

## SCHEMA TRIUNGHI CU REGLARE ÎN TRIUNGHI UTILIZATĂ LA CONTROLUL MĂRIMILOR DE STARE A LINIILOR ELECTRICE

Sveatoslav POSTORONCĂ

Școala Doctorală a Universității Tehnice a Moldovei, Chișinău, Republica Moldova

Autorul corespondent: Sveatoslav Postoroncă, [sveatoslavpostoronca@gmail.com](mailto:sveatoslavpostoronca@gmail.com)

**Rezumat.** *Lucrarea se referă la domeniul rețelelor inteligente (Smart Grid) și este dedicată descrierii unei soluții simple, propuse pentru creșterea nivelului de performanță în funcționarea sistemului electroenergetic prin intermediul reglajului nivelului de tensiune și al unghiului de defazaj în liniile electrice, realizată în forma unei scheme triunghi cu reglare în triunghi. Aceasta reprezintă o variantă topologică din familia transformatoarelor Sen (TS), echipamente moderne de control a mărimilor de stare în liniile electrice, ce fac parte din aria dispozitivelor FACTS (Flexible Alternating Current Transmission Systems), proporțiile de utilizare a cărora cresc rapid, grație dezvoltării electronicii de putere. Scopul descrierii constă în extinderea cunoașterii categoriilor și a tipurilor de dispozitive menționate în materie de avantaje/neaajunsuri pentru a argumenta raționalitatea aplicării în contextul tehnic concret.*

**Cuvinte cheie:** *dispozitive FACTS, nivel de tensiune, reglaj, schemă triunghi, transformator Sen.*

### Introducere

Odată cu creșterea în întreaga lume a cererii de energie și cu extinderea către toate categoriile de consumatori a dezideratului de aprovizionare cu energie sigură, ecologică și accesibilă la preț, contribuția decisivă în soluționarea căreia-i revine formei de energie electrică, a fost și rămâne a fi stringentă necesitatea evoluției acestui sector spre noi trepte de performanță. Sistemul electroenergetic modern trebuie, din punct de vedere tehnic, să fie conform unui set de criterii, ce țin de: capacitate înaltă de transport a energiei; nivel minim de pierderi; reziliență la factorii destabilizatori interni și externi; stabilitate și fiabilitate de funcționare; flexibilitate, posibilitate de digitalizare, reducerea până la excluderea totală a cantităților de emisii poluante în mediu etc. În mulțimea dimensiunilor parcurse în sensul atingerii obiectivului evocat, aria procedeelelor de control al tensiunii, impedanței liniei și al fluxurilor de putere a este un obiect prioritar important pentru rețelele electrice. Direcția de cercetare electronică de putere a oferit ca produs inovativ dispozitive flexibile de reglaj FACTS, introduse în SUA în anii '80 ca soluții tehnice, prin implementarea cărora se realizează controlul indicatorilor menționați, în mod automat, cu mare precizie și operativitate.

În cele două decenii recente, o conotație nouă capătă aceste preocupări în procesul de avansare a conceptului generare distribuită, cu atât mai punctat, dacă include și valorificarea surselor de energie regenerabilă. Condiționat de faptul, că producția distribuită de energie electrică se caracterizează prin utilizarea masivă a surselor de putere instalată mică și raportul dintre energia produsă față de cea consumată este mic, stabilitatea de menținere a indicatorilor de calitate la funcționarea acestor sisteme se va reduce, impact având și intermitența surselor regenerabile, forma tensiunii injectate în sistem, schimbarea sensului fluxurilor de putere, aspecte de sincronizare etc. Menținerea stabilității tensiunii și a frecvenței, ca unii din cei mai importanți indicatori de calitate, sunt provocări serioase, dar și condiții categorice mai greu de realizat în cazurile de racordare în punctele comune de conectare (PCC) a sistemelor energetice locale, ce înglobează în sine surse de generare de diverse tipuri, consumatori obișnuiți și prosumatori, sisteme de stocare etc. Problema, în linii generale, se reduce la controlul fluxurilor de putere reactivă în liniile electrice prin utilizarea dispozitivelor FACTS.

## 1. Date generale privind dispozitivele FACTS

Din punct de vedere al tipului de indicatori de calitate controlați în rețelele electrice, se disting mai multe tipuri de dispozitive FACTS:

- dispozitive pentru controlul tensiunii și al puterii reactive: SVC – *Static Var Compensator* și STATCOM – *Static Synchronous Compensator*;
- dispozitive pentru controlul reactanței longitudinale a liniilor electrice: TCSC – *Thyristor Controlled Series Compensator*;
- dispozitive pentru controlul unghiului de defazare: SSSC – *Static Synchronous Series Compensator*;
- dispozitive pentru controlul fluxurilor de putere și a tensiunii: UPFC – *Unified Power Flow Controller*.

