

**UNIVERSITATEA TEHNICA
SARMASAG**

**ANUL UNIVERSITAR
2002-2003**

FACULTATEA DE
ELECTROTEHNICA

**PROIECT LA DISCIPLINA
CONVERTOARE ELECTRICE DE PUTERE**

CUPRINS

TEMA DE PROIECT

CAPITOLUL 1

CALCULUL SARCINII-MAȘINA DE C.C. CU EXCITAȚIE SEPARATĂ.

- 1.1 Generalități despre tipul motorului MCC.
- 1.2 Calculul parametrilor mașinii (date de catalog).
- 1.3 Calculul datelor principale ale indusului.
- 1.4 Calculul datelor principale ale excitației.
- 1.5 Calculul caracteristicilor mecanice.

.

CAPITOLUL 2.

CALCULUL CONVERTORULUI CU COMUTAȚIE FORȚATĂ.

- 2.1 Schema desfășurată de forța a redresorului din indus.
- 2.2 Calculul rezistențelor suplimentare și a tensiunii de scurtcircuit a transformatorului.
- 2.3 Alegerea tiristoarelor și diodelor.
- 2.4 Calculul parametrilor de conducție a dispozitivelor semiconductoare.
- 2.5 Calculul tensiunii ideale maxime redresate și a unghiului de comandă ideal.
- 2.6 Verificarea tensiunii inverse maxime pe dispozitivele semiconductoare.
- 2.7 Calculul datelor transformatorului.
- 2.8 Calculul protecției tiristoarelor și diodelor convertorului.
- 2.9 Calculul comutației și a unghiului maxim de comandă, verificarea timpului de revenire.
- 2.10 Caracteristicile externe de comandă.
- 2.11 Caracteristicile externe.
- 2.12 Calculul bobinelor pentru netezirea curentului de circulație.

CAPITOLUL 3.

CALCULUL CONVERTORULUI CU COMUTAȚIE FORȚATĂ.

- 3.1 Schema desfășurată de forță a variatorului de tensiune continuă.
- 3.2 Calculul rezistențelor suplimentare.
- 3.3 Alegerea tiristoarelor principale și a diodelor de fuga.
- 3.4 Calculul parametrilor dispozitivelor semiconductoare.
- 3.5 Schema echivalentă în c.c. Calculul tensiunii ideale a sursei de c.c.
- 3.6 Calculul constantei de timp raportate.

- 3.7 Calculul frecvenței în funcție de inductivitatea bobinei.
- 3.8 Calculul pulsației și limitelor de curent.
- 3.9 Calculul caracteristicilor externe.

CAPITOLUL 4

CALCULUL CHOPPERULUI CU STINGERE DE LA CONDENSATOR.

- 4.1 Schema variantei de chopper.
- 4.2 Descrierea proceselor tranzitorii a chopperului.

CAPITOLUL 5

CALCULUL SISTEMULUI CONVERTOR-MAȘINĂ DE CURENT CONTINUU.

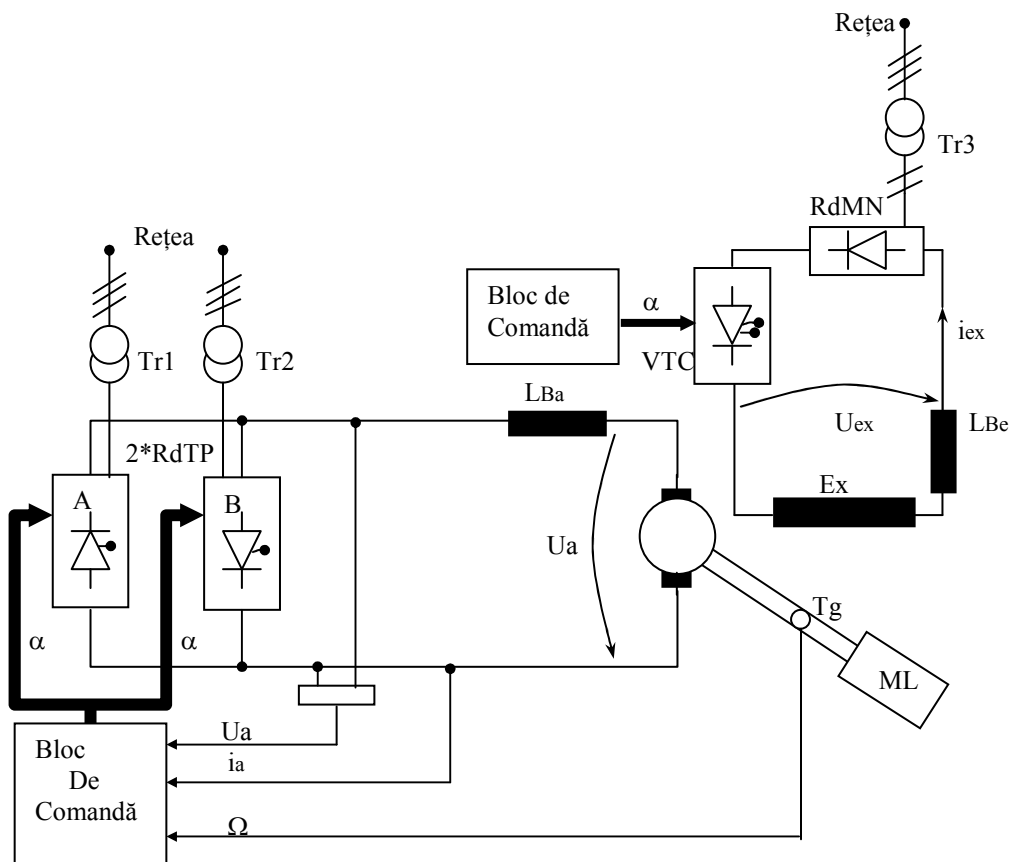
- 5.1 Calculul caracteristicilor mecanice ale sistemului convertor-mașină la flux nominal și slăbit.

TEMA DE PROIECT.

Să se proiecteze alimentarea unei masini de curent continuu cu excitație separată care lucrează în 4 cadrane, având în:

- indus: 2 redresoare trifazate în punte;
- excitație: 1 variator de tensiune (VTC), varianta D;

Introducere (schema bloc a sistemului)



CAPITOLUL 1. **CALCULUL SARCINII-MAȘINA DE C.C. CU EXCITAȚIE SEPARATĂ.**

1.1 Generalități despre tipul de motor M.C.C :

Mașinile de curent continuu din punct de vedere constructiv se compun din:

- a) *Statorul* (inductorul mașinii) fix, cuprinzând o carcasă din fontă, oțel turnat sau tablă de oțel sudată, pe care se fixează polii excitației și parțial servește ca drum de închidere a fluxului magnetic principal. Polii de excitație fixați pe carcasă sunt constituiți din tole de oțel electrotehnic și sunt prevăzuți cu bobinele respective de excitație. Bobinele, conectate în serie sau paralel, sunt alimentate în curent continuu și au sensurile de înfașurare astfel încât polii nord alternează cu polii sud.
- b) *Rotorul* (indusul mașinii) mobil, este confecționat din tole de oțel electrotehnic. Are forma unui cilindru prevăzut cu creștături pe periferia exterioară în care sunt montate conductoarele înfașurării rotorice.
- c) *Colectorul*, un corp cilindric mobil (solidar cu rotorul), format din lamele de cupru, izolate unele de altele. Ele fac legătura cu capetele bobinelor înfașurării rotorice realizând închiderea înfașurării rotorice pe colector. Pe fiecare o serie de perii (în general, din grafit) plasate simetric la periferia colectorului, legate alternativ la cele două borne ale mașinii.

