

ÎMBUNĂTĂȚIREA FACTORULUI DE PUTERE CU REGULATOR VAR-METRIC ÎN INSTALAȚIILE MONOFAZATE

Rezumat: În lucrare se face o analiză a utilizării unui regulator VAR-metric, cu condensatoare, în instalații electrice monofazate în posturi de transformare. De obicei, aceste regulatoare VAR-metric se utilizează în instalațiile trifazate, cu baterii trifazate. S-au realizat experimentări de laborator cu regulatorul, când sunt alimentați diferiți consumatori monofazați (lămpi cu descărcări în gaze). La măsurătorile experimentale s-a utilizat un analizor portabil trifazat.

Abstract: The paper analyzes the use of a VAR-metric regulator with capacitors in single-phase electrical installations. Typically, these VAR-metric regulators are used in three-phase systems with three-phase batteries in power substation. Laboratory experiments with the regulator were performed when different single-phase loads (gas discharge lamps) are supply. A portable three-phase analyzer was used in the experimental measurements.

1. Introducere

Receptoarele electrice prevăzute cu bobinaje, cum sunt motoarele, transformatoarele, cuptoarele electrice etc., consuma în afară de energia electrică activă, care servește la efectuarea energiei utile, și o energie suplimentară denumită energie reactivă, care servește la magnetizare, acestei energii reactive îi corespunde puterea reactivă (Q) similară celei active (P) – *figura 1*. În procesul de producere a energiei electrice în generatoarele din centrale, energia reactivă provoacă o defazare (întârziere) între tensiune și curent, reprezentată trigonometric printr-un unghi de defazaj. Această defazare este cu atât mai mare cu cât cererea de energie reactivă din partea receptoarelor este mai mare [1-4].

Indicele din care putem deduce în ce măsură se produce (sau se consumă) energia reactivă față de cea activă este factorul de putere și el este reprezentat prin cosinusul unghiului de defazare.

Prin factor de putere, notat cu K se înțelege raportul dintre puterea activă $P[W]$ și puterea aparentă $S[VA]$ consumate de un receptor:

$$K = \frac{P}{S} \quad (1)$$

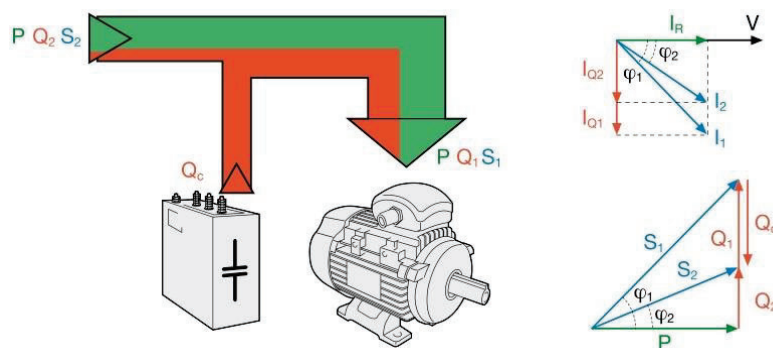


Figura 1. Explicative despre puterea reactivă

Consumatorii de energie electrică funcționează în general cu sarcină variabilă în timp, potrivit procesului tehnologic.

Factorul de putere se poate determina cu ajutorul diagramei P, Q, S și $\cos \varphi$ unde:

- pe abscisă sunt trecute valori ale puterii active P;
- pe ordonată sunt trecute valori ale puterii reactive Q;
- razele cercurilor cu originea în centrul axelor reprezintă valorile puterilor aparente S;
- unghiurile făcute de drepte ce pleacă din originea axelor, cu axa P, reprezintă unghiurile;
- în diagramă sunt trasate o serie de drepte corespunzătoare unor unghiuri pentru $\cos \varphi$ [5-10].

