac parte liniile electrice în situația când inductanțele și capacitățile proprii ale acestora formează circuite oscilante, a căror frecvență poate să coincidă cu frecvența curenților armonici produși de elementele care generează fenomene deformante.

#### 5. Surse de armonici

Sursele de regim deformant mai pot fi clasificate în felul următor:

- ✓ *Surse de tensiuni armonice*, care se constituie din sursele care produc tensiuni electromotoare nesinusoidale. În cazul acestor surse, undele tensiunilor și curenților sunt alternativ simetrice și, în consecință, nu conțin decât armonici impare. Armonicile de ordin par sunt generate, în principiu, de sursele de curenți armonici. Condiționarea reciprocă între armonicile de curent și cele de tensiune este puternic influențată atât de reactanțele rețelei electrice, cât și de configurația acesteia, precum și de fenomenele de rezonanță care se pot manifesta în anumite situații.
- ✓ *Sursele de curenți armonici* sunt constituite din elementele deformante care, în regim sinusoidal de tensiune, introduc, de regulă, armonici superioare în curentul



absorbit din rețeaua electrică de distribuție. În ce privește valorile tensiunilor armonice, rezultate la locul de racord al sursei, acestea sunt proporționale cu intensitățile curenților armonici generați, precum și cu valorile impedanțelor echivalente ale rețelei electrice.

Din cele menționate anterior, trebuie remarcat faptul că sursele care produc regimul deformant pot exista atât în rețelele electrice ale furnizorilor de energie, cât și în cele ale consumatorilor. În prezent, principalele surse de armonici de mică putere în sistemele publice de distribuție a energiei electrice sunt constituite din:

- iluminatul generic, numit de tip fluorescent;
- televizoarele;
- calculatoarele;
- imprimantele;
- faxurile;
- copiatoarele de tip xerox;
- din ce în ce mai frecvent, întreaga gamă de mașini și aparate electrocasnice.

Toate aceste receptoare au la intrare sisteme de alimentare a echipamentelor electronice cu surse de comutație de tip *switch-mode-power-supply*. Problemele majore ale acestor receptoare electrice sunt legate, în special, de diversitatea punctelor de conectare în rețeaua electrică de distribuție, cu implicații asupra circulației de curenți.

### **5. Efectele funcționării sistemelor de distribuție în regim deformant**

Principalele efecte ale funcționării sistemelor de distribuție în regim deformant sunt următoarele:

- creșterea pierderilor de putere activă;
- apariția unor supratensiuni în nodurile rețelelor electrice și la bornele echipamentelor;
- supracurenți;
- funcționarea incorectă a aparatelor de măsură, a dispozitivelor de protecție și automatizare;
- funcționarea necorespunzătoare a contoarelor, a transformatoarelor de măsură, a celorlalte echipamente din sistemele de distribuție și a dispozitivelor de telecomandă;
- creșterea zgomotului produs de mașinile electrice și de alte echipamente;
- perturbații telefonice etc.

### **6. Aprecierea regimului deformant în sistemele de distribuție a energiei electrice**

Pentru analiza regimului deformant, s-au efectuat o serie de înregistrări cu ajutorul contoarelor Alpha Power Plus ale unor mărimi care caracterizează regimul deformant.

## Laborator Transportul și distribuția energiei electrice - B. Neagu

Înregistrările au fost realizate în mai multe posturi de transformare alimentate dintr-o rețea de distribuție de 20 kV, la nivelul barelor de joasă tensiune (0,4 kV).

Pentru a pune în evidență evoluția în timp de-a lungul anilor a nivelului de armonice, înregistrările s-au efectuat în zile lucrătoare la nivelul anilor 2000, 2005 respectiv 2009, într-un număr de 20 posturi de transformare din distribuția urbană (anexa de la sfârșitul lucrării). Posturile de transformare în care s-au făcut înregistrările alimentează consumatori cu structuri diverse: consumatori casnici, iluminat public, spații comerciale mici, mari și foarte mari, hoteluri, restaurante. În acest sens, pentru fiecare post de transformare, la nivelul barelor de 0,4 kV, s-au înregistrat, la intervale de 15 minute, în zile lucrătoare, următoarele mărimi:

- conținutul în armonici de tensiune și curent până la armonica 15;
- valorile efective ale tensiunii și curentului;
- coeficienții totali de distorsiune pentru curent și tensiune pe cele trei faze.

În Figura 3 este prezentat un exemplu al înregistrărilor realizate cu ajutorul contorului Alpha pentru două faze distincte, în același moment al zilei. În urma măsurătorilor efectuate cu contorul Alpha în rețeaua de distribuție s-au determinat și defazajele între fazorii tensiune și curent atașați mărimilor nesinusoidale, pe fiecare fază în parte, conform celor reprezentate în Figura 4. În general, unghiurile de defazaj dintre fazorii tensiune și curent sunt diferiți pe cele trei faze, pe toate armonicile înregistrate. Din punct de vedere practic și în concordanță cu înregistrările efectuate cu ajutorul contoarelor Alpha defazajele dintre cei doi fazori, pe fundamentală, sunt sensibil apropiate pe cele trei faze.