Mașina electrică este o mașină capabilă să transforme puterea mecanică primită la arbore în putere electromagnetică sau, invers, putere electromagnetică în putere mecanică. În primul caz se spune că mașina funcționează în regim de generator electric, iar în cel de-al doilea în regim de motor electric. Mașinile electrice pot funcționa de obicei în oricare din aceste regimuri; se spune că ele sunt reversibile din punct de vedere al conversiei de energie realizate. Mai trebuie remarcat că în unele cazuri mașinile electrice pot funcționa și în regim de frână electrică, primind atât putere electromagnetică cât și putere mecanică și transformându-le în căldură, în același timp cu dezvoltarea dezvoltarea unui cuplu electromagnetic la arbore.

În majoritatea cazurilor, mașinile electrice se realizează ca sisteme cu mișcare rotativă, deși în ultimul timp s-a răspândit și construcția mașinilor cu mișcare liniară sau alternativă (rectilinie sau curbilinie), pentru moment destinat însă unor utilizări speciale. După natura curentului electric ce parcurge înfășurările induse, mașinile electrice se clasifică în mașini de curent continuu și mașini de curent alternativ.

1.2 Calculul parametrilor masinii(date catalog) :

Date initiale :

$$\begin{array}{llll} N_1=2 & k_1 = 1.2 & k_2 = 0.15 & k_3 = 70 \\ N_2 = 2 & k_4 = 2.83 & k_5 = 0.5 & k_6 = 0.092 \\ & k_7 = 0.014 & k_8 = 1.4 & k_9 = 1.4 \end{array}$$

- 1) Tensiunea nominala a indusului:

$$U_{aN} = 380 \quad \text{V}$$

- 2) Inductivitatea indusului , in procente:

$$L_a^{\%} = L_a \cdot \Omega_N \cdot \frac{100}{R_N} = 19 + k_5 \cdot N_2 = 20 \quad \%$$

- 3) Puterea nominala utila (la arbore) in regim de motor :

$$P_N = k_1 \cdot N_2 = 2.4 \cong 2.5 \quad \text{kW}$$

- 4) Randamentul nominal in regim de motor (fara pierderi in excitatie):

$$\eta_N^{\%} = \frac{P_N \cdot 100}{U_{aN} \cdot I_{aN}} = 84 + k_2 \cdot N_2 = 84.3 \quad \%$$

- 5) Turatia nominala :

$$n_N = 20(k_3 + N_2) = 1440 \cong 1500 \quad \text{rot/min}$$

- 6) Turatia maxima raportata :

$$n_{\max}^* = \frac{n_{\max}}{n_N} = k_4 + \frac{N_2}{100} = 2.85 \quad \text{u.r.}$$

$$n_{\max}^* = \Omega_{\max}^*$$

- 7) Puterea nominala a excitatiei:

$$P_{eN} = k_6 \cdot P_N = 0.23 \quad \text{kW}$$

- 8) Constanta de timp a excitatiei :

$$\tau_e = \frac{L_e}{R_e} = 0.35 + k_7 \cdot N_2 = 0.378 \quad \text{ms}$$

9) Tensiunea nominala a excitatiei :

$$U_{eN} = 220 \quad \text{V}$$

10) Fluxul remanent in procente :

$$\Phi_{rem}^{\%} = \frac{100 \cdot \Phi_{rem}}{\Phi_N} = 3 + k_8 \cdot N_2 = 5.6 \quad \%$$

11) Fluxul saturat in procente:

$$\Phi_{sat}^{\%} = \frac{100 \cdot \Phi_{sat}}{\Phi_N} = 131 - N_2 \cdot k_9 = 128.2 \quad \%$$

12) Calculul curentului nominal din indus :

$$I_{aN} = \frac{P_N}{U_{aN} \cdot I_{aN}} = 7.8 \cong 8 \quad \text{A}$$

13) Se recalculeaza :

$$\eta_N = \frac{P_N}{U_{aN} \cdot I_{aN}} = 82.23 \quad \%$$

1.3 Calculul datelor principale a indusului :

1) Rezistenta nominala :

$$R_N = \frac{U_{aN}}{I_{aN}} = 37.5 \quad \Omega$$

2) Viteza unghiulara nominala :

$$\Omega_N = \frac{\pi \cdot n_N}{30} = 157.08 \quad \text{rad/sec}$$

3) Rezistenta circuitului indusului:

-valoarea raportata : $R_a^* = 1 - \sqrt{\frac{P_N}{U_{aN} \cdot I_{aN}}} = 1 - \sqrt{\eta_N} = 0.093$ u.r.

-valoarea procentuala : $R_a^{\%} = 100 \cdot R_a^* = 9.315$ %

-valoarea absoluta : $R_a = R_a^* \cdot R_N = \frac{R_N \cdot R_a^{\%}}{U_{aN}} = 4.75$ Ω

4) Constanta motorului la flux nominal:

$$C_N = k \cdot \Phi_N = \frac{U_{aN} - R_a \cdot I_{aN}}{\Omega_N} = 2.194 \quad \text{Vs}$$

5) Cuplul electromagnetic nominal in regim de motor:

$$M_N = C_N \cdot I_{aN} = 17.55 \quad \text{Nm}$$

6) Cuplul nominal la arbore:

$$M_{arbN} = \frac{P_N}{\Omega_N} = 15.91 \quad \text{Nm}$$

7) Cuplul de mers in gol la viteza nominala:

$$M_0 = M_N - M_{arbN} = 1.7 \quad \text{Nm}$$

8) Curentul de mers in gol la flux nominal:

-valoarea absoluta : $I_{0N} = \frac{M_0}{k \cdot \Phi_N} = 0.74 \quad \text{A}$

-valoarea raportata : $I_{0N}^* = \frac{I_{0N}}{I_{aN}} = 0.093 \quad \text{u.r.}$

-valoarea procentuala : $I_{0N}^{\%} = 100 \cdot I_{0N}^* = 9.315$ %

9) Viteza si turatia maxima :

$$\Omega_{\max} = n_{\max}^* \cdot \Omega_N = 447.67 \quad \text{rad/sec}$$

$$n_{\max} = n_{\max}^* \cdot n_N = 4275 \quad \text{rot/min}$$

10) Inductivitatea circuitului indusului :

$$L_a = \frac{L_a^{\%} \cdot R_N}{100 \cdot \Omega_N} = L_a^* \cdot \frac{R_N}{\Omega_N} = 60 \quad \text{mH}$$

- 11) Constanta de timp a circuitului indusului :

$$\tau_a = 10^3 \cdot \frac{L_a}{R_a} = 13.66 \quad \text{ms}$$

- 12) Formula de verificare :

$$\eta_N = \frac{P_N}{U_{aN} \cdot I_{aN}} = 84.3 \quad \%$$

$$\eta_N = (1 - R_a^*) \cdot (1 - I_{0N}^*) = 0.832 \quad \%$$

Comparand cele doua randamente observam ca calculele efectuate pana acum sunt corecte .