2. Componente si dispozitive utilizate

a. Baterii de condensatoare

Condensatoarele sunt dispozitive destinate înmagazinării de cantități de electricitate, sunt formate din doua armaturi conductoare separate printr-un izolanț numit dielectric. Armaturile lor pot fi placi plane (*figura 2*), suprafețe curbe, sau sisteme de placi conductoare [4].

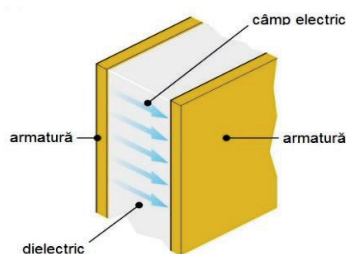


Figura 2. Armaturile unui condensator

Conectarea condensatoarelor într-un circuit inductiv compensează puterea reactivă inductivă cu putere capacitivă având ca rezultat o îmbunătățire a factorului de putere. Conectarea condensatoarelor se poate realiza în două moduri:

- În paralel, conectat cu circuitul inductiv cu scopul de a îmbunătăți factorul de putere;
- În serie, conectat la capătul liniei de distribuție compensând componenta reactivă și eliminând căderea de tensiune îmbunătățind astfel linia.

Poate susține un sistem de distribuție în următoarele feluri:

- îmbunătățind stabilitatea sistemului minimizând fluctuațiile de tensiune cauzate de variația sarcinii;
- limitând balansarea voltajului din sistem la supratensiune și subțensiune;
- stabilizând tensiunea la recepția liniei;
- reducând pierderile de energie activă din sistem.

Condensatoarele se pot utiliza pentru îmbunătățirea factorului de putere atât la sarcinile monofazate cum ar fi lămpile, cât și la cele trifazate cum sunt motoarele electrice. Deoarece reactanța capacitivă este din ce în ce mai mică odată cu creșterea frecvenței, la o modificare de la formă sinusoidală a tensiunii de alimentare, curentul prin condensator va fi mult mai puternic deformat.



Figura 3. Baterii de condensatoare utilizate în electrotehnică

În figura 3 sunt prezentate cinci baterii de condensatoare situate într-o carcasă dublu izolatoare eliminând astfel nevoia conectării la împământare. Bateriile de condensatoare de valori mari produc un control mai bun al factorului de putere. Conectate la consumatori neliniari cresc deformarea curenților și duc la fenomenul nedorit de rezonanță sau distorsiuni [3].

b. Analizor portabil Qualistar CA 8334B

Proiectat pentru departamentele de teste și mentenanță, Qualistar C.A 8334B poate fi folosit pentru a obține instantaneu măsurătorile principale caracterizând calitatea rețelei electrice. Funcțiile acestui analizor îl fac perfect pentru mentenanța preventivă sau de corectare. Poate fi folosit și pentru a face un studiu de energie complet al unei instalații. Pentru dimensionarea instalațiilor sau reparațiile de întrerupătoare, CA 8334B permite utilizatorilor să măsoare curentul indus de peste 8 perioade. Compact și ușor de folosit, acest instrument oferă și un număr mare de valori calculate și câteva funcții de procesare. Este echipat cu 3 canale de măsurători de tensiune și 3 canale de măsurători de curent. Capturează și înregistrează toți parametrii, tranzitorii, alarmele și formele de undă simultan. Când senzorii sunt conectați la CA 8334B sunt recunoscuți automat. Oferă și posibilitatea de a combina diferite tipuri de senzori de curent și permite citirea directă a măsurătorilor. Este special proiectat pentru lucrul pe teren. Funcțiile multiple ale Qualistar+ CA 8334B îl fac deosebit de versatil. Este potrivit pentru aplicații de până la 1000 V în CAT III și 600 V în CAT IV. Măsurătorile obținute cu modelele Qualistar pot fi procesate cu unul din cele 2 software-uri: PAT livrat ca standard sau DataView, valabil ca opțiune. Ele permit configurația, transferul, procesarea și analizarea datelor. În adică, Dataview oferă posibilitatea de a genera rapoarte în concordanță cu standardele de calitate ale tensiunii [2].