SVC – compensatoare statice de putere reactivă, elementele principale ale cărora sunt: bobinele comandate cu tiristoare (TCR – *Thyristor Controlled Reactor*) și condensatoarele comutate cu tiristoare (TSC – *Thyristor Switched Capacitor*). Respectiv, dispozitivele pot genera putere reactivă atunci, comutând condensatoarele, când tensiunea în rețea este scăzută; iar în cazurile când tensiunea este peste valoarea de referință, sunt comutate bobine, consumând puterea reactivă. Comutarea este deservită de cheile de putere, iar conectarea are loc pentru a controla tensiunea în nodurile rețelei, după cum s-a menționat, prin injectarea și absorbția puterii reactive.

STATCOM – compensatoare sincrone statice, care au la bază: (i) convertorul-sursă de tensiune (VSC – *Voltage Source Converter*); (ii) condensatorul, pentru a asigura tensiunea continuă și (iii) filtrele de armonice. Dispozitivul acționează, de asemenea, pentru a absorbi sau a injecta putere reactivă în nodurile rețelei electrice. Din punct de vedere al eficienței în procedeele tehnice de reglare, acestea au o prioritate importantă din motiv că acționează foarte rapid, neavând inerție mecanică. Arealul controlului indicatorilor de calitate a energiei electrice prin utilizarea STATCOM acoperă: (i) reducerea fluctuațiilor de tensiune, (ii) reglarea și menținerea tensiunii, (iii) controlul factorului de putere, (iv) echilibrarea sarcinilor nesimetrice, (v) atenuarea armonicilor, (vi) intervenție de reducere a riscurilor cauzate de procesele tranzitorii.

TCSC – compensatoare serie comandate cu tiristoare. Impedanța longitudinală la liniile electrice aeriene (LEA) este preponderent de caracter inductiv, componentei rezistenței active revenindu-i doar 5-10%. Prin urmare, se recurge la introducerea impedanțelor capacitive prin conectarea în serie a condensatoarelor cu ajutorul tiristoarelor. Dependente de unghiul de aprindere al tiristoarelor, sunt cunoscute două regimuri de funcționare a dispozitivului: (i) cu tiristoare blocate și (ii) cu tiristoare în conducție permanentă. Se folosește și la amortizarea oscilațiilor de putere.

SSSC – compensatoare sincrone statice serie exercită controlul schimbului de putere și a unghiului de fază într-o LEA. Are la bază funcționării, de asemenea, un convertor-sursă de tensiune pentru a injecta în linie o tensiune, folosind curentul altei linii. Astfel, prin introducerea unei tensiuni capacitive, se reglează căderea de tensiune inductivă. Poate fi utilizat, ca și TCSC, la atenuarea oscilațiilor de putere la frecvențe reduse.

UPFC – controlere unificate de flux de putere este un dispozitiv, comparativ mai sofisticat, și respectiv, mai costisitor, dar este cel mai eficient la controlul impedanței liniei, a tensiunii și a unghiului de fază. Este o combinație a STATCOM și SSSC, ce acționează prin injectarea unei tensiuni de compensare și reglajul unghiului de fază, odată cu reglajul circuitului fluxurilor de putere reactivă. Prin aceasta, modurile de control efectuate în LEA sunt: (i) controlul puterii reactive și (ii) controlul tensiunii [1].

Dacă ne referim la generarea distribuită, cele mai eficiente dispozitive pentru a fi utilizate sunt SSSC și UPFC [2].

Un exemplu aparte în grupul de dispozitive descrise este Transformatorul Sen (TS). TS este un transformator cu funcționare bazată pe electronica de putere, ce oferă rețelei electrice o fiabilitate sporită. Cel mai mare avantaj este, că reglajul tensiunii și a puterii reactive în bobinele sale primare și secundare este decuplat. Prin aceasta, TS la partea de înfășurare primară poate compensa independent puterea reactivă în LEA pentru a menține tensiunea. Pe partea înfășurării secundare, TS

poate identifica sensibilitatea tensiunii și a frecvenței, pentru a și prin aceasta, a controla cererea, oferind servicii de: (i) reducerea fină a sarcinii; (ii) reglajul frecvenței în timp real; (iii) compensarea puterii reactive; (iv) controlul funcționării insularizate a unui sistem electroenergetic [3].