1.4 Calculul datelor principale ale excitatiei :

- 1) Date initiale

$$P_{eN} = 0.23 \quad \text{kW} \quad \text{-puterea nominala a excitatiei}$$

$$U_{eN} = 220 \quad \text{V} \quad \text{-tensiunea nominala a excitatiei}$$

$$\tau_e = 0.378 \quad \text{ms} \quad \text{-constanta de timp}$$

- 2) Date calculate

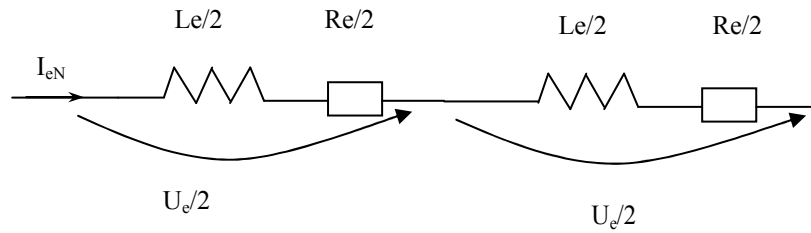
$$I_{eN} = \frac{P_{eN}}{U_{eN}} = 1.045 \quad \text{A} \quad \text{-curentul nominal}$$

$$R_e = \frac{U_{eN}^2}{P_{eN}} = 210.435 \quad \Omega \quad \text{-rezistenta totala (echivalenta)}$$

$$L_e = \tau_e \cdot R_e = 79.54 \quad \text{mH} \quad \text{- inductivitatea totala (echivalenta)}$$

- 3) Datele unei infasurari de excitatie :

Schema echivalenta de conaxiune a celor doua infasurari de excitatie :



-puterea : $P_e^{1,2} = \frac{P_{eN}}{2} = 115 \quad \text{W}$

-tensiunea : $U_e^{1,2} = U_{eN} / 2 = 110 \quad \text{V}$

-curentul : $I_e^{1,2} = I_{eN} = 1.045 \quad \text{A}$

-rezistenta : $R_e^{1,2} = R_e / 2 = 105.217 \quad \Omega$

-inductivitatea : $L_e^{1,2} = L_e / 2 = 39.77 \quad \text{mH}$

1.5 Calculul caracteristicilor mecanice:

1) Calculul curbei de magnetizare:

-date initiale : $\Phi_{rem}^* = \frac{\Phi_{rem}^{\%}}{100} = 0.056 \quad \text{u.r.}$

$$\Phi_{sat}^* = \frac{\Phi_{sat}^{\%}}{100} = 1.282 \quad \text{u.r.}$$

$$k \cdot \Phi_N = C_N = 2.194 \quad \text{Vs}$$

$$n_{max}^* = \Omega_{max}^* = 2.85 \quad \text{u.r.}$$

-date calculate :

fluxul minim cu care se realizeaza viteza maxima la curent nominal al indusului :

$$\Phi_m^* = (n_{max}^*)^{-1} = 0.35 \quad \text{u.r.}$$

$$k \cdot \Phi_m = \Phi_m^* \cdot k \cdot \Phi_N = 0.76 \quad \text{Vs}$$

fluxul maxim Φ_M^* va rezulta din limita de comanda a convertorului in functie de I_{eN}^* (comanda excitatiei) ;

curentul de excitatie I_{em}^* se calculeaza din expresia analitica a curbei de magnetizare in functie de Φ_m^* .

Formule de raportare :

$$\Phi^* = \frac{k \cdot \Phi}{k \cdot \Phi_N} = \frac{\Phi}{\Phi_N}$$

$$I_e^* = \frac{I_e}{I_{eN}} \qquad k \cdot \Phi = \Phi^* \cdot k \cdot \Phi_N$$

Expresia analitica a curbei de magnetizare :

Metoda a :

$$\Phi^* = f_{1a}(I_e^*) = \Phi_{rem}^* + (\Phi_{sat}^* - \Phi_{rem}^*) \cdot th(A \cdot I_e^*)$$

$$I_e^* = f_{2a}(\Phi^*) = (2 \cdot A)^{-1} \cdot \ln \frac{\Phi_{sat}^* - 2 \cdot \Phi_{rem}^* + \Phi^*}{\Phi_{sat}^* - \Phi^*}$$

unde :

$$A = 0.5 \cdot \ln \frac{\Phi_{sat}^* - 2 \cdot \Phi_{rem}^* + 1}{\Phi_{sat}^* - 1}$$

$$A = 1.02$$

Se foloseste formula : $th(x) = \frac{y-2}{y}$; $y = e^{2x} + 1$

Metoda b :

$$\Phi^* = f_{1b}(I_e) = \Phi_{rem}^* + \frac{(\Phi_{sat}^* - \Phi_{rem}^*) \cdot (1 - \Phi_{rem}^*) \cdot I_e^*}{(\Phi_{sat}^* - 1) + (1 - \Phi_{rem}^*) \cdot I_e^*}$$

$$I_e^* = f_{2b}(\Phi^*) = \frac{(\Phi_{sat}^* - 1) \cdot (\Phi^* - \Phi_{rem}^*)}{(1 - \Phi_{rem}^*) \cdot (\Phi_{sat}^* - \Phi^*)}$$

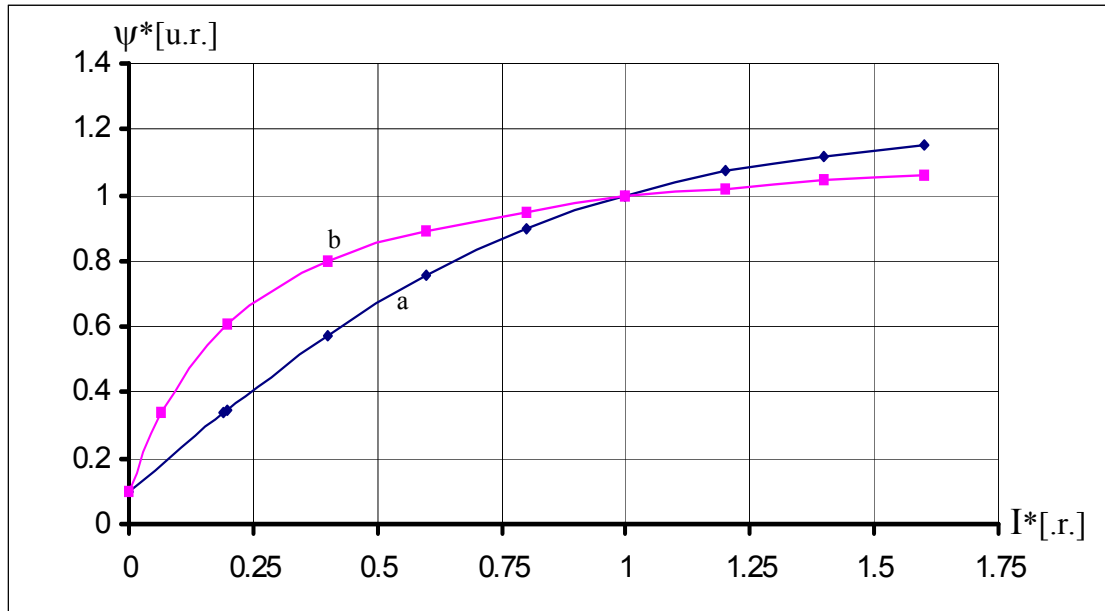
Metoda a:

Semnificatia Punctului	indice	I_e^*	Ψ^*	I_e	$K\Psi$
		u.r.	u.r.	A	V_s
Intersectia cu Ordonata	rem	0	0.056	0	0.12
		0.2	0.3	0.2	0.66
Flux min. N=max		0.24	0.35	0.25	0.76
		0.4	0.53	0.41	1.16
		0.6	0.72	0.62	1.59
		0.8	0.88	0.83	1.93
Punct Nominal	N	1	1	1.04	2.19
		1.2	1.08	1.25	2.38
Curentul mediu Maxim	M				
		1.4	1.14	1.46	2.52
		1.6	1.19	1.67	2.61
<u>Asimptota</u> Curbei	sat	∞	1,28	∞	2.83

Metoda b:

Semnificatia Punctului	indice	I_e^*	Ψ^*	I_e	$K\Psi$
		u.r.	u.r.	A	V_s
Intersectia cu Ordonata	rem	0	0,060	0	0.11
		0.2	0,34	0,23	0.67
Flux min N_{max}	m	0,28	0,35	0.31	0.76
		0,4	0,60	0.44	1.18
		0,6	0,8	0.68	1.61
		0,8	0,88	0.84	2.01
Punct Nominal	N	1	1,00	1.04	2.19
		1,2	1,02	1.25	2.36
Curentul mediu Maxim	M				
		1,4	1,07	1.48	2.49
		1,6	1,1	1.7	2.6
Asimptota Curbei	sat	∞	1,27	∞	2.7

Caracteristica de magnetizare:



Cap.II. Calculul convertorului

In indus : doua redresoare trifazate cu nul : 2 RdTP

In excitatie : un chopper cu varianta de stingere D

Reglarea tensiunii indusului se realizeaza cu :

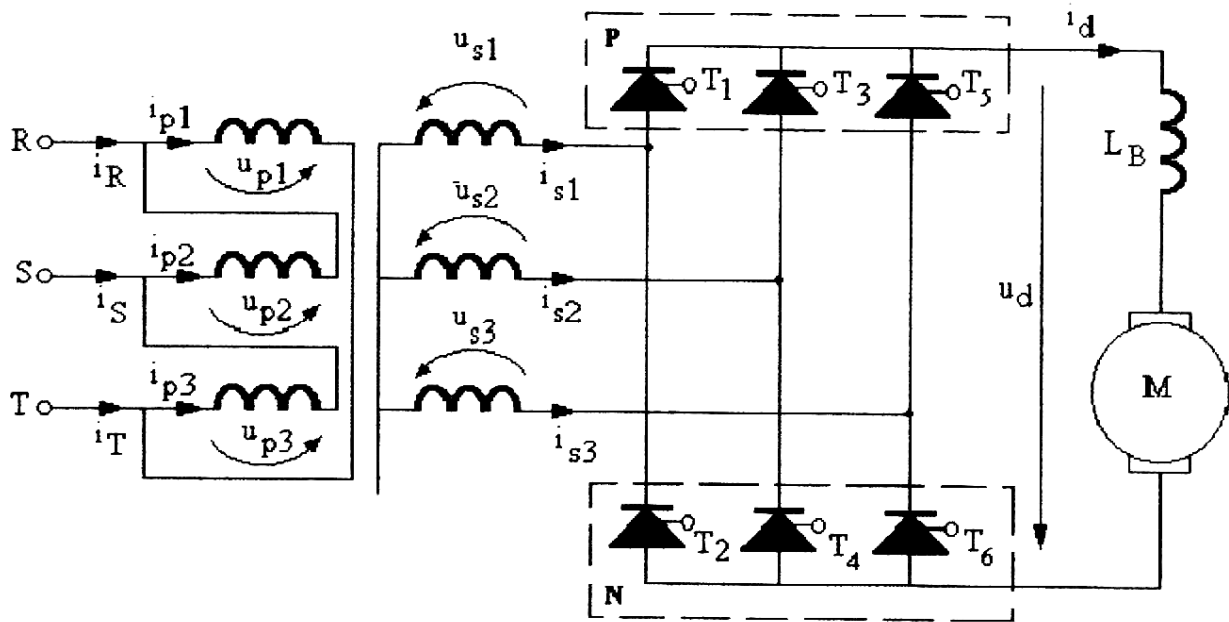
-doua convertoare cu comutatie de la retea de 2 cadrane , tip redresor-invertor trifazat in punte ;

Reglarea fluxului de excitatie se realizeaza cu :

-un variator de tensiune continua cu pulsuri unipolare , cu chopper varianta de stingere D ;

Sistemul convertor-M.c.c. va functiona in 4 cadrane prin inversarea curentului in indus .

2.1 Schema desfasurata de forta a redresorului din indus :



2.2 Calculul rezistentelor suplimentare si a tensiunii de scurtcircuit la transformator :

1) Rezistenta unei faze a transformatorului :

-valoare procentuala :

$$R_r^{\%} = 1.7 + 0.04 \cdot N_2 = 1.78 \quad \%$$

-valoarea absoluta :

$$R_{tr} = \frac{R_{tr}^{\%} \cdot R_N}{100} = 0.845 \ \Omega$$

2) Tensiunea de scurtcircuit la transformator :

$$u_{sc}^{\%} = 4.2 - 0.11 \cdot N_2 = 3.98 \ \%$$

3) Rezistenta bobinei de netezire a curentului motorului de c.c. :

-in indus : -valoarea procentuala : $R_B^{\%} = 3 + 0.05 \cdot N_2 = 3,1 \ \%$

-valoarea absoluta : $R_B = \frac{R_B^{\%} \cdot R_N}{100} = 1.472 \ \Omega$

-in excitatie : -valoarea procentuala : $R_{Be}^{\%} = 6 - 0.1 \cdot N_2 = 5,8 \ \%$

-valoarea absoluta : $R_{Be} = \frac{R_{Be}^{\%} \cdot R_{ex}}{100} = 2.755 \ \Omega$

