

# SOLUȚII DE CONVERSIE PENTRU SISTEMELE DE ÎNALTĂ TENSIUNE, CURENT CONTINUU, TIP HVDC

Prof. drd. ing. **Iulian OLEȘ**

Universitatea „POLITEHNICA“ București

**REZUMAT.** Soluțiile de conversie pentru sistemele HVDC se referă la partea de transformator și la partea de redresor respectiv inverter. Prezenta lucrare propune un model de simulare cu ajutorul programului PSIM a unui sistem de redresare cu 12 pulsuri pentru HVDC.

**Cuvinte cheie:** transformator pentru HVDC, redresor și inverter pentru HVDC, programul PSIM.

**ABSTRACT.** Conversion solutions for HVDC networks refers to the transformer part and the rectifier, respectively the inverter part. This research proposes a simulation model for rectifier system with 12 pulses for HVDC using PSIM program.

**Keywords:** HVDC transformer, rectifier and inverter for HVDC, PSIM program.

## 1. INTRODUCERE

Sistemele HVDC (High Voltage Direct Current) reprezintă o alternativă la sistemele clasice de transport a energiei electrice. Un sistem HVDC realizează transformarea și redresarea tensiunilor alternative de înaltă tensiune, realizează transportul energiei în curent continuu, iar la stația finală îl transformă în curent alternativ.

Avantajele sistemelor HVDC se referă la pierderi mai mici de transport, lipsa pierderilor capacitive, posibilitatea ca rețeaua să se execute chiar și în varianta submarină, lipsa cerinței de sincronizare pentru o anumită frecvență și impact mult mai mic asupra mediului.

Sistemele HVDC pot fi realizate la lungimi ce pot atinge chiar și 5000 km. Tensiunile de lucru pot depăși 500 kV sau chiar 800 kV. Din punct de vedere constructiv, liniile de transport ale sistemelor HVDC pot fi aeriene, subterane sau subacvatice.

În ultimii ani a crescut interesul pentru rețelele HVDC, care să servească parcurile eoliene situate în largul mării, ceea ce a impus noi cercetări în domeniu. Tensiunile de lucru pentru aceste sisteme se situează sub valoarea de 320 kV, iar puterea de câteva sute de MW. În prezent, sistemele HVDC cunosc o dezvoltare deosebită, beneficiind de aportul electronicii de foarte mare putere.

## 2. TIPURI DE CONVERTOARE

### 2.1. Convertoare lcc (line-commutated converters)

Aceste convertoare reprezintă varianta clasică utilizată în sistemele HVDC, care este realizată cu ajutorul tiristoarelor atât pe partea de redresor, cât și pe partea de inverter. În figura 1 este prezentată schema soluției LCC de conversie.

### 2.2. Convertoare VSC (Voltage Source Converters)

Soluția VSC de conversie utilizează tranzistoare IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) în locul tiristoarelor, rezultând scheme mult mai puțin complexe, mai puțin costisitoare și mai puțin voluminoase. În figura 2 este prezentată schema unui sistem VSC.

## 3. SOLUȚII DE TRANSFORMARE ÎN SISTEMELE HVDC

Sistemele HVDC pot să transfere puteri de mii de MW la tensiuni de 500 kV sau 800 kV. La asemenea parametri rezultă transformatoare agabaritice cu o masă de câteva sute de tone, care creează mari dificultăți la transport.