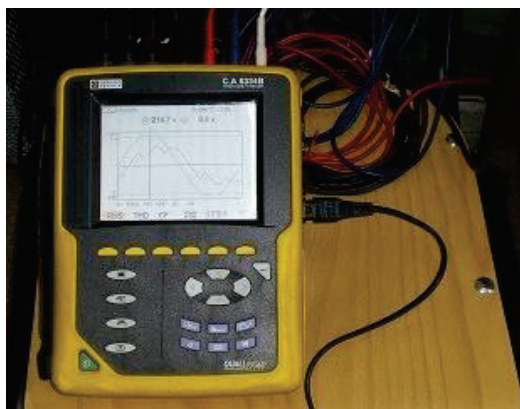


Figura 4. Analizorul portabil C.A. 8334B

c. Regulator VAR-metric ESTAmart RPR

ESTAmat RPR 12 Roederstein PFC (figura 5) este un controler digital electronic pentru îmbunătățirea factorului de putere, folosit în rețelele trifazate care poate controla până la 12 baterii de condensatoare. Practic acest PFC măsoară defazajul dintre tensiune și curent la trecerile prin zero. Curentul este măsurat cu un transformator de curent cu anumite caracteristici depinzând de curentul de fază și de curentul de intrare din regulator (1A sau 5A). Condensatoarele sunt conectate prin rotație la rețeaua electrică pentru a menține factorul de putere cât mai aproape de valoarea setată. De asemenea prezența armonicilor de curent poate fi detectată de regulator.

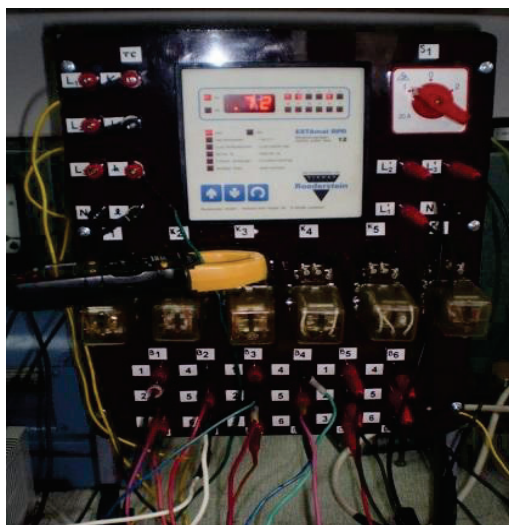


Figura 5. Regulatorul VAR-metric ESTAmart RPR

3. Experimentari cu regulatorul VAR-metric

În instalația experimentală se utilizează un regulator de putere reactivă ESTAmat RPR cu 12 trepte de la VISHAY, Germania utilizat la îmbunătățirea factorului de putere în rețelele monofazate (figura 6).

Fiecare baterie de condensator este conectată la rețeaua electrică printr-un contactor (K1-K6, de tip RI 13) controlat de regulator. Curentul măsurat de PFC este între 100mA și 5A fiind obținut prin intermediul unui secundar al transformatorului de curent. Bobinele contactoarelor (K1-K6) funcționează la o tensiune de 230 V c.a. Contactorul poate conecta condensatoare direct la rețeaua electrică trifazată.

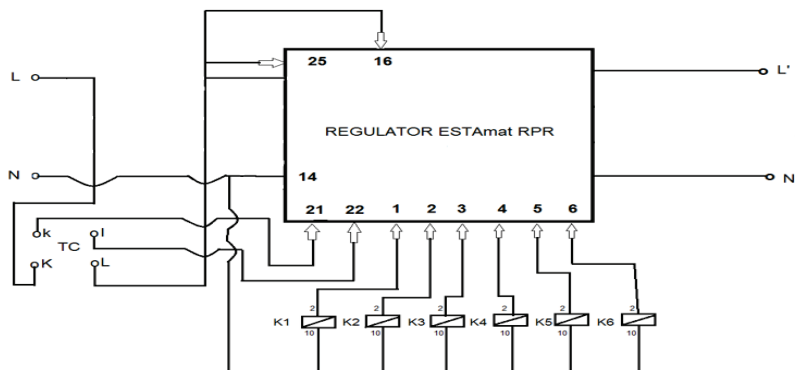


Figura 6. Schema montajului experimental cu regulatorul ESTAmat RPR

În figura 6 este prezentată schema experimentală cu regulatorul VAR-metric în care:
- K1.....K6 - relee de putere RI 13;