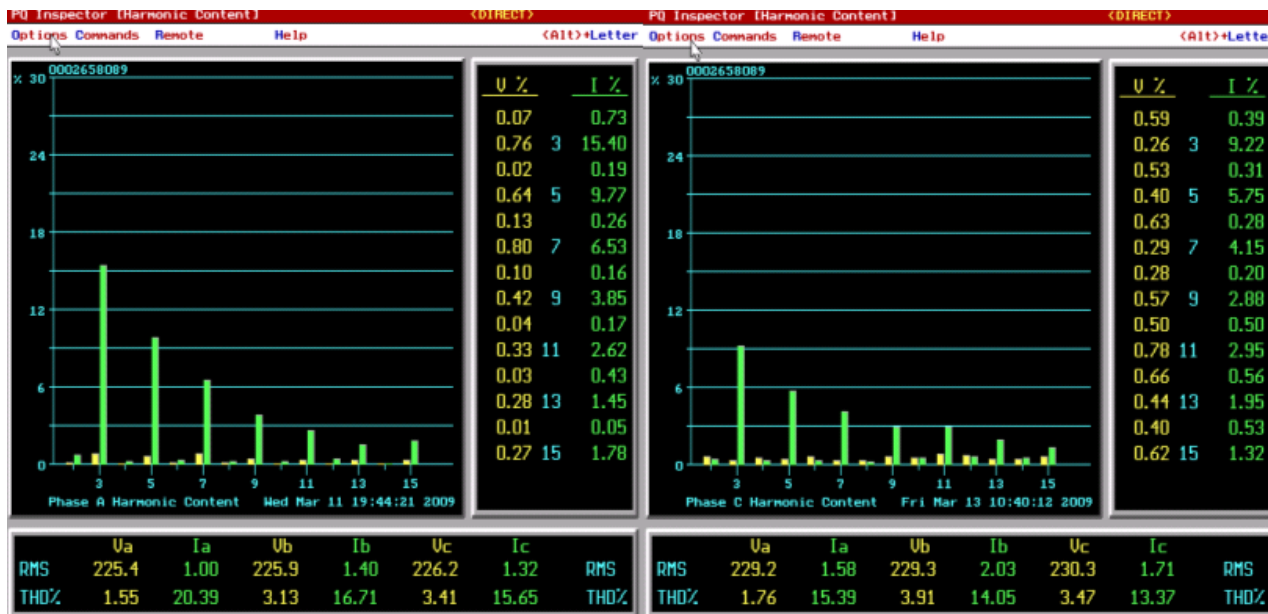


Figura 3. Înregistrări ale contorului electronic trifazat Alpha pentru două faze distincte, în două zile diferite, la momente diferite

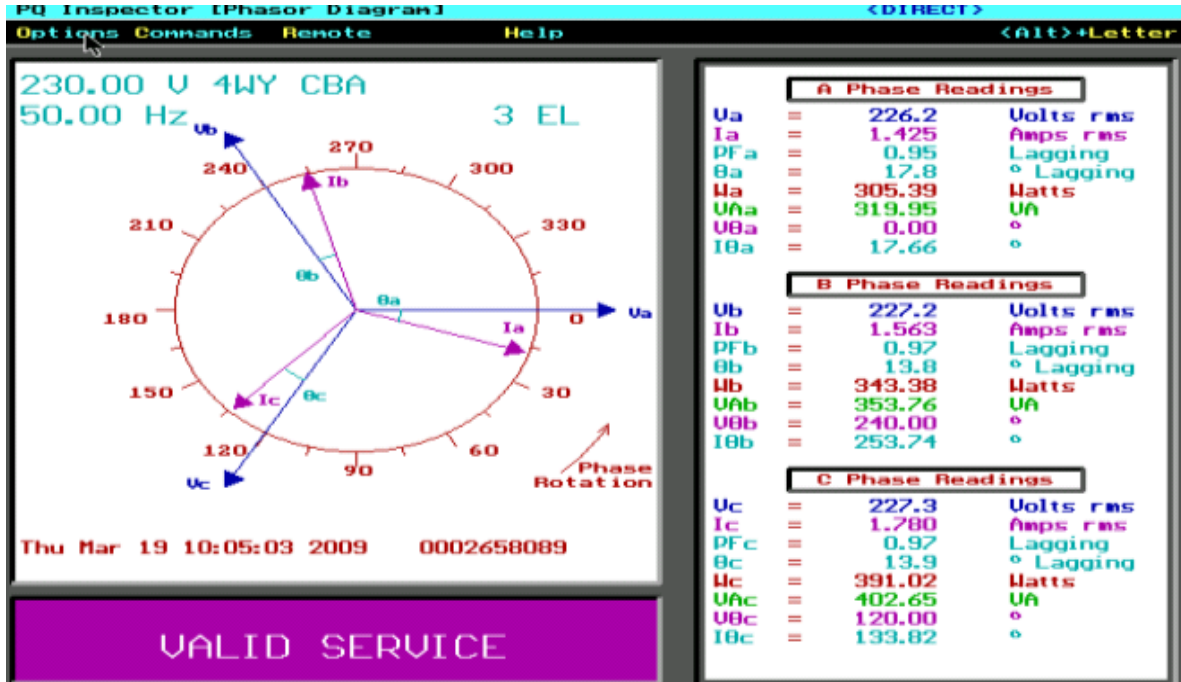


Figura 4. Înregistrări efectuate în posturile de transformare care oferă informații cu privire la defazajele dintre fazele tensiune și curent atașate mărimilor nesinusoidale

Nivelul armonicilor de tensiune și curent se apreciază prin coeficienții  $\gamma_u$  și  $\gamma_i$  calculați pentru fiecare fază în parte și definiți după cum urmează :

$$\gamma_u = \frac{U_k}{U_1} \cdot 100 [\%];$$

$$\gamma_i = \frac{I_k}{I_1} \cdot 100 [\%]; \quad (1)$$

unde:  $U_k, I_k$  - armonicile de ordin  $k$  pentru tensiune, respectiv curent;  $U_1, I_1$  - armonica de ordin 1 sau fundamentala.