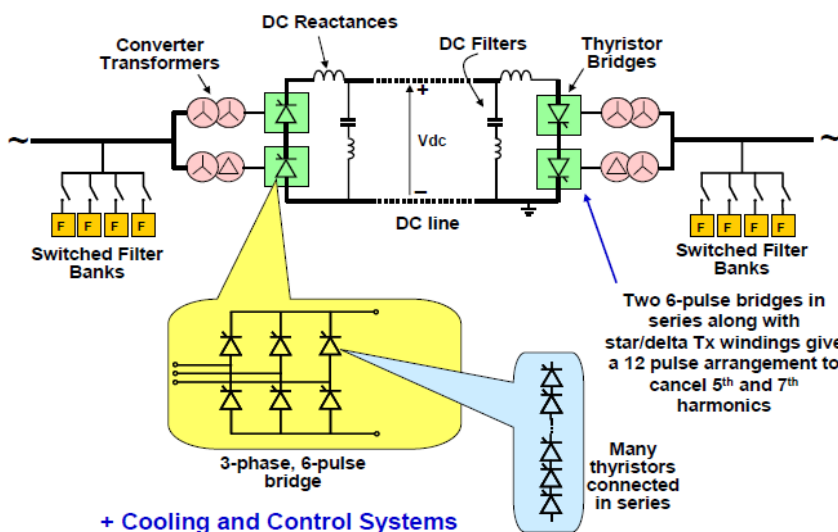
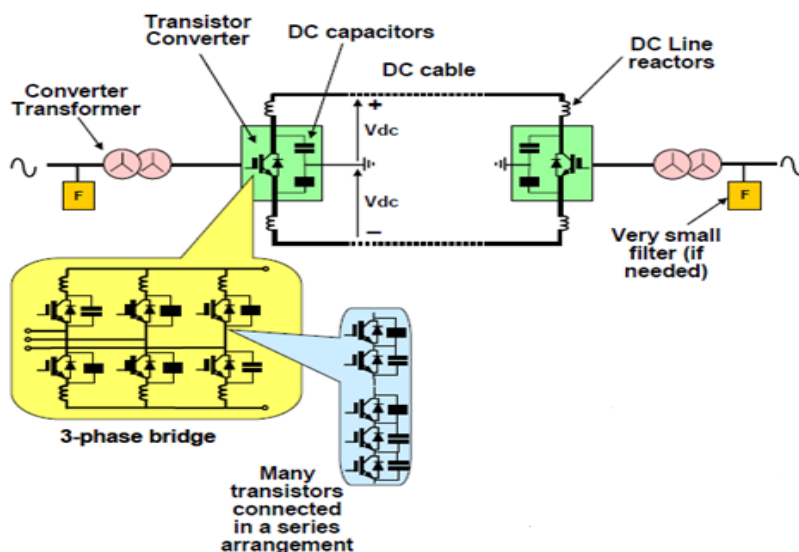


Fig. 1. Schema sistemului clasic HVDC LCC [1].

Fig. 2. Schema sistemului HVDC VSC [1].



În prezent, există deja câteva soluții de transformatoare care pot fi alese în funcție de specificul locului de instalare.

pentru a realiza divizarea masei transformatorului în două părți, pentru a putea fi mai ușor transportate. În figura 4 este prezentată schema acestei variante.

### 3.1. Transformator trifazat cu câte trei bobine pe fază

Această variantă este prezentată în figura 3 și poate realiza alimentarea combinată stea-triunghi a unui redresor cu 12 pulsuri.

În figură se observă bobinele aferente celor două părți ale redresorului. Aceste două părți reprezintă redresoare trifazate cu 6 pulsuri, conectate în serie.

### 3.3. Varianta cu trei transformatoare cu câte trei bobine fiecare

Varianta cu trei transformatoare cu câte trei bobine fiecare este aleasă pentru condiții și mai grele de transport și amplasare, transformatorul de bază fiind în trei elemente distincte.

În figura 5 este prezentată schema variantei cu trei transformatoare.

### 3.2. Varianta cu două transformatoare trifazate cu câte două bobine pe fază

Varianta cu două transformatoare trifazate cu câte două bobine pe fază este utilizată în special

### 3.4. Varianta cu șase transformatoare cu câte două bobine pe fiecare transformator

Varianta cu șase transformatoare cu câte două bobine pe fiecare transformator este aleasă pentru

## SOLUȚII DE CONVERSIE PENTRU SISTEMELE DE ÎNALTĂ TENSIUNE TIP HVDC

condițiile cele mai dificile de amplasare și transport. Unitatea de bază a transformatorului este segmentată în șase elemente distincte, practic șase trans-

formatoare care pot realiza aceeași funcție ca și transformatorul de bază. Schema acestei variante este prezentată în figura 6.