- TC - transformator de curent cu raportul de transformare 15/5 conectat pe faza L1;
- L & L' – intrarea și ieșirea fazei;
- N & N' – intrarea și ieșirea nulului.

S-au realizat experimentări într-o instalație monofazăată care conține 3 consumatori monofazați inductivi, 3 lămpi mai exact (H1, H2 și H3). Lămpile H1 și H3 sunt 2 corpuri de iluminat cu puterea de 2x20 W, iar lampa H2 este o lampa cu vapori de sodiu de înaltă presiune cu putere de 150 W. S-au conectat pe rând lămpile H3, H2 și H1 cu temporizări de câteva zeci de secunde, și apoi s-au deconectat pe rând lămpile H2, H1 și H3.

Pentru realizarea măsurătorilor s-a utilizat un analizor portabil de energie electrică CA 8334B și un clește ampermetric MN93A setat pe domeniul de 5A.

S-a măsurat curentul pe faza L₁ (fazele L₂ și L₃, nu au fost conectate la regulatorul VAR-metric și nici la consumatori) unde au fost conectate lămpile H₁, H₂ și H₃. Curentul s-a măsurat printr-un transformator de curent cu raportul de transformare 15A/5A, iar tensiunea L1-N s-a măsurat direct de la rețea.

Regulatorul VAR-metric s-a setat la valoarea de 0,92. În primele 3 minute de funcționare regulatorul VAR-metric identifică condensatoarele și valorile lor conectate la cele 12 ieșiri.

S-a utilizat pentru primele 6 ieșiri ale automatului 6 condensatoare de la C₁ la C₆.

Deconectarea s-a realizat pe rând, manual, prima dată lampa H₂, apoi lampa H₁ și lampa H₃. În timpul acestor operații, regulatorul VAR-metric caută varianta optimă de baterii de condensatoare pentru a se apropia de valoarea setată (tabelul 1). În tabelul 1, la factorul de putere: c reprezintă caracter capacitiv, iar i reprezintă caracter inductiv.

Tabelul 1. Etapele de realizare ale experimentărilor (cu regulator VAR-metric)

Consumatori electrici	Condensatoare	cos φ (-)
H3 - conectat		0,46c
	C3 conectată	0,8c
H2 - conectat		0,32c
	C2,C4-C6 conectate	0,82i
H1 - conectat		0,72i
	C1-C6 conectate	0,96c
	C2-C6 conectate	0,87i
	C2,C4-C6 conectate	0,92i
H2 - deconectată		0,8c
	C5-C6 conectate	0,9c
H1 - deconectată		0,99c
H3 - deconectată		0,09c
	C5-C6 deconectate	

La grupul de măsurători s-a utilizat regulatorul VAR-metric trifazăat la care s-au conectat pe primele 6 intrări baterii de condensatoare cu următoarele valori:

- C₁=5,72 μF;
- C₂=3,78 μF;
- C₃=6,15 μF;
- C₄=8,03 μF;
- C₅=5,81 μF;
- C₆=5,59 μF.

La regulatorul VAR-metric s-a utilizat conexiunea monofazăată, s-a utilizat numai faza L₁ și tensiunea de fază între L₁ și N, celelalte 2 faze L₂ și L₃ nu au mai fost conectate la intrarea regulatorului VAR-metric și nu s-au mai conectat nici consumatorii electrici.