**Coeficientul total de distorsiune (Total Harmonic Distorsion - THD) în tensiune și curent** se calculează pentru fiecare fază și se definește cu relații de forma:

$$THD_u = \frac{\sqrt{\sum_{k=2}^{\infty} U_k^2}}{U_1} \cdot 100 [\%]; \quad (2)$$

$$THD_i = \frac{\sqrt{\sum_{k=2}^{\infty} I_k^2}}{I_1} \cdot 100 [\%];$$

În cazul măsurătorilor efectuate, nivelul maxim al armonicilor înregistrate fiind 15, indicele superior de însumare în relațiile (2) ia această valoare 15.

**Valoarea efectivă (Root Mean Square - RMS) a tensiunii și curentului** pentru mărimi nesinusoidale se definește și se calculează cu expresiile:

$$U = \sqrt{\sum_{k=0}^{\infty} U_k^2} \quad [\text{V}] \quad (3)$$

$$I = \sqrt{\sum_{k=0}^{\infty} I_k^2} \quad [\text{A}]$$

În situațiile analizate, componenta continuă (armonica de ordin 0) fiind nulă, indicele inferior al sumelor este 1, iar cel superior 15. Din relațiile (3), cunoscute fiind, în urmă măsurătorilor, nivelurile armonicilor de tensiune și curent  $\gamma_{umk}$  și  $\gamma_{imk}$  ( $m$  - indicele corespunzător fazei,  $m=a, b, c$ ;  $k$  - ordinul armonicii) și valorile efective  $U_m, I_m$ , se poate determina, pentru fiecare fază, **amplitudinea fundamentalei** cu expresiile următoare:

$$U_{1m} = \frac{100U_m}{\sqrt{100^2 + \sum_{k=2}^{15} \gamma_{umk}^2}} \quad [\text{V}]; \quad (4)$$

$$I_{1m} = \frac{100I_m}{\sqrt{100^2 + \sum_{k=2}^{15} \gamma_{imk}^2}} \quad [\text{A}]$$

**Valorile efective ale fiecărei armonici** în parte pentru tensiune și curent se calculează cu ajutorul următoarelor relații:

$$U_{km} = \gamma_{ukm} \cdot U_{1m} \quad [\text{V}] \quad I_{km} = \gamma_{ikm} \cdot I_{1m} \quad [\text{A}] \quad (5)$$

$$m = a, b, c ; \quad k = 2, 3, \dots, 15$$

**Valoarea reziduiului deformant pentru tensiune  $U_d$  și curent  $I_d$**  se determină, pentru situațiile analizate, corespunzător fiecărei faze, cu expresiile :

$$U_d = \sqrt{\sum_{k=2}^{15} U_k^2} \quad [\text{V}] \quad (6)$$

$$I_d = \sqrt{\sum_{k=2}^{15} I_k^2} \quad [\text{A}]$$

Pentru aprecierea regimului deformant în posturile de transformare, pe fiecare fază, trebuie determinate atât pentru tensiune, cât și pentru curent, următoarele mărimi caracteristice:

- valoarea efectivă a mărimilor nesinusoidale;
- valoarea efectivă a fundamentalei și a tuturor armonicilor, până la armonica 15;
- coeficienții totali de distorsiune;
- reziduul deformant;
- evoluția temporală a acestor mărimi.

### **7. Măsuri și mijloace tehnice de atenuare a efectelor perturbatoare ale poluării armonice**

Fenomenele deformante care apar inevitabil în sistemele de distribuție a energiei electrice au efecte negative asupra surselor, rețelelor de distribuție, consumatorilor, asupra sistemelor de măsurare, precum și a celor de protecție prin rele.

Inconveniențele datorate distorsiunilor armonice pot să fie instantanee, fie proporționale cu durata perturbațiilor, în funcție de natura aparatelor racordate la rețeaua electrică. Efectele instantanee sunt observate cel mai adesea după comportarea aparatelor electronice, a informaticii și automatizărilor, cum ar fi de exemplu, apariția unor cupluri pulsatorii ale motoarelor de antrenare a suporturilor magnetice. În principal aceste efecte sunt datorate, fie unui gol pronunțat de tensiune, fie datorită deplășării trecerii prin zero a undei de tensiune.

În ce privește efectele proporționale cu durata perturbațiilor, acestea sunt resimțite mai ales prin încălzirea mașinilor electrice rotative și a condensatoarelor. Aceste efecte conduc și la apariția unor pierderi suplimentare de putere în elementele componente ale sistemelor de distribuție a energiei electrice.

În faza de proiectare, este necesară verificarea posibilității apariției regimului deformant prin efectuarea următoarelor verificări:

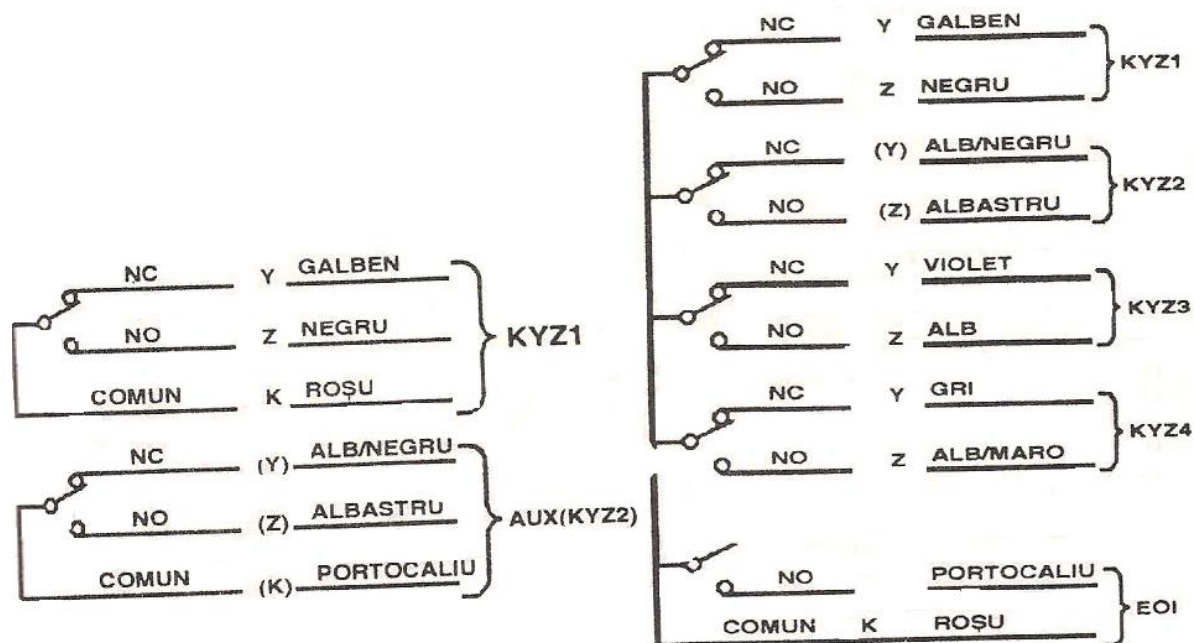
- Verificarea parametrilor regimului periodic nesinusoidal, prin calculul nivelului tensiunilor armonice ( $\gamma_u$ ) și al coeficientului total de distorsiune ( $THD_u$ ), în funcție de valorile curenților armonici specificați de fabricantul aparatelor sau de cei mășurați în instalații similare și de impedanțele armonice ( $Z_n$ ) ale rețelei electrice de alimentare din zona respectivă.
- Verificarea posibilității apariției unor fenomene de rezonanță, în situația când este prevăzută instalarea unei baterii de condensatoare pentru compensarea puterii reactive, trebuie verificată posibilitatea de apariție a rezonanței, adică atât a supratensiunilor armonice pe circuitul format din bateria de condensatoare și rețeaua de alimentare cu energie electrică, cât și de supraîncărcarea bateriei de condensatoare.

Pentru racordarea la rețeaua electrică a unui consumator generator de perturbații armonice, în general, măsurile în vederea limitării regimului deformant sunt următoarele:

- Consumatorii de puteri perturbatoare mici pot fi racordați la rețeaua electrică fără rezerve.
- Consumatorii de puteri perturbatoare mari este necesar să-și compenseze regimul deformant, de regulă, prin instalarea filtrelor de armonici. La instalațiile noi, aceste filtre se montează în situația când nivelul tensiunilor armonice și al coeficientului total de distorsiune reieșite din calcule nu se încadrează în limitele admisibile prevăzute de norme. În situația unor instalații existente, montarea filtrelor este necesară atunci când măsurătorile efectuate pun în evidență depășirea parametrilor regimului periodic nesinusoidal (deformant) sau în cazul existenței pericolului apariției fenomenului de rezonanță pe una din armonicile produse de acest regim. În situația când mai mulți consumatori deformanți sunt racordați într-un nod comun la rețea și fiecare din aceștia a respectat limitele care i-au fost impuse, însă pe total nod, limita globală de perturbații este depășită, furnizorul de energie electrică trebuie să ia măsuri pentru reducerea nivelului acestor perturbații.

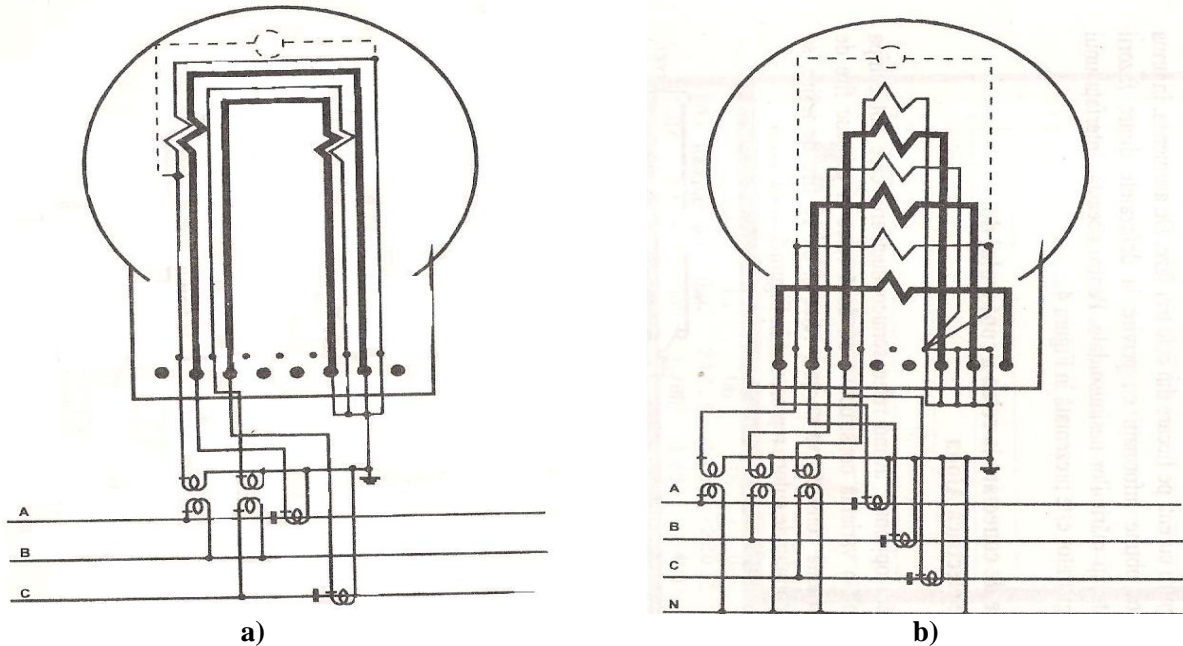
### 8. Scheme de conectare la rețea a contorului de energie electrică Alpha

Cele două plăci opționale având relee semiconductoare, care pot echipa contoarele Alpha, într-o variantă constructivă cu două relee și cu șase fire de ieșire, iar în altă variantă constructivă cu șase relee și cu 12 fire de ieșire, se conectează conform codului de culori, reprezentat în Figura 9.