4) Rezistenta sursei de c.c. care alimenteaza VTC-ul din excitatie :

$$R_d^{\%} = 3.3 - 0.02 \cdot N_2 = 3,16 \ \%$$

-pentru indus : $R_d = \frac{R_d^{\%} \cdot R_N}{100} = 1.548 \ \Omega$

-pentru excitatie : $R_d = \frac{R_d^{\%} \cdot R_{ex}}{100} = 6.86 \ \Omega$

2.3 Alegerea tiristoarelor si diodelor:

Alegerea tiristoarelor se face pornind de la curentul mediu maxim al tiristorului (din catalog)

$$(i_{Tmed})_{\max} \geq \frac{2 \cdot I_{aN} + (I_{cmed})_{\max}}{n_p}$$

unde n_p reprezinta numarul pulsurilor pe perioada a tensiunii . Pentru redresorul trifazat in punte $n_p = 6$.

in indus : $(I_{cmed})_{\max} = (0.25 \cdots 0.3) \cdot I_{aN}$, rezulta ca :

$$(i_{Tmed})_{\max} \geq \frac{(2.25 \cdots 2.3) \cdot I_{aN}}{n_p} \Rightarrow (i_{Tmed})_{\max} = \frac{2.27 \cdot I_{aN}}{3} = 3.027 \text{ A}$$

se alege din catalog tiristorul T 6 N 50...500 .

Datele tiristorului :

-curentul mediu in stare de conductie : $i_{TAVM} = 6 \text{ A}$

-temperatura $T_c = 45 \text{ C}$

-viteza critica de crestere a curentului in stare de conductie : $\frac{di}{dt} = 50 \text{ A}/\mu\text{s}$

-viteza critica de crestere a tensiunii de blocare : $\frac{dv}{dt} = 50 \text{ V}/\mu\text{s}$

Capacitatea de blocare a dispozitivului este exprimata prin parametrii V_{DRM} - tensiunea de varf repetitiva in stare blocata si V_{RRM} - tensiunea inversa de varf repetitiva . Acesti parametri sunt alesi astfel incat tiristorul sa suporte atat tensiunile repetitive de blocare cat si tensiunile tranzitorii de varf , accidentale.

Coeficientul de siguranta : $C_v = 1.7 \dots 2$.

-durata de polarizare inversa $t_q = 50 \mu\text{s}$

-tensiunea de prag in stare de conductie $V_{T0} = 1.5 \text{ V}$

-tensiunea maxima inversa pe tiristor $V_{DRM}=V_{RRM}=50 \dots 500 \text{ V}$

2.4 Calculul paramatrilor de conductie ai dispozitivului semiconductor :

Dupa ce s-a ales tiristorul la clasa de curent , se copiaza din catalog graficele care arata caracteristicile de conductie tipica , limita pentru tiristorul ales , $i_T = f(u_T)$. Se alege un punct arbitrar "x" intre cele doua curbe si se noteaza valorile u_{Tx} si i_{Tx} ;

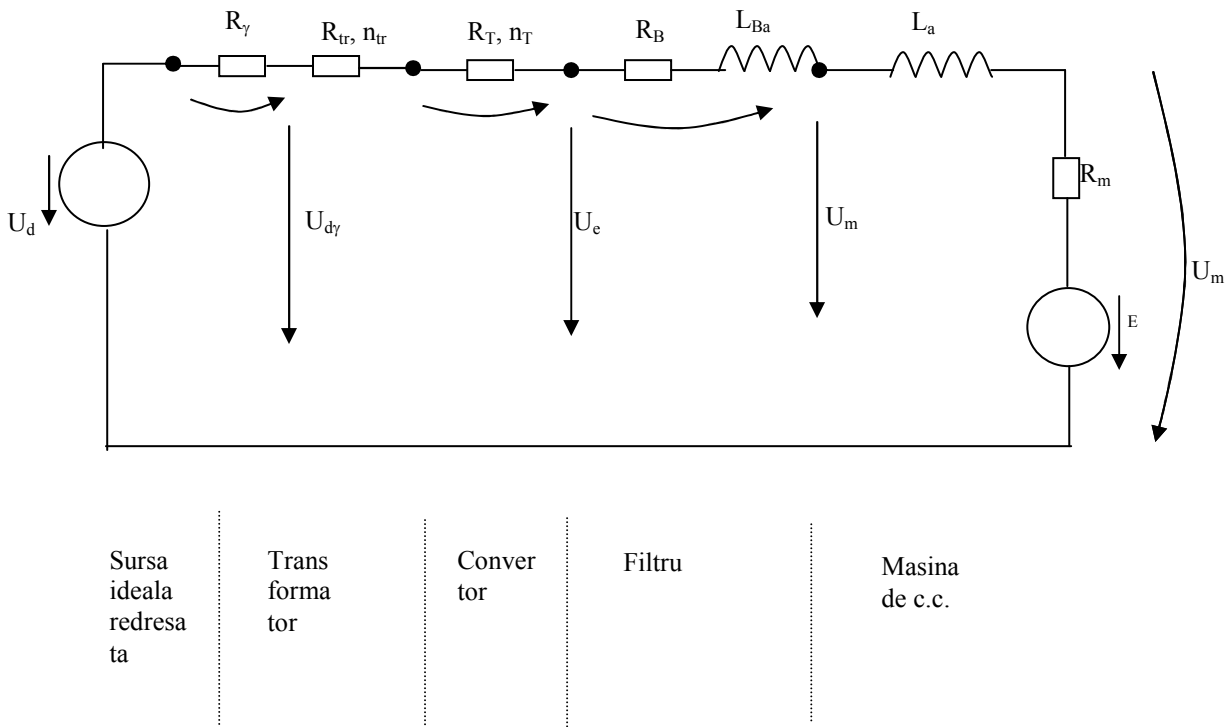
Se calculeaza rezistenta dinamica a tiristorului :

$$i_{Tx} = 41 \qquad u_{Tx} = 2.5$$

$$R_T^d = \frac{u_{Tx} - u_{T0}}{i_{Tx}} = 24 \text{ m}\Omega$$

2.5 Calculul tensiunii ideale maxime redresate si a unghiului de comanda nominal

Schema echivalenta in c.c. cu date :



- valoarea medie a tensiunii redresate ideale: $U_d = U_{d0} \cdot \cos(\alpha)$
- rezistența fictivă de comutație:

$$R_\gamma = \frac{k_\gamma \cdot U_{sc}}{2} \cdot \frac{U_{d0}}{I_{dN}}$$

- rezistența unei faze a transformatorului: R_{tr}
- nr. secundarelor parcurse de curentul redresat într-o etapă de funcționare ideală: $n_{tr} = 2$
- rezistența statică a tiristorului, în cazul în care i_d este bine netezit: $R_T = \frac{u_T}{i_T}$

- u_T -căderea de tensiune pe tiristor când este parcurs de curentul i_T .