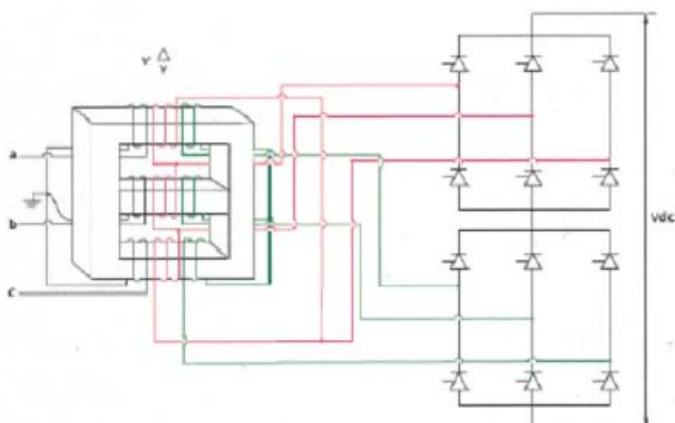


Fig. 3. Transformator trifazat cu câte trei bobine pe fază [2].

Fig. 4. Sistem cu două transformatoare trifazate [2].

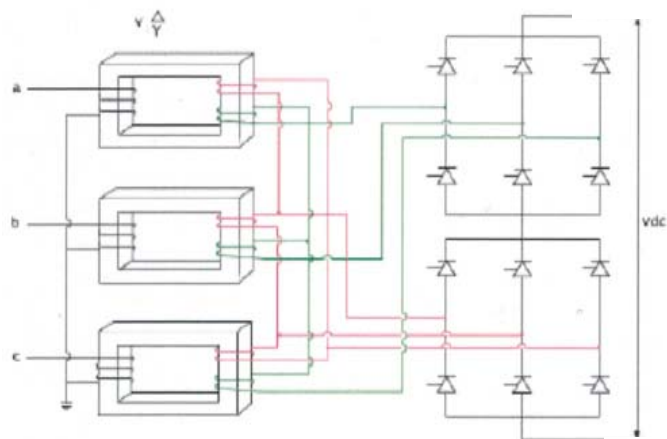
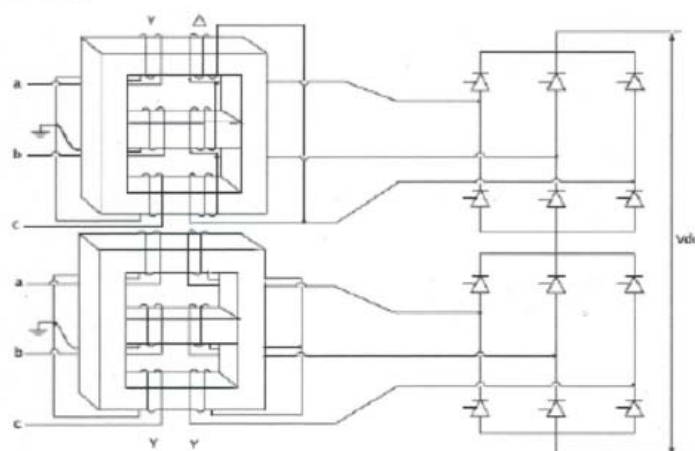
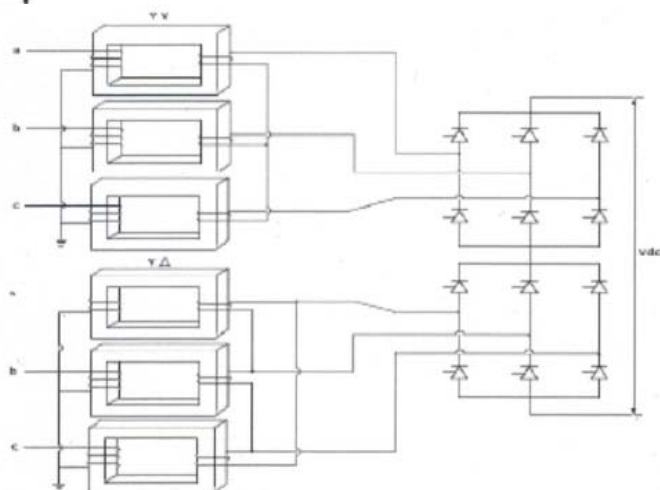


Fig. 5. Sistem cu trei transformatoare [2].