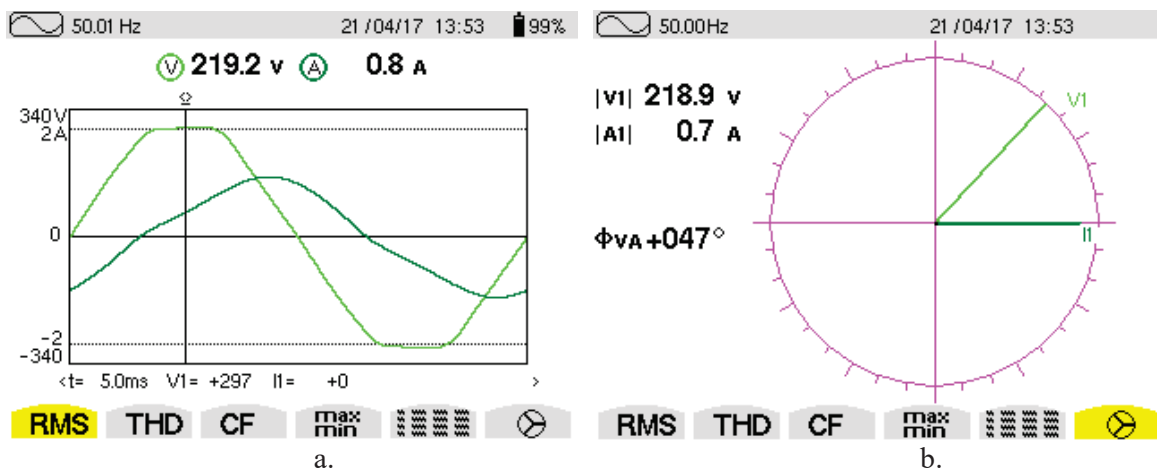


Figura 7. a. – Defazajul tensiune curent înainte ca regulatorul VAR-metric să introducă în circuit condensatoare, lămpile H_1 și H_3 conectate; b. – Diagrama fazorială înainte ca regulatorul VAR-metric să introducă condensatoare în circuit, lămpile H_1 și H_3 conectate

După regulatorul VAR-metric între L_1 și N s-au conectat cele 3 lămpi H_1 , H_2 și H_3 .

În figura 7 sunt prezentate măsurători experimentale ale tensiunii, curentul de fază și diagrama fazorială cu lămpile H_1 și H_3 conectate, în care se observă caracterul puternic inductiv al consumatorilor.

În figura 8 sunt realizate măsurători experimentale pentru tensiune, curent și diagrame fazoriale pentru cazul în care lămpile H_1 și H_3 au fost conectate, iar regulatorul VAR-metric a introdus condensatoarele C_2 , C_4 - C_6 (după mai multe tatonări).