- rezistența dinamică a tiristorului: $(R_T)^d = \frac{\Delta u_T}{\Delta i_T}$

- $\Delta u_T, \Delta i_T$ – variațiile în jurul punctului, determinat de domeniul de variație al curentului I_d .

- numărul tiristoarelor în serie cu sarcina într-o etapă de funcționare ideală a convertorului:

$$n_T = 2$$

- tensiunea de prag în stare de conducție: u_{T0}
- valoarea medie a tensiunii redresate luând în considerare fenomenul de suprapunere anodică:

$$U_{d\gamma} = U_{d0} \cdot \cos(\alpha) - R_\gamma \cdot I_d$$

Valoarea medie a tensiunii redresate:

$$U_d = [R_\gamma \cdot I_d + [n_{tr} \cdot R_{tr} + n_T \cdot (R_T)^d + R_{Ba}] \cdot I_d + n_T \cdot u_{T0}] + U_a$$

- căderea de tensiune datorită comutației: $R_\gamma \cdot I_d$
- căderea de tensiune pe rezistența transformatorului: $n_{tr} \cdot R_{tr} \cdot I_{dN}$
- căderea de tensiune pe tiristoare: $n_T \cdot (R_T)^d \cdot I_{dN}$
- tensiunea de prag în stare de conducție: $n_T \cdot U_{T0}$

Tensiunea medie pe mașină la bornele indusului:

$$U_a = U_{d0} \cdot \cos(\alpha) - [R_\gamma + n_{tr} \cdot R_{tr} + n_T \cdot (R_T)^d + R_{Ba}] \cdot I_{dN} - n_T \cdot U_{T0}$$

$$U_a = U_{d0} \cdot \cos(\alpha) - [R_\gamma \cdot I_{dN} - R_s \cdot I_{dN} - n_T \cdot U_{T0}]$$

- rezistențele suplimentare (exterioare) în serie cu mașina electrică:

$$R_s = n_{tr} \cdot R_{tr} + n_T \cdot (R_T)^d + R_{Ba} \quad R_s = 3.212 \ \Omega$$

Impunem ca la α_N și I_{dN} să obținem punctul nominal de funcționare.

$$U_{d0} \cdot \cos(\alpha_N) = \frac{U_{d0}}{I_{dN}} \cdot k_\gamma \cdot \frac{U_{sc}}{2} \cdot I_{dN} + R_s \cdot I_{dN} + n_T \cdot u_{T0} + U_a$$

Artificii de calcul: $I_{dN} = I_{aN} \quad U_{d01} = U_{aN}$

Admitem temporar: $\cos(\alpha_N) = 0.98$

- $k_\gamma = 1$ coeficient caracteristic convertorului monofazat in punte.

$$U_{d0} = \frac{R_s \cdot I_{dN} + n_T \cdot u_{T0} + U_{aN}}{\cos(\alpha_N) - \frac{k_\gamma \cdot U_{sc}}{2}} \quad U_{d0} = 436.658 \text{ V (supradimensionat)}$$

$$\cos(\alpha_N) = \frac{R_s \cdot I_{dN} + n_T \cdot u_{T0} + U_{aN}}{U_{d0}} + \frac{k_\gamma \cdot U_{sc}}{2} \quad \cos(\alpha_N) = 0.952$$

$$\alpha_N = 25^\circ$$

2.6 Verificarea tensiunii inverse maxime pe tiristorul ales

$$U_{d0} = \frac{\sin \frac{\pi}{p}}{\frac{\pi}{p}} \cdot U_{\max} \cdot \sqrt{3} \text{ , unde , } U_{\max} = U_{s \max} \text{ si } p=6 \text{ pentru convertorul trifazat in punte .}$$

Amplitudinea tensiunii din secundarul transformatorului care alimenteaza convertorul

$$U_{s \max} = U_{d0} \cdot \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{p}{\sin \frac{\pi}{p}} = 264.004 \text{ V}$$

Tensiunea maxima inversa pe tiristor :

$$U_{T \max} = \sqrt{3} U_{s \max} = 457.268 \text{ V}$$

Verificarea tensiunii inverse maxime :

$$V_{RRM} = 500 > U_{T \max}$$

Din inegalitatea precedenta rezulta ca am ales tiristorul corect: T 6 N 500 .

2.7 Calculul datelor transformatorului

1. Tensiunea nominală în primarul transformatorului:

$$U_{pN} = U_{aN} = 380 \text{ V}$$

2. Tensiunea nominală în secundarul transformatorului:

$$U_{sN} = a \cdot U_{d0} = 457.268 \text{ V}$$

$$\text{unde: } a = \frac{\frac{\pi}{p}}{\sin(\frac{\pi}{p})} = 1.047$$

3. Raportul de transformare:

$$k_{tr} = U_{pN} / U_{sN} = 0.831 .$$

4. Curentii din primar si secundar :

$$I_{pN} = \frac{I_{aN}}{k_{tr}} \cdot b = 7.86 \text{ A} \quad \text{unde } b = \frac{\sqrt{6}}{3}$$

$$I_{sN} = I_{aN} * k_{tr} = 6.648 \text{ A}$$

5. Rezistența unei faze a transformatorului, raportată la primar:

$$R'_{tr} = k_{tr}^2 \cdot R_{tr} = 0.584 \Omega$$

6. Tensiunea de scurtcircuit a transformatorului

– tensiunea de scurtcircuit activă:

$$u_{sc}^a = \frac{(1 + k_{tr}^2) \cdot R'_{tr} \cdot I_{pN}}{U_{pN}} = 0.02$$

– tensiunea de scurtcircuit reactivă:

$$u_{sc}^r = \frac{u_{sc}^{\%}}{100} = 0.04$$

– tensiunea de scurtcircuit totală:

$$u_{sc} = \sqrt{(u_{sc}^a)^2 + (u_{sc}^r)^2} = 0.045$$

7. Inductivitatea de scăpări:

$$L_{\sigma} = \frac{u_{sc}^r \cdot U_{sN}}{\omega \cdot I_{dN}} = 7.241 \text{ mH}$$

8. Inductivitatea de scăpări a transformatorului, raportată la primar:

$$L'_{\sigma} = \frac{u_{sc}^r \cdot U_{pN}}{\omega \cdot I_{pN}} = 6.125 \text{ mH}$$

9. Inductivitatea de scăpări a transformatorului, raportată la secundar :

$$L''_{\sigma} = \frac{L'_{\sigma}}{k_{tr}^2} = 8.869 \text{ mH}$$

10. Puterea aparentă a transformatorului:

$$S_{tr} = \frac{\pi}{3} \cdot U_{d0} \cdot I_{dN} = 3.477 \text{ kVA}$$

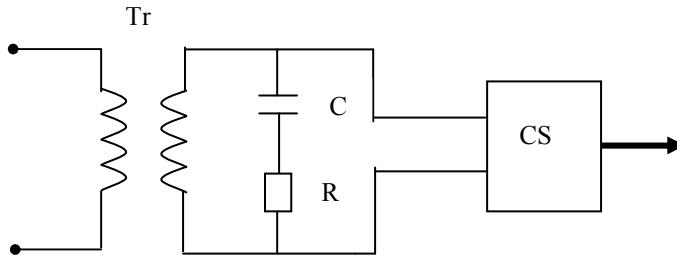
2.8 Calculul protecției tiristoarelor

- Protecția la supratensiuni inverse de comutație

Se instalează în paralel cu fiecare tiristor câte un grup RC serie, pentru protecție la supratensiuni inverse pe tiristor.