Fig. 6. Sistem cu șase transformatoare [2].



#### 4. TIPURI DE REDRESOARE ȘI INVERTOARE

##### 4.1. Redresor trifazat în punte cu tiristoare

Este prezentat în figura 7.

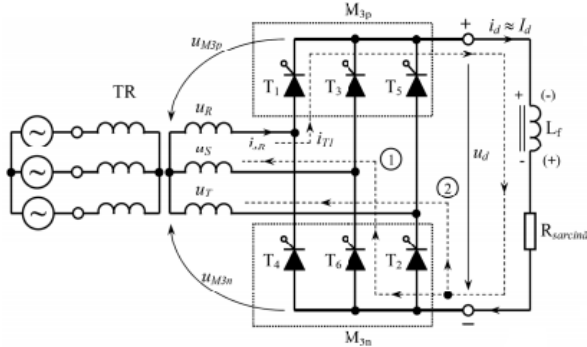


Fig. 7. Redresor trifazat în punte cu tiristoare [3].

##### 4.2. Redresor trifazat în punte cu IGBT

Este prezentat în figura 8.

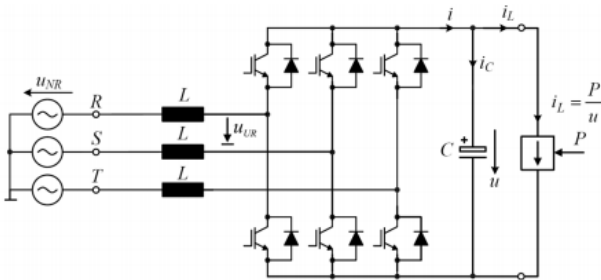


Fig. 8. Redresor trifazat cu IGBT [4].

##### 4.3. Invertor trifazat în punte cu tiristoare

Este prezentat în figura 9.

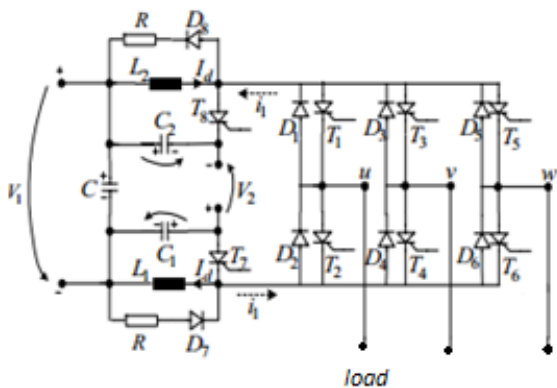


Fig. 9. Invertor trifazat cu tiristoare [5].

##### 4.4. Invertor trifazat în punte cu IGBT

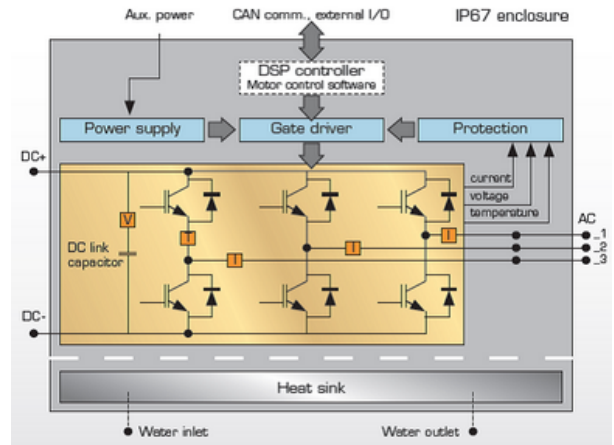


Fig. 10. Invertor trifazat cu IGBT [6].

#### 5. MODEL DE SIMULARE CU AJUTORUL PROGRAMULUI PSIM A REDRESORULUI CU 12 PULSURI REALIZAT CU TIRISTOARE

Redresorul cu 12 pulsuri este realizat prin alimentarea combinată stea-triunghi a două redresoare trifazate în punte, conectate în serie.

Modelul de simulare realizat conține următoarele părți componente principale: transformatoarele de alimentare trifazate cu ieșirile în stea respectiv în triunghi, conexiune utilizată pentru limitarea armonicilor.