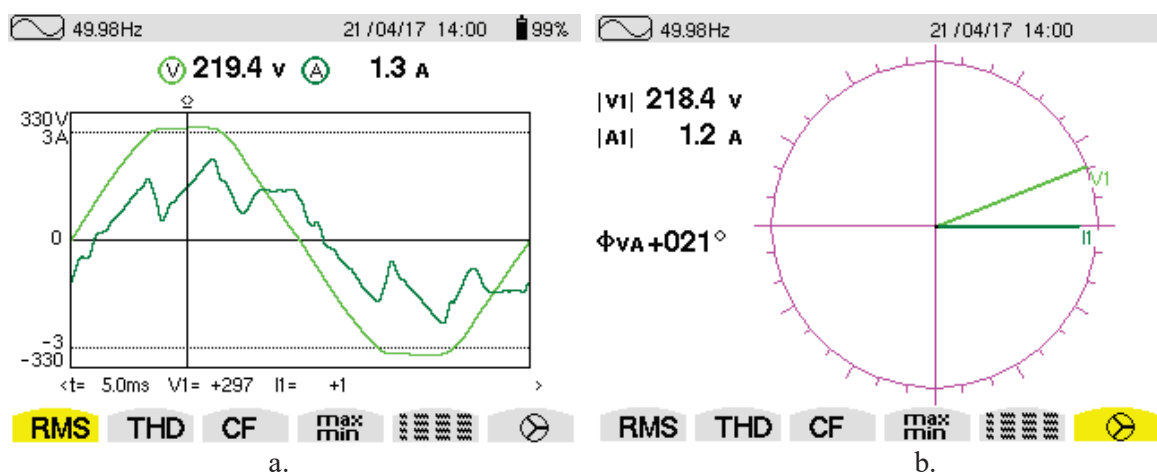


Figura 8. a. - Defazajul tensiune curent după ca regulatorul VAR-metric a introdus în circuit condensatoarele C_2 , C_4 - C_6 și lămpile H_1 - H_3 sunt conectate; b. – Diagrama fazorială după ce regulatorul VAR-metric a introdus în circuit condensatoarele C_2 , C_4 - C_6 și lămpile H_1 - H_3 sunt conectate

4. Concluzii

Creșterea pierderilor de energie activă la circulația nerațională de putere reactivă, determinată de nerealizarea unui factor de putere egal cu cel neutral conduce la importante pierderi de energie și implicit de bani.

Prezența energiei reactive în rețelele de alimentare cu energie electrică nu folosește nimănui, însă produce pierderi care în cele din urmă tot de consumatori trebuie plătite.

Regulatoarele VAR-metrice sunt utilitate și sunt construite special pentru îmbunătățirea factorului de putere în instalațiile trifazate.

Prin utilizarea unei instalații de corectare a factorului de putere, se asigură:

- factor de putere ridicat în rețeaua de alimentare a consumatorilor;
- economie maximă de energie activă;
- costuri de energie reactivă scăzute;
- randament ridicat al echipamentelor electrice racordate la rețea;
- capacitate ridicată de transfer a puterii prin cabluri.

Rezultatele îmbunătățirii factorului de putere:

- elimină penalizările;
- reduce sarcina în transformator și în echipamente;
- scade pierderile în transformator, în cabluri și în alte echipamente;
- ajută la stabilizarea tensiunii din sistem prin creșterea puterii aparente disponibile.

Bibliografie

- [1] Gabriel Nicolae Popa, Iosif Popa, *Electrical Installation*, Mirton Publishing House, Timișoara, Romania, 2005.
- [2] Angela Iagăr, Gabriel Nicolae Popa, Corina Maria Diniș, *Power Quality from Theory to Experiments*, Politehnica Publishing House, Timișoara, Romania, 2017.
- [3] Corina Maria Diniș, Gabriel Nicolae Popa, Angela Iagăr, "On the Use of Low Voltage Power Factor Controller in Textile Industry", ICATE 2016, Craiova, Romania, pag.250-255, October 6-8, 2016.
- [4] K. C. Agrawal, *Electrical Power Engineering - Reference & Applications Handbook*.
- [5] ***-"Power Factor Correction and Harmonic Filtering in Electric Plants", Technical Applications Papers, no.8, ABB, Bergamo, Italy, 2010.
- [6] C. Vlad, Ciprian Balanuță, Gelu Gurguiatu, *Elemente de inginerie electrică*, Îndrumar de laborator, România, 2009
- [7] Elena Helerea, *Îmbunătățirea calității energiei electrice și a eficienței energetice în sisteme electrice de distribuție*, Brasov, România, 2013.
- [8] C-tin.Radoi, P.Svasta, V. Lazarescu, D.Stoichescu, I.Lita, "Aparate, echipamente si instalatii de electronica industrială. Automatizari". Manual pentru liceele industriale si scoli profesionale", Bucuresti, România, 1999.
- [9] S.G. Călin - "Aparate si echipamente electrice", Editura Didactica si Pedagogica, Bucuresti, România, 1986.
- [10] M.Ciobanu, T.Carcu, - "Instalatii electrice. Manual de utilizare", Editura Tehnica, Bucuresti, România, 1975.