-

Se instalează câte un grup RC serie între fazele secundarului.



Calculul elementelor de protecție:

- condensatorul de protecție:

$$C = \frac{S_N \cdot I_{0N} \cdot 10^7}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot (U_{RRM}^2 - U_{invT}^2)} = 2.016 \text{ } \mu\text{F}$$

$$I_{0N} = 0.093 \text{ A}$$

$$U_{invT} = U_{T \max} = 457.268 \text{ V}$$

- rezistența de protecție:

$$R \geq 2 \cdot \sqrt{\frac{L_\sigma}{C}} = 3.79 \text{ } \Omega$$

- puterea rezistenței:

$$P = 2 \cdot (U_{ef} \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot C)^2 \cdot R \cdot 10^{-2} = 62.07 \text{ W}$$

2.9 Calculul comutației și a unghiului de maxim de comanda, verificarea timpului de revenire

Prin *comutație* se înțelege procesul de trecere a curentului dintr-o ramură de circuit în altă ramură. Pe durata comutației apare un *curent de comutație* (i_k), care se închide prin ambele ramuri de circuit. Pentru desfășurarea corespunzătoare a comutației trebuie să existe o *tensiune de comutație* (u_k) potrivită.

În cazul nostru, convertorul este cu comutație naturală, deoarece pentru comutație se utilizează tensiunea “naturală” a rețelei.

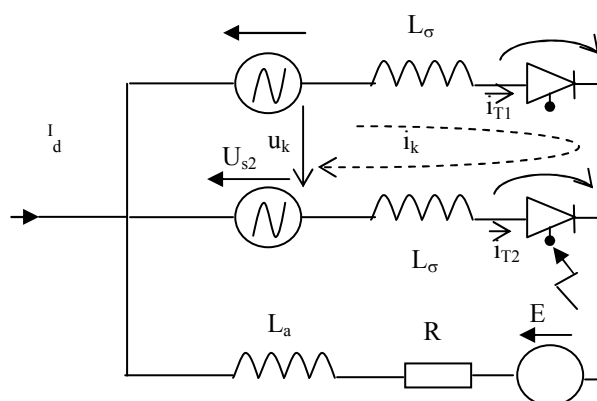
Procesul de comutație între două laturi, care conțin dispozitive semiconductoare, se mai numește *suprapunere anodică*.

În figura de mai jos se poate vedea fenomenul comutației, curentul de comutație și tensiunea de comutație. Pentru exemplificare am considerat starea inițială în care conduce tiristorul T_1 . În acest moment curenții prin tiristoare au valorile:

$$\begin{cases} i_{T1} = I_d, \\ i_{T2} = 0. \end{cases}$$

În momentul în care aplicăm impulsul de amorsare pe grila tiristorului T_2 apare fenomenul suprapunerii anodice între T_1 și T_2 , când conduc ambele dispozitive, iar curenții prin tiristoare vor deveni:

$$\begin{cases} i_{T1} = I_d - i_k, \\ i_{T2} = i_k. \end{cases}$$



Fenomenul comutației

Tot din figura se poate vedea că tensiunea de comutație, u_k , este de fapt tensiunea de linie din secundarul transformatorului.

Durata comutației poate fi exprimată prin *unghiul de comutație (sau de suprapunere anodică)*, γ :

$\gamma = \arccos(\cos \alpha - k_\gamma \cdot u_{sc} \cdot I_d^*) - \alpha$, unde α este unghiul de comandă și I_d^* curentul de sarcină raportat la curentul nominal. Unghiul de comutație minim este dat de relația:

$$\gamma_{\min} = 2 \cdot \arcsin \frac{k_\gamma \cdot u_{sc} \cdot I_d^*}{2}, \text{ și apare la unghiul } \alpha = 90^\circ - \frac{\gamma_{\min}}{2},$$

iar unghiul de comutație maxim este dat de relația:

$$\gamma_0 = \arccos(1 - k_\gamma \cdot u_{sc} \cdot I_d^*), \text{ și apare la unghiul } \alpha = 0^\circ.$$

Se observă că unghiul de comutație crește odată cu creșterea curentului sarcinii.

Unghiul maxim de comandă va fi $\alpha_{\max M} = 180^\circ - \gamma_{0M}$, unde γ_{0M} este unghiul de comutație maxim la curent de sarcină maxim.

Având în vedere faptul că un tiristor are nevoie de un timp de dezamorsare, t_q , pentru a trece din starea de conducție în starea blocată, trebuie să luăm în considerare și o *rezervă de comutație inversă*:

$$\omega \cdot t_q = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot t_q = 2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 20 \cdot 10^{-6} = 0.45 \text{ grade}$$

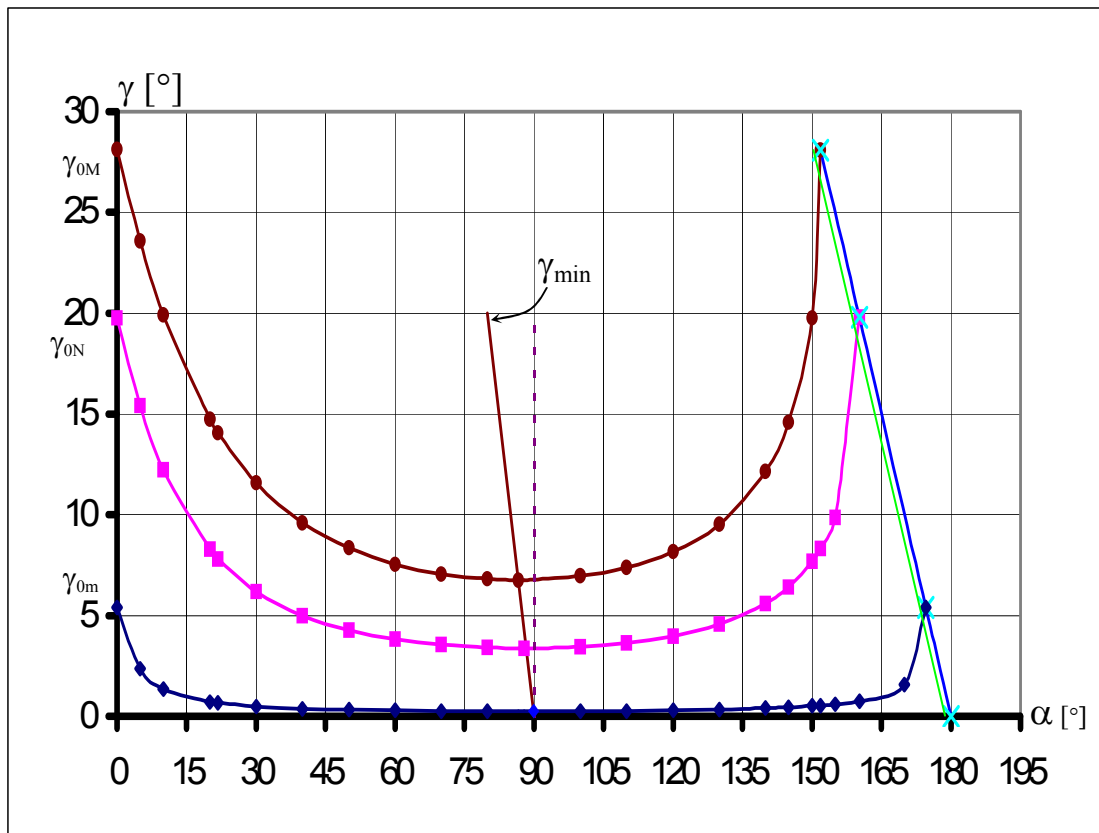
unde $t_q = 25[\mu\text{s}]$ s-a luat mai mare decât $t_{q \text{ catalog}}$ (vezi paragraful 2.4).