## 2. Dispozitiv în baza schemei triunghi cu reglare în triunghi

Este analizată schema de unui TS cu conectare triunghi a înfășurărilor primare și secundare, reprezentată în Fig.1.

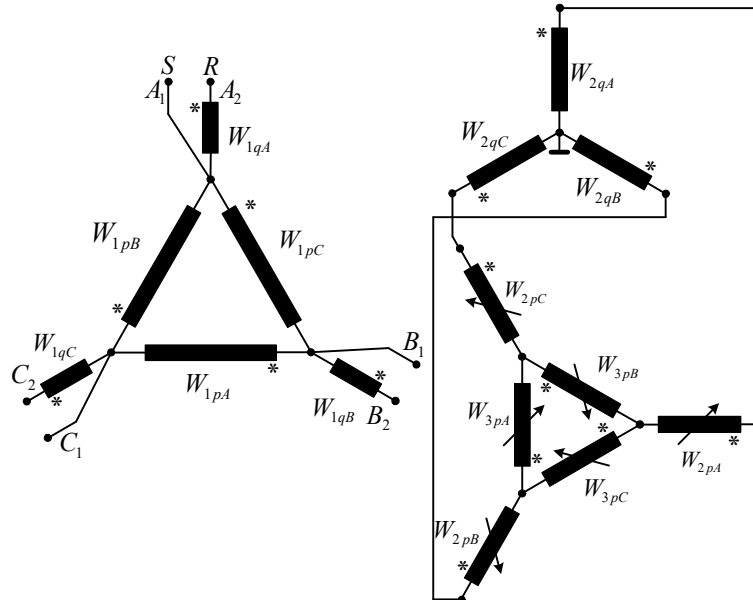


Figura 1. Schema dispozitivului de reglaj realizat în triunghi cu reglare în triunghi

Elementele principale ale dispozitivului sunt două transformatoare cu trei înfășurări de putere, dintre care unul îndeplinește funcțiile de magnetizant (element paralel), funcționarea celui alt este pentru a regla faza (în serie). Indicele „p” marchează înfășurările și mărimile electrice, ce caracterizează modul transformatorului de magnetizare, indicele „q” - înfășurările și mărimile electrice ale transformatorului cu defazaj. Valorile electrice de intrare sunt etichetate cu sufixul "s", iar mărimile electrice de ieșire sunt indicate cu indicii "r". Înfășurările  $W_{2p}$ ,  $W_{3p}$  prezintă un modul de reglare, sunt secționate și funcționează conform strategiei prezentate în Fig. 2.

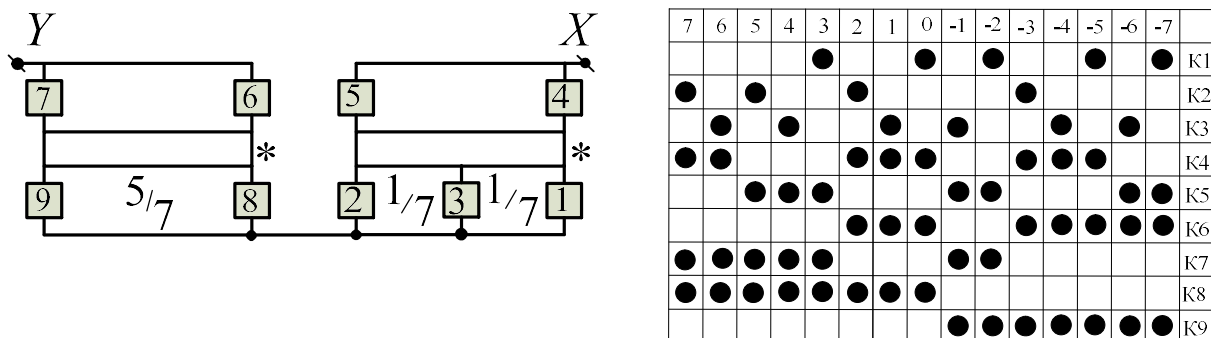


Figura 2. Schema și legea controlului regimului de reglare

Zona de reglare a dispozitivului este formată din 225 de puncte, fiecare dintre ele corespunzând unei anumite combinații de taste incluse și reprezintă un dreptunghi în Fig.3.