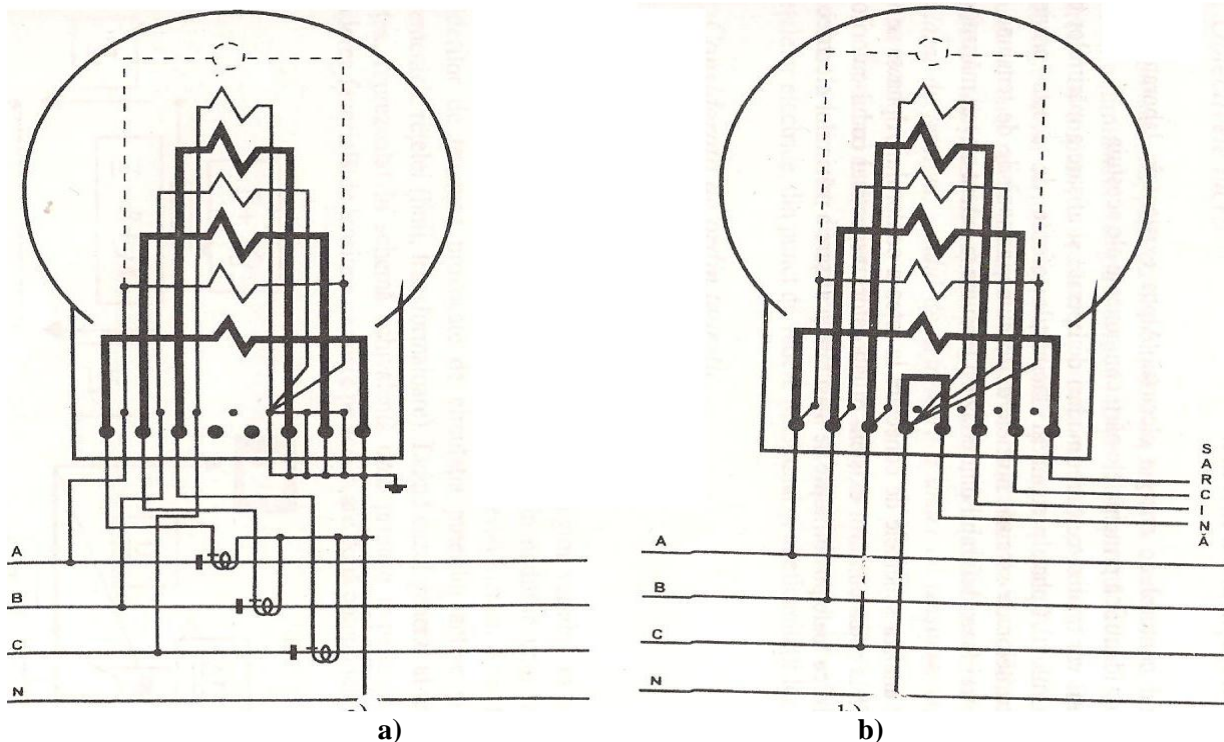


**Figura 5. Codul de culori al plăcilor opționale cu relee semiconductoare**





**Figura 6. Scheme de conectare a contorului de energie electrică Alpha**  
*a – format 5A, 3 fire, două sisteme, conectat prin două transformatoare de curent și două transformatoare de tensiune 2 x 100 Vca; b – format 10A, 4 fire, trei sisteme, conectat prin trei transformatoare de curent și trei transformatoare de tensiune 3 x 57,7/100 Vca*



**Figura 7. Scheme de conectare a contorului de energie electrică Alpha**  
*a – format 10A, 4 fire, trei sisteme, conectat prin trei transformatoare de curent și direct pe tensiune, 3 x 220/380 Vca; b – format 16A, 4 fire, trei sisteme, conectat direct 3 x 220/380 Vca,  $I_{max} = 100 A$*

Variantele de conectare la rețeaua electrică a contoarelor de energie Alpha, pentru formatele 5A, 10A și 16A, sunt prezentate în Figurile 6 și 7 a, b.

### ANEXĂ

Pentru aprecierea regimului deformant în posturile de transformare, pe fiecare fază, s-au determinat atât pentru tensiune, cât și pentru curent, următoarele mărimi caracteristice:

- valoarea efectivă a mărimilor nesinusoidale;  $\hat{a}$
- valoarea efectivă a fundamentalei și a tuturor armonicilor, până la armonica 15;
- coeficienții totali de distorsiune;
- reziduu deformant;
- evoluția temporală a acestor mărimi.

În vederea exemplificării sunt prezentate în lucrare rezultatele privind parametrii care caracterizează regimul deformant, numai pentru patru posturi de transformare. Astfel, în Tabelele A1, A2 și A3 sunt prezentați parametrii ce caracterizează regimul deformant referitor la tensiune pentru anul 2000, 2005 respectiv pentru anul 2009, într-o zi lucrătoare.

