

Mihăiță Lincă

Constantin Vlad Suru

**Îndrumar de proiectare
Convertoare statice 2**



ROMÂNIA
MINISTERUL EDUCAȚIEI, CERCETĂRII, TINERETULUI ȘI
SPORTULUI
UNIVERSITATEA DIN CRAIOVA



Facultatea de Inginerie Electrică



Îndrumar de proiectare

Convertoare statice 2

Șl. dr. ing. Mihăiță LINCĂ

As. dr. ing. Constantin Vlad SURU



EDITURA UNIVERSITARIA
Craiova, 2014

Referenți științifici:

Prof. univ. dr. ing. Sergiu Ivanov

Prof. univ. dr. ing. Mihaela Popescu

Copyright © 2014 Universitaria

Toate drepturile sunt rezervate Editurii Universitaria

Descrierea CIP a Bibliotecii Naționale a României

LINCĂ, MIHĂIȚĂ

Îndrumar de proiectare : convertoare statice / Mihăiță Lincă,
Constantin Vlad Suru. - Craiova : Universitaria, 2014-
2 vol.

ISBN 978-606-14-0814-6

Vol. 2. - 2014. - ISBN 978-606-14-0826-9

I. Suru, Constantin Vlad

621.314.5(075.8)

1. ALEGEREA ȘI VERIFICAREA ELEMENTELOR SEMICONDUCTOARE DE PUTERE

1.1 Calculul mărimilor caracteristice

Pentru a se putea alege elementele semiconductoare de putere, într-o primă fază trebuie calculate mărimile caracteristice ale acestora, mărimi ce depind de convertorul static în care elementele semiconductoare de comutație vor lucra. Aceste mărimi sunt dependente de tipul convertorului static, de valorile nominale ale tensiunii și curentului de sarcină, precum și de gama de reglaj și sunt date prin tema de proiectare.

1.1.1 Variator de tensiune continuă coborâtor:

Schema de principiu a variatorului de tensiune continuă este ilustrată în Fig. 1.1, unde:

- U_o - tensiunea continuă de intrare;
- T_c - tranzistorul comutator;
- D_n - dioda de nul;
- L_f - bobina de filtraaj;
- S - sarcina.

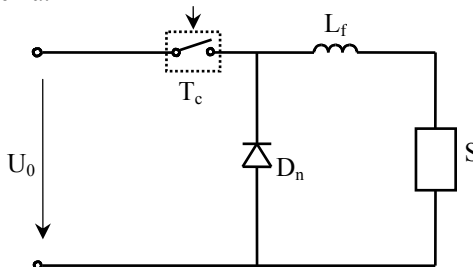


Fig. 1.1 Schema de forță a variatorului de tensiune continuă

Variatorul de tensiune continuă transformă energia de c.c. tot în energie de c.c., căreia i se poate modifica, prin comandă, valoarea medie a tensiunii. Principiul acestuia de funcționare constă în alimentarea sarcinii cu

trenuri de impulsuri de tensiune de amplitudine constantă U_0 și durată reglabilă. Frecvența tensiunii de ieșire este în mod tipic constantă, iar expresia valorii medii a acesteia este:

$$U_d = \varepsilon \cdot U_0 \quad (2.1)$$

unde:

- ε - factorul de comandă (semnal):

$$\varepsilon = \frac{t_1}{T} \quad (2.2)$$

- t_1 - durata de conducție a tranzistorului comutator;
- T - perioada de comandă a tranzistorului.

O temă tipică poate impune următorii parametrii:

- Valoarea medie nominală a curentului de sarcină (I_{dN});
- Valoarea medie nominală a tensiunii sarcinii (U_{dN});
- domeniul de reglaj al tensiunii $u \in [U_{d\min}, U_{dN}]$

Dependente de cele de mai sus, mărimile specifice variatorului de tensiune continuă, sunt [1]:

- Din motive de efectuare a comutației, valoarea maximă a factorului de umplere nu poate fi egală cu 1, ci mai mică ($\varepsilon_{\max}$, pentru care tensiunea de la ieșirea variatorului este egală cu U_{dN});
- tensiunea maximă ce solicită tranzistorul în sens direct, în stare de blocare. Aceasta este chiar tensiunea continuă de la intrarea variatorului de tensiune continuă [1]:

$$U_b = U_0 \quad (2.3)$$

Unde, U_0 se calculează în funcție de tensiunea nominală a sarcinii și factorul maxim de comandă impus prin tema de proiectare:

$$U_0 = \frac{(1,05 \dots 1,1) \cdot U_{dN}}{\varepsilon_{\max}} \quad (2.4)$$

Majorarea cu 5% - 10% a tensiunii nominale ține cont de căderile de tensiune pe elementele semiconductoare aflate în conducție, pe conductoarele de legătură, pe bobinele de filtrare, etc.