Fiecare ieșire alimentează câte o punte redresoare trifazată cu 6 pulsuri, ambele formând un sistem de redresare cu 12 pulsuri.

Partea de comandă pe grilă este compusă dintr-un bloc senzor, un bloc de sincronizare realizat dintr-un filtru trece jos și un comparator. Pentru fiecare punte redresoare există câte un formator de impulsuri, care se află în conexiune cu sursele pentru reglajul fazei și un sumator.

Formele de undă rezultate sunt asigurate cu ajutorul voltmetrelor  $V_{sim1}$ ,  $V_{sim2}$ ,  $V_{sim3}$ ,  $V_{d1}$ ,  $V_{d2}$  și  $V_d$ , iar tensiunea rețelei este de 500 kV. Formele de undă rezultate în urma simulării sunt prezentate în figura 12.

Semnalele de comandă ale tiristoarelor pe grilă sunt prezentate în figura 13.

#### 6. CONCLUZII

Soluțiile de conversie pentru HVDC reprezintă baza în funcționarea acestor sisteme. Soluțiile existente încearcă să optimizeze construcția și

## SOLUȚII DE CONVERSIE PENTRU SISTEMELE DE ÎNALTĂ TENSIUNE TIP HVDC

fiabilitatea sistemelor. Alimentarea combinată stea-triunghi pentru care s-a aplicat simularea realizează de fapt un unghi de defazare de  $30^\circ$ , cu rolul de a

elimina armonicile de grad 5 și 7. Electronica de foarte mare putere a contribuit mult la perfecționarea sistemelor HVDC.

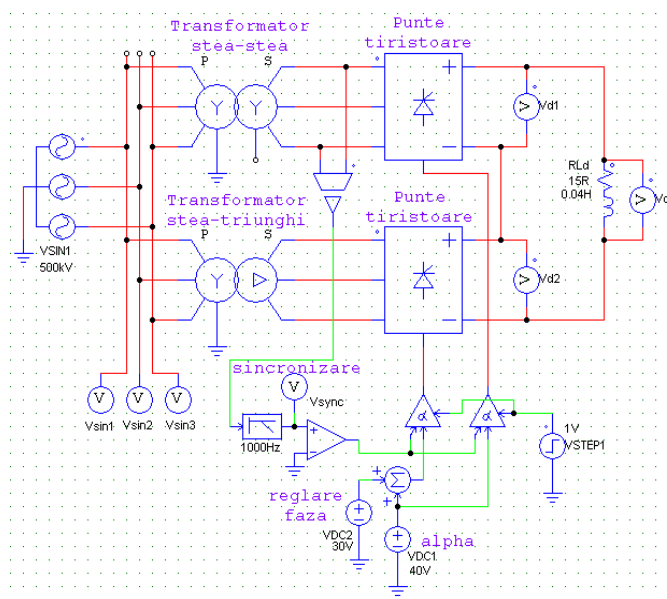


Fig. 11. Model de simulare pentru redresorul cu 12 pulsuri.

Fig. 12. Formele de undă rezultate în urma simulării.