**Tabel A1 Parametri ce caracterizează regimul deformant referitor la tensiune, în anul 2000**

	PT11			PT63			PT68			PT413		
	faza a	faza b	faza c	faza a	faza b	faza c	faza a	faza b	faza c	faza a	faza b	faza c
<b>U (V)</b>	225.40	225.60	225.40	232.00	231.30	231.00	214.20	212.80	213.30	223.60	223.50	224.10
<b>U1(V)</b>	225.37	225.55	225.35	231.98	231.24	230.98	214.16	212.71	213.18	223.58	223.42	224.03
<b>U2</b>	0.59	1.35	1.35	0.12	0.67	0.16	0.66	1.49	1.53	0.47	0.60	1.66
<b>U3</b>	1.62	0.95	0.95	0.46	2.71	0.95	0.88	1.53	2.13	1.27	2.44	0.56
<b>U4</b>	0.14	0.99	0.99	0.05	0.97	0.05	0.58	1.08	0.98	0.29	0.92	1.01
<b>U5</b>	2.95	1.44	1.44	2.55	1.32	0.90	3.75	4.15	5.46	1.45	2.59	1.88
<b>U6</b>	0.14	0.83	0.83	0.28	0.81	1.48	0.21	0.79	0.72	0.29	0.71	1.14
<b>U7</b>	1.89	2.28	2.28	1.16	2.31	1.15	1.20	0.51	1.71	0.31	1.14	1.55
<b>U8</b>	0.18	0.56	0.56	0.21	0.60	0.42	0.24	1.19	0.98	0.13	1.27	1.08
<b>U9</b>	0.14	0.90	0.90	0.37	1.64	0.55	0.49	1.04	0.98	0.76	1.74	1.55
<b>U10</b>	0.14	1.31	1.31	0.07	1.11	0.46	0.15	1.55	0.68	0.02	1.25	1.08
<b>U11</b>	0.36	1.01	1.01	0.63	1.80	0.76	0.79	0.91	1.36	2.01	2.17	2.69
<b>U12</b>	0.02	1.01	1.01	0.05	0.97	0.42	0.06	0.91	1.53	0.07	1.16	1.16
<b>U13</b>	0.45	1.51	1.51	0.19	1.18	0.67	0.90	1.77	1.30	0.80	1.85	2.08
<b>U14</b>	0.20	0.95	0.95	0.07	1.57	0.49	0.06	1.23	1.11	0.13	1.34	1.08
<b>U15</b>	0.09	1.58	1.58	0.37	0.76	0.39	0.17	1.74	1.00	0.42	1.14	1.43
<b>THD<sub>U</sub></b>	1.78	3.34	3.5	1.35	2.8	2.89	1.97	4.63	3.8	1.78	3.64	4.04
<b>Ud(V)</b>	3.97	4.72	4.71	2.99	5.42	2.75	4.34	6.17	7.18	3.12	5.87	5.67

**Tabel A2 Parametri ce caracterizează regimul deformant referitor la tensiune, în anul 2005**

	PT11			PT63			PT68			PT413		
	faza a	faza b	faza c	faza a	faza b	faza c	faza a	faza b	faza c	faza a	faza b	faza c
U (V)	229.8	229.5	230.1	233.9	233.1	232.0	225.3	224.2	224.4	227.7	227.9	227.4
U1(V)	225,37	225,54	225,32	231,95	231,25	230,94	214,16	212,72	213,24	223,55	223,44	224,03
U2	0,69	0,77	1,31	0,65	0,81	0,35	0,81	2,04	1,41	0,83	0,78	1,48
U3	1,60	1,65	1,76	0,99	0,99	1,08	1,11	0,40	0,23	1,36	2,36	1,25
U4	0,20	0,95	1,22	0,16	1,25	1,06	0,25	0,06	0,95	0,15	0,91	1,03
U5	1,35	1,33	2,99	4,10	2,22	3,48	2,33	3,80	2,87	1,16	2,05	1,16
U6	0,11	0,68	0,70	0,09	1,45	0,90	0,25	0,72	0,63	0,17	0,80	1,34
U7	2,52	2,89	2,68	1,76	0,43	0,90	1,99	2,42	0,91	3,59	0,96	2,75
U8	0,18	1,49	0,58	0,11	0,60	1,08	0,04	0,38	0,57	0,08	0,58	1,45
U9	0,65	1,06	1,44	0,69	1,68	0,43	0,66	1,40	0,78	0,80	1,20	0,60
U10	0,13	1,06	1,10	0,11	1,36	1,15	0,08	0,65	1,02	0,17	1,38	1,09
U11	0,81	0,56	1,91	0,12	0,90	0,90	1,02	1,48	2,11	1,00	1,98	1,85
U12	0,02	0,90	1,49	0,07	1,52	1,33	0,06	0,25	1,30	0,02	0,93	0,89
U13	0,67	1,28	1,19	0,18	0,92	0,76	1,28	1,42	0,68	0,64	1,40	1,07
U14	0,20	1,56	0,97	0,16	1,52	1,15	0,19	0,46	1,42	0,17	1,54	0,67
U15	0,32	1,47	0,99	0,62	0,92	1,27	0,21	0,63	1,49	0,31	1,00	1,72
THD <sub>U</sub>	1.71	3.44	2.83	2.13	2.97	3.85	1.99	2.60	3.27	1.93	3.90	2.52
Ud(V)	3,61	5,15	5,98	4,73	4,76	5,00	3,83	5,72	5,03	4,37	5,17	5,30