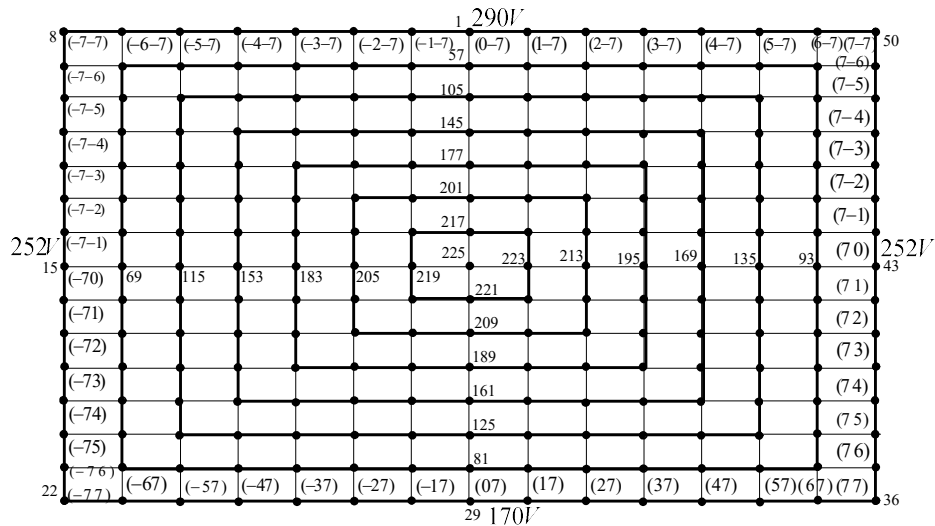


Figura 3. Amplasarea punctelor calculate ale tensiunii de reglare în schema triunghi

Pentru schema descrisă în lucrare au fost efectuate modelări în mediul Matlab/Simulink pentru a obține analiza comparativă în raport cu alte scheme de conectare (stea, poligon, zigzag, etc) referitor la pierderile active și reactive la funcționare în gol și în sarcină. Datele obținute au arătat, că pierderile sunt mai mici la varianta schemei zigzag. Avantajul, însă, constă în aria extinsă a punctelor calculate pentru tensiunile reglate pentru schema zigzag, Fig.4.

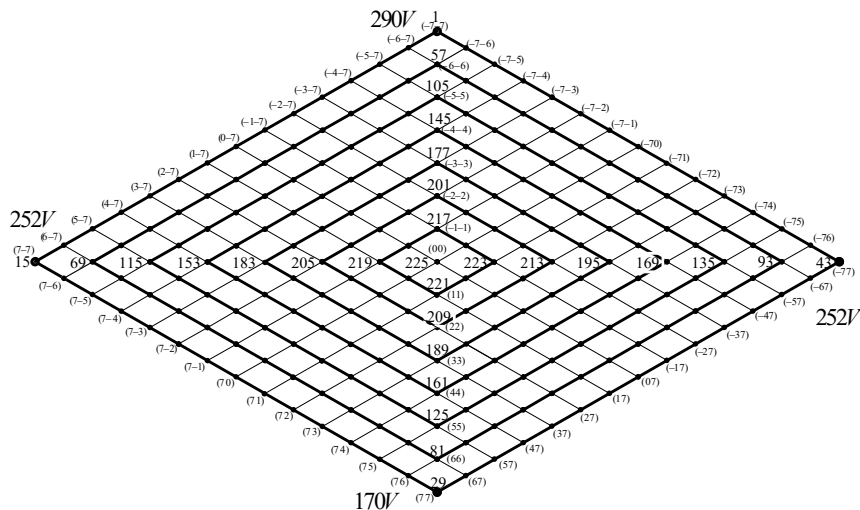


Figura 4. Amplasarea punctelor calculate ale tensiunii de reglare la schema zigzag

### Concluzii

În lucrare a fost analizată schema Transformatorul Sen de conexiune triunghi a înfășurărilor cu reglare în triunghi și pierderile de putere în comparație cu alte scheme.

### Referințe

1. VATRĂ, F., POSTOLACHE, P., POIDA, A. *Calitatea energiei electrice*. București: SIER, 2013.
2. PATEL, S., YADAV, R., JOSHI, D. Impact of FACTS on Distributed Generation System. In: *International Journal on Emerging Technologies*, 2020, 11(2), pp. 633-636.
3. CHEN, J., LIU, M., DE CARNE, G., ZHU, R., LIESERRE, M., MILANO, F., O'DONNELL, T. Impact of Smart transformer Voltage and Frequency Support in a high renewable penetration system. In: *Electric Power Systems Research*. 2021, 190, p. 106836  
<https://doi.org/10.1016/j.epsr.2020.106836>