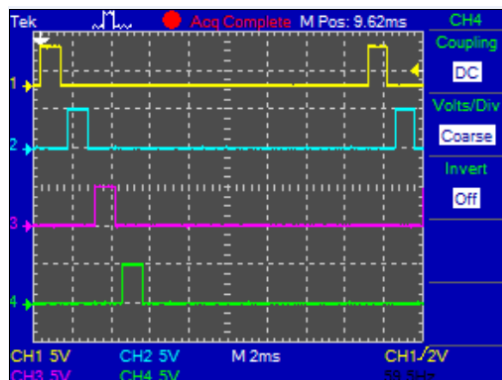
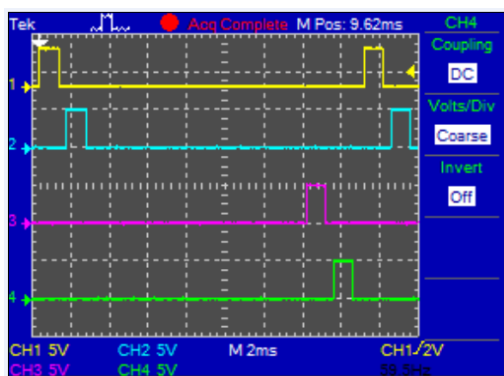
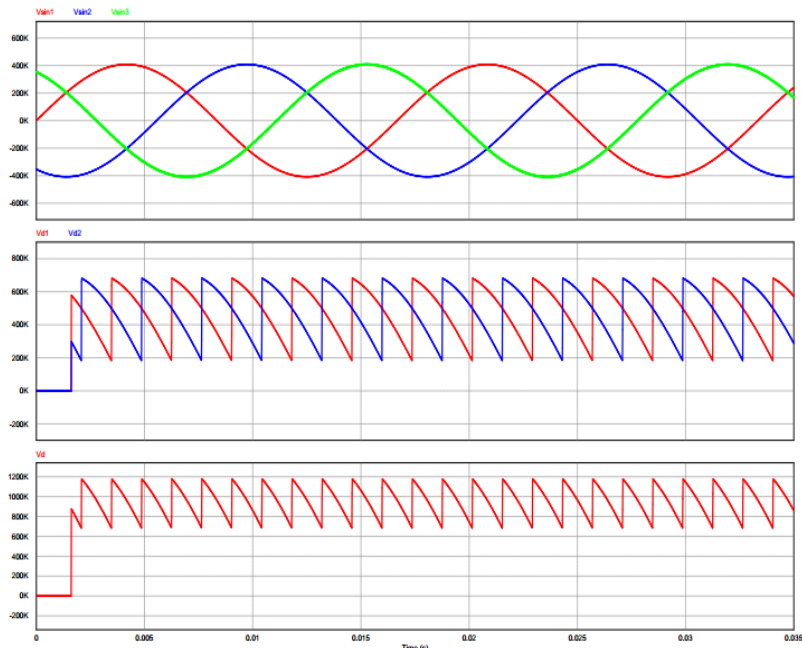


Fig. 13. Semnale de comandă (captură de pe osciloscop).

Perfecționarea tiristoarelor cu tensiuni de peste 8 kV și curenți de peste 3 kA, cu diametre cuprinse între 120 mm și 170 mm au dus la realizarea unor secțiuni tipizate sau modulate, special construite pentru anumite tipuri de aplicații. Pentru realizarea parametrilor proiectați se poate ajunge și la înserierea a 100 de tiristoare cu menținerea unei marje de siguranță de 20 %. Sistemele HVDC au adus schimbări importante pe piața componentelor electronice, determinând echipamente strict specializate. Toate aceste echipamente necesită un important efort de proiectare și standardizare, pentru a se obține interschimbabilitatea produselor realizate de diverși producători. Competiția în acest domeniu determină un efort uriaș de cercetare.

Este posibil ca în viitorul apropiat în România să se realizeze primul sistem HVDC Constanța-Istanbul, fapt care va solicita și o pregătire corespunzătoare a specialiștilor români.

## BIBLIOGRAFIE

- [1] Alberta Energy Canada, *Assessment and Analysis of the State-of-the-Art Electric Transmission Systems with Specific Focus on HVDC, Underground or Other New or Developing Technologies*, Stantec 2009.
- [2] Mohamed H.Okba, *High Voltage Direct Current Transmission – A Review*, Part II – Converter Technologies.
- [3] [www.euedia.tuiasi.ro/](http://www.euedia.tuiasi.ro/), Redresorul trifazat în punte, site accesat la: 6.12.2014.
- [4] [http://www.pes.ee.ethz.ch/uploads/tx\\_ethstudies/PES\\_II\\_RC4.pdf](http://www.pes.ee.ethz.ch/uploads/tx_ethstudies/PES_II_RC4.pdf), site accesat la: 9.12.2014.
- [5] <http://ep.etc.tuiasi.ro/site/Electronica%20Industriala/referate%20laborator/Referat%20INV%20TRIF%20%20TIRISTOARE.pdf>, site accesat la: 2.12.2014.
- [6] <http://www.semikron.com/applications/utility-vehicles/application-examples.html>, site accesat la 7.12.2014.
- [7] [www.powersimtech.com/PSIM/](http://www.powersimtech.com/PSIM/), site accesat la: 2.12.2014.