**Tabel A3 Parametri ce caracterizează regimul deformant referitor la tensiune, în anul 2009**

	PT11			PT63			PT68			PT413		
	faza a	faza b	faza c	faza a	faza b	faza c	faza a	faza b	faza c	faza a	faza b	faza c
U (V)	226.2	227.2	227.3	233.7	233.1	239.2	221.8	223.6	224.5	229.8	230.6	230.6
U1(V)	226,17	227,15	227,25	233,3	231,3	239,1	221,3	223,3	224,1	229,7	230,5	230,5
U2	0,15	0,81	1,34	0,86	0,81	0,16	0,77	0,61	0,53	0,87	0,62	0,76
U3	1,72	2,067	0,591	1,22	0,99	0,98	1,92	2,25	3,22	2,59	2,51	3,08
U4	0,04	1,022	1,204	0,25	1,25	0,04	0,19	0,17	0,40	1,01	0,94	1,04
U5	1,44	1,908	0,909	1,11	2,22	0,93	3,78	3,75	5,57	1,79	2,67	1,52
U6	0,29	0,840	1,431	0,18	1,45	1,53	0,24	0,42	0,47	0,64	0,73	1,38
U7	1,81	0,567	0,659	2,43	0,43	1,19	3,27	2,99	3,34	1,97	1,17	4,40
U8	0,23	0,613	0,636	0,09	0,60	0,43	0,11	0,82	0,49	0,62	1,31	0,66
U9	0,95	1,635	1,29	0,61	1,68	0,57	0,75	1,54	2,04	0,25	1,79	0,76
U10	0,09	1,362	1,136	0,18	1,36	0,47	0,08	1,72	0,69	1,07	1,29	1,15
U11	0,75	1,091	1,772	0,44	0,90	0,78	0,62	0,42	0,81	1,21	2,23	1,71
U12	0,07	1,022	1,499	0,65	1,52	0,43	0,06	0,92	0,78	1,44	1,19	0,94
U13	0,63	0,908	0,99	2,22	0,92	0,69	0,82	1,49	2,73	0,85	1,91	1,04
U14	0,03	0,931	0,909	0,21	1,52	0,51	0,08	1,16	2,11	0,66	1,38	0,81
U15	0,61	1,431	1,408	0,25	0,92	0,40	0,28	1,31	1,32	1,99	1,17	0,89
THD <sub>U</sub>	1.76	3.91	3.46	1.85	2.97	3.29	3.26	2.83	4.05	2.05	4.16	3.06
Ud(V)	3,27	4,64	4,41	2,99	4,61	4,13	5,58	6,41	7,55	5,14	6,05	6,59

## Laborator Transportul și distribuția energiei electrice - B. Neagu

De asemenea în Tabelul A4 este prezentată evoluția temporară, în diferite momente ale zilei, pentru parametri ce caracterizează regimul deformant referitor la tensiune, iar în Tabelul A5 este prezentată aceeași evoluție temporară de-a lungul unei zile dar pentru parametri ce caracterizează regimul deformant referitor la curent.

**Tabel A4. Parametri ce caracterizează regimul deformant referitor la tensiune - evoluție temporară.**  
*Precizarea mărimilor ce se abat de la normative*

	Ora 4			Ora 10			Ora 22		
	faza a	faza b	faza c	faza a	faza b	faza c	faza a	faza b	faza c
<b>U (V)</b>	228.9	227.5	230.8	222.8	221.6	223.1	225	224.4	227.2
<b>U1(V)</b>	228.8	227.5	230.8	222.77	221.6	223.1	224.94	224.3	227.2
<b>U2</b>	0.801	0.751	0.323	0.4901	0.222	0.156	1.5746	1.727	0.409
<b>U3</b>	0.984	1.979	0.923	1.0025	1.329	1.606	0.8098	2.512	2.113
<b>U4</b>	1.03	0.955	0.138	0.3119	0.066	0.022	1.0347	0.942	0.136
<b>U5</b>	1.899	1.615	1.362	1.4703	1.219	1.829	2.3619	2.624	1.704
<b>U6</b>	0.847	1.365	0.254	0.401	0.554	0.29	0.8098	1.144	0.091
<b>U7</b>	1.716	1.046	0.854	0.4678	0.82	0.892	0.8773	1.077	1.045
<b>U8</b>	1.693	0.66	0.254	0.1782	0.421	0.156	0.6074	1.054	0.114
<b>U9</b>	1.053	0.546	0.485	0.8911	0.222	0.758	1.5071	2.086	0.931
<b>U10</b>	1.373	1.137	0.138	2.1163	0.465	0.134	1.1472	1.144	0.091
<b>U11</b>	1.121	0.682	0.277	0.3787	1.595	0.513	1.9795	1.862	1.045
<b>U12</b>	1.007	0.955	0.115	0.0446	0.288	0.067	1.0347	1.099	0.068
<b>U13</b>	1.808	1.024	0.069	0.4901	1.108	0.602	1.1922	1.817	0.954
<b>U14</b>	1.556	1.569	0.162	0.1337	0.51	0.089	1.5521	1.346	0.045
<b>U15</b>	0.847	1.387	0.254	2.1163	0.377	0.357	0.9898	1.525	0.613
<b>THD<sub>U</sub></b>	1.64	3.44	2.92	0.94	2.75	3.2	1.31	2	2.26
<b>Ud(V)</b>	4.948	4.449	2.032	3.7511	2.998	2.866	4.9966	6.199	3.453