Valoarea medie nominală a curentului prin tranzistorul comutator:

$$I_{TAVN} = \varepsilon_{\max} \cdot I_{dN} \quad (2.5)$$

Valoarea medie nominală a curentului prin dioda de nul:

$$I_{FAVN} = (1 - \varepsilon_{\min}) \cdot I_{dN} \quad (2.6)$$

Unde:

ε - factorul de comandă (umplere) al VTC.

1.1.2 Invertor de tensiune monofazat, în punte

Schema de principiu a invertorului de tensiune monofazat, în punte, este ilustrată în Fig. 1.2, unde:

- U_d - tensiunea continuă de intrare (din circuitul intermediar);
- T_1, T_2 - tranzistoare de pe diagonala pozitivă;
- T_3, T_4 - tranzistoare de pe diagonala negativă;
- $D_1 \dots D_4$ - diode antiparalele;
- S - sarcina.

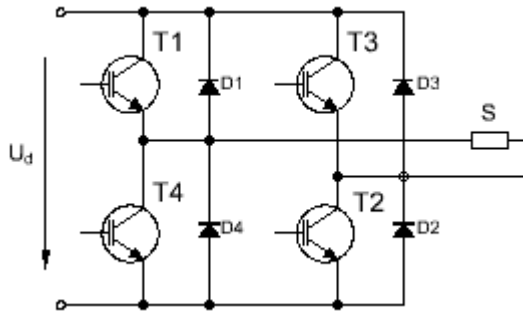


Fig. 1.2 Schema de forță a inverterului monofazat în punte

Elementele semiconductoare ale celor două laturi vor fi comandate în opoziție, iar în funcție de strategia de modulare, pe durata a π radiani vor conduce în comutație doar elementele unei diagonale, sau în contratimp ambele diagonale.

Tensiunea la bornele sarcinii este

$$u_0 = \begin{cases} U_d & \text{pentru } T_1, T_4 \text{ închise} \\ -U_d & \text{pentru } T_2, T_3 \text{ închise} \\ 0 & \text{pentru alte cazuri} \end{cases} \quad (2.7)$$

Tensiunea la ieșirea inverterului va fi astfel compusă dintr-o succesiune de impulsuri dreptunghiulare, de amplitudine U_d și $-U_d$.

Valorile ce se impun prin tema de proiectare, pentru inverterul monofazat, considerând ca strategie de comandă a acestuia, modulația în frecvență [2], sunt:

- Valoarea efectivă nominală a curentului de sarcină (I_N);
- Valoarea efectivă nominală a tensiunii sarcinii (U_N);
- frecvența nominală a sarcinii (f_N);
- numărul de impulsuri într-o semiperioadă a tensiunii de ieșire (n);
- durata unui impuls:

$$t_0 = \frac{1}{2 \cdot f_N \cdot n} \cdot 0.75$$

Dependente de cele de mai sus, mărimile specifice inverterului monofazat, sunt [1][2]:

- tensiunea maximă ce solicită tranzistorul în sens direct, în stare de blocare. Aceasta este egală cu tensiunea continuă din circuitul intermediar al inverterului:

$$U_b = U_d, \quad (2.8)$$

unde, U_d se calculează în funcție de tensiunea efectivă nominală a sarcinii și de frecvența nominală, impuse prin tema de proiectare:

$$U_{dN} = \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot \frac{U_N}{\sqrt{f_N}} \cdot \frac{1}{\sqrt{n \cdot t_0}} \quad (1.9)$$

- Valoarea medie nominală a curentului prin tranzistorul comutator - se calculează considerând curentul prin sarcină de formă sinusoidală și în fază cu tensiunea (cazul cel mai defavorabil):

$$I_{TAVN} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} \sqrt{2} \cdot I_N \cdot \sin(\omega t) \cdot d\omega t = \frac{\sqrt{2}}{\pi} \cdot I_N \quad (1.10)$$

- Valoarea medie nominală a curentului prin dioda antiparalel - se calculează în funcție de defazajul maxim între tensiunea și curentul de la ieșirea inverterului ($\varphi_{\max}$):

$$I_{FAVN} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\varphi_{\max}} \sqrt{2} \cdot I_N \cdot \sin(\omega t) \cdot d\omega t = \frac{1 - \cos(\varphi_{\max})}{\pi\sqrt{2}} \cdot I_N \quad (1.11)$$

Dacă sarcina este un motor asincron, ce poate să lucreze și în regim de frână cu recuperare, $\varphi_{\max}$ poate fi mai mare decât $\frac{\pi}{2}$ (pentru sarcină pur inductivă). În practică, se consideră acoperitoare o valoare $\varphi_{\max} = \frac{2\pi}{3}$.