**Tabel A5 Parametri ce caracterizează regimul deformant – curent - evoluție temporară**

	Ora 4			Ora 10			Ora 22		
	faza a	faza b	faza c	faza a	faza b	faza c	faza a	faza b	faza c
<b>I (A)</b>	88	80	56	80	64	60	134	118	82
<b>I1(A)</b>	87.813	79.87	55.94	79.031	62.63	58.69	131.3	116.4	80.67
<b>I2</b>	0.3688	0.272	0.509	0.3398	0.125	0.417	0.6171	0.908	0.54
<b>I3</b>	3.3545	2.26	1.421	7.3657	8.925	9.014	18.119	13	10.13
<b>I4</b>	0.2722	0.543	0.022	0.5453	0.313	0.299	0.1707	0.605	0.686
<b>I5</b>	3.0032	2.189	1.371	7.666	7.773	6.866	16.268	11.29	8.567
<b>I6</b>	0.1844	0.28	0.09	0.1818	0.038	0.112	0.3545	0.477	0.331
<b>I7</b>	1.888	2.053	0.878	4.7418	4.785	4.214	9.4927	7.589	5.518
<b>I8</b>	0.1405	0.567	0.09	0.4268	0.063	0.194	0.0394	0.547	0.307
<b>I9</b>	2.1514	1.438	0.962	3.4932	2.768	2.653	5.1074	3.271	2.646
<b>I10</b>	0.0966	0.423	0.078	0.079	0.138	0.018	0.2889	0.663	0.089
<b>I11</b>	1.4665	1.278	0.677	1.8651	0.996	1.273	2.0745	1.385	1.049
<b>I12</b>	0.2459	0.479	0.084	0.5532	0.063	0.158	0.3676	0.594	0.347
<b>I13</b>	1.1767	0.783	0.515	0.8693	0.626	0.563	0.9585	1.804	0.298
<b>I14</b>	0.1756	0.359	0.073	0.1423	0.119	0.147	0.3545	0.687	0.307
<b>I15</b>	0.7201	0.727	0.319	1.1143	0.908	0.651	1.4968	1.292	0.774
<b>THD<sub>I</sub></b>	17.19	16.26	20.07	5.81	4.99	6.34	20.69	22.34	15.58
<b>Id(A)</b>	5.7344	4.501	2.591	12.415	13.15	12.49	26.786	19.36	14.71

Totodată în Tabelul A4 sunt prezentate armonicile de tensiune și coeficienții de distorsiune calculați în posturile de transformare la nivelul barelor de joasă tensiune care se abat de la valorile precizate în normativul din țara noastră.

De menționat faptul că în acest tabel, mărimile care se abat de la valorile precizate în normativ sunt marcate cu un fond gri deschis armonicile pare, gri cele impare și cu gri închis coeficientul de distorsiune.

### 9. Modul de desfășurare a lucrării

- ✓ Folosind contorul de energie electrică Alpha existent în laboratorul de Transportul și Distribuția Energiei Electrice, se vor identifica principalele părți componente ale acestuia.
- ✓ Studenții vor analiza cele trei moduri de operare și afișare a mărimilor cu ajutorul contorului Alpha, precum și facilitățile oferite de acesta privind înregistrarea curbelor de sarcină.
- ✓ Se vor analiza cele trei sisteme de monitorizare a sarcinilor electrice, prezentate în cadrul lucrării, studenții trebuind să evidențieze amplasarea acestora în cadrul sistemelor de transport și distribuție a energiei electrice și principalele avantaje ale acestora.
- ✓ Se vor analiza schemele de conectare la rețea a contorului Alpha și se va conecta practic la rețea contorul existent în laborator, respectând codul culorilor. Se vor exemplifica toate posibilitățile de măsurare și afișare a mărimilor electrice.
- ✓ Pe baza tabelelor prezentate în anexa din cadrul lucrării, studenții vor trebui să analizeze evoluția în timp a mărimilor caracteristice regimului deformant de-a lungul a 10 ani, respectiv 2000, 2005 și 2009.
- ✓ Se vor exemplifica principalele surse de armonici din sistemele publice de distribuție a energiei electrice și se vor prezenta principalele măsuri și mijloace de atenuare a efectelor perturbatoare provocate de poluarea armonică.

### Bibliografie

1. **Georgescu Gh.**, *Sisteme de distribuție a energiei electrice*, Editura Politehniun, Iași, 2007.
2. **Georgescu Gh., Neagu B.**, *Proiectarea și exploatarea asistată de calculator a sistemelor publice de repartiție și distribuție a energiei electrice*, vol. 1, partea I-a, Editura Fundației Academice AXIS, Iași, 2010.
3. **Georgescu Gh.**, *Transportul și distribuția energiei electrice. Lucrări practice de laborator*, Editura Politehniun, Iași, 2005.
4. **Georgescu Gh.**, *Transportul și distribuția energiei electrice. Produse software specializate*, Editura Politehniun, Iași, 2005.

5. **Georgescu Gh., Neagu B.**, *Aspects regarding the improvement of supply quality in public electricity distribution systems*, Buletinul Institutului Politehnic din Iași, Tomul XVI(XXVII), fasc. 3, 2010.
6. **Georgescu Gh.**, *Sisteme de distribuție a energiei electrice*, vol. 1, partea a II-a, Editura Politehnicum, Iași, 2007.
7. **Georgescu Gh., Rădășanu D.**, *Transportul și distribuția energiei electrice*, vol. 1, Editura “Gh. Asachi”, Iași, 2000.
8. **Gh. Georgescu**, V. Varvara, ș.a., “*Analiza regimului deformant în rețelele de distribuție urbane*”, Simpozionul național de rețele electrice, Iași, 2000.
9. V. Varvara, **Gh. Georgescu**, I. Ciutea, N. Brumă, N. Suflețel, *Ameliorarea regimului deformant în rețelele electrice de distribuție urbană*, Producerea, transportul și distribuția energiei electrice și termice, nr. 5, București, 2004.
10. \*\*\* **PE 104/93** *Normativ pentru construcția liniilor aeriene de energie electrică cu tensiuni peste 1000 V*, ICEMENERG, București, 1993.
11. \*\*\* **PE 106/2003**, *Normativ pentru proiectarea și executarea liniilor electrice aeriene de joasă tensiune*, S.C.ELECTRICA S.A., București, 2003.
12. \*\*\* **I – 7/2002**, *Normativ privind proiectarea și exploatarea instalațiilor electrice cu tensiuni până la 1000 V c.a. și 1500 V c.c.*, ICEMENERG, București, 2002.