1.1.3 Inverter de tensiune trifazat, în punte

Schema de principiu a inverterului de tensiune trifazat, în punte, este ilustrată în Fig. 1.3, unde:

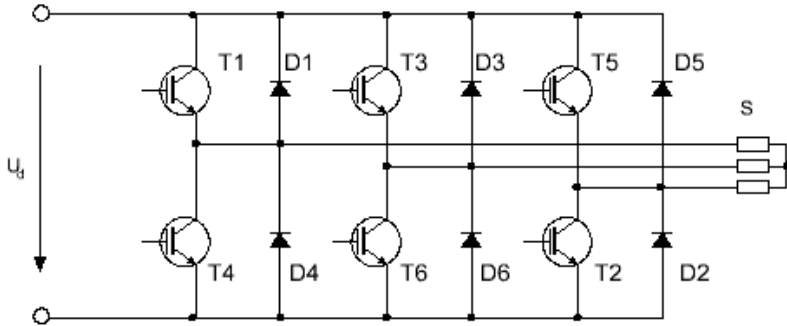


Fig. 1.3 Schema de forță a inverterului trifazat în punte

- U_d - tensiunea continuă de intrare (din circuitul intermediar);
- T_1, T_3, T_5 - tranzistoarele de pe partea pozitivă a inverterului;
- T_4, T_6, T_2 - tranzistoarele de pe partea negativă a inverterului;
- D_1, D_3, D_5 - diodele de pe partea pozitivă a inverterului;
- D_4, D_6, D_2 - diodele de pe partea negativă a inverterului;
- S - sarcina.

Pentru obținerea unui sistem de tensiuni, trifazat simetric, momentele comenzii elementelor $T_1 - T_6$ sunt defazate cu $\frac{\pi}{3}$ radiani și se distribuie succesiv elementelor de pe părțile P și N ale inverterului, de pe faze diferite. Sunt posibile două succesiuni de comandă: în ordinea numerotării elementelor, rezultând la ieșirea inverterului un sistem trifazat de succesiune directă sau, în ordinea inversă numerotării ($T_1-T_6-T_5-T_4-T_3-T_2$), care determină obținerea la ieșirea inverterului, a unui sistem trifazat de tensiuni, de succesiune inversă. Trebuie subliniat faptul că, pentru modulația în frecvență, fiecare tranzistor va fi comandat cu un tren de impulsuri de durată π radiani, ce conține un număr constant de impulsuri de durată constantă. Trenul de impulsuri de comandă pentru fiecare tranzistor va fi defazat cu $\frac{\pi}{3}$ radiani față de trenul de impulsuri destinat tranzistorului anterior.

În general, tensiunea de linie este nulă pe intervalele când sunt închise elementele de pe aceeași parte, de pe fazele respective, și este $\pm U_d$ pe intervalele când sunt închise elemente ale fazelor respective, dar de pe părți diferite.

Valorile ce se impun prin tema de proiectare, pentru inverterul trifazat, considerând ca strategie de comandă a acestuia, modulația în frecvență [2], sunt:

- Valoarea efectivă nominală a curentului de sarcină (I_N);
- Valoarea efectivă nominală a tensiunii sarcinii (U_N);
- frecvența nominală a sarcinii (f_N);
- numărul de impulsuri într-o semiperioadă a tensiunii de ieșire (n)
- durata unui impuls:

$$t_0 = \frac{1}{2 \cdot f_N \cdot n} \cdot 0.75 \quad (1.12)$$

Dependente de cele de mai sus, mărimile specifice inverterului trifazat, sunt [1][2]:

- tensiunea maximă ce solicită tranzistorul în sens direct, în stare de blocare. Aceasta este egală cu tensiunea continuă din circuitul intermediar al inverterului:

$$U_b = U_d \quad (1.13)$$

Unde, U_d se calculează în funcție de tensiunea efectivă nominală a sarcinii și de frecvența nominală, impuse prin tema de proiectare:

$$U_{dN} = \frac{3}{2} \cdot \frac{U_N}{\sqrt{f_N}} \cdot \frac{1}{\sqrt{n \cdot t_0}} \quad (1.14)$$

- Valoarea medie nominală a curentului prin tranzistorul comutator - se calculează considerând curentul prin sarcină de formă sinusoidală și în fază cu tensiunea (cazul cel mai defavorabil):

$$I_{TAVN} = \frac{1}{2\pi} \int_0^\pi \sqrt{2} \cdot I_N \cdot \sin(\omega t) \cdot d\omega t = \frac{\sqrt{2}}{\pi} \cdot I_N \quad (1.15)$$