Din considerentele anterioare rezultă că unghiul maxim de comandă va fi:

$$\alpha'_{maxM} = 180^\circ - \gamma_{0M} - \omega \cdot t_q.$$

Pe următoarea pagina sunt redată tabelul și graficul pentru variația unghiului de comutație în funcție de unghiul de comandă și curentul prinsarcină, precum limitele de comandă

α [°]	Id	Idm=0.745 [A]	IdN= 8 [A]	IdM=16 [A]
		Idm*=0,093	IdN*= 1	IdM*=2
0		4.603	15.132	21.464
5		1.798	10.946	17.052
10		1.013	8.17	13.729
20		0.434	4.351	8.179
25.97		0.533	5.147	9.501
30		0.367	3.762	7.186
40		0.287	2.998	5.837
50		0.241	2.546	5.009
60		0.213	2.68	4.49
70		0.196	2.1	4.176
80		0.187	2.011	4.012
88.2		0.185	1.986	3.972
90		0.185	1.986	3.975
100		0.188	2.023	4.061
110		0.197	2.127	4.287
115		0.204	2.21	4.465
120		0.213	2.319	4.699
125		0.226	2.46	5.003
130		0.241	2.642	5.4
135		0.261	2.878	5.926
140		0.288	3.192	6.641
145		0.323	3.621	7.662
150		0.371	4.236	9.251
158		0.497	6.091	11.911
158.59		0.51	6.316	
164.9		0.722		
175.4				



- $I_{dM}^* = I_{dM} / I_{dN} = 2$: curentul maxim raportat;
- $I_{dN}^* = I_{dN} / I_{dN} = 1$: curentul nominal raportat;
- $I_{dm}^* = I_{0N} / I_{dN} = 0,093$: curentul minim raportat;
- $\alpha'_{max} = 180 - \gamma_{0M} - \omega \cdot t_q = 158.59^\circ$: unghiul maxim de comandă al convertorului.

Aleg unghiul maxim de comandă:

$$\alpha_M = 158^\circ < \alpha'_{max} .$$

Panta de creștere a curentului prin tiristor la $\alpha = 90^\circ$:

$$\frac{di_k}{dt} = \omega \cdot I_{k \max} = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot I_{k \max} = 7.292 \cdot 10^4 \text{ A/s}$$

$$\text{unde } I_{k \max} = \frac{I_{dN}}{k_\gamma \cdot u_{sc}} = 232.101 \text{ A}$$

este amplitudinea maximă a curentului de

comutație i_k . Se vede că panta de creștere a curentului este mult mai mică decât panta de creștere maximă admisibilă a tiristorului.

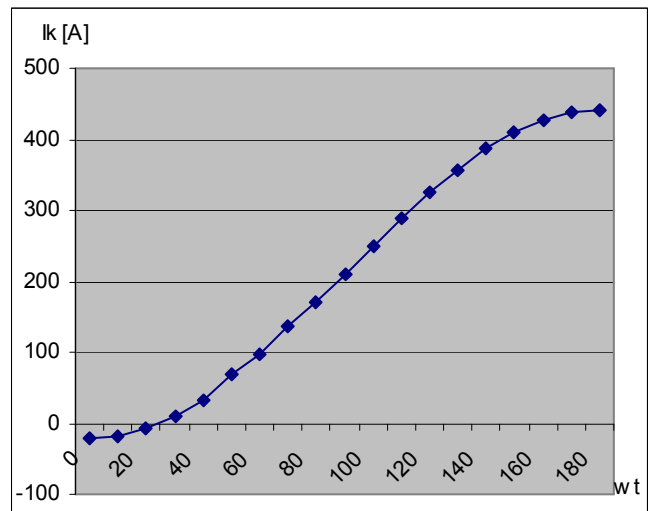
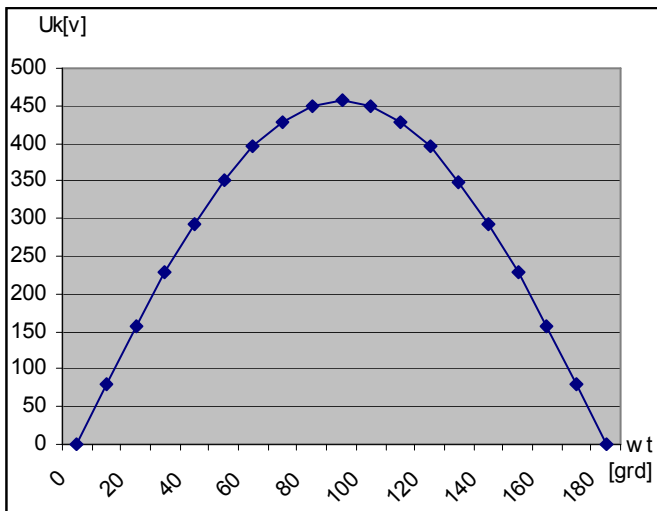
COMUTATIA CURENTULUI SI SUPRAPUNEREA ANODICA

$$U_k = a \cdot U_{S_{max}} \cdot \sin \omega t \quad a = \sqrt{3}$$

$$I_k = I_{k_{max}} \cdot (\cos \alpha - \cos \omega t)$$

$$I_{k_{max}} = 232.101 \text{ A}$$

ωt [°]	U_k [V]	i_k [A]
0	0	-21.63
10	79.4	-18.12
20	156.2	-7.7
30	228.36	9.3
40	293.57	32.38
50	349.86	68.4
60	395.53	93.81
70	429.17	136.29
80	449.78	169.17
90	456.72	209.26
100	449.78	249.36
110	429.17	288.23
120	395.53	324.71
130	349.86	357.69
140	293.57	386.14
150	228.36	409.23
160	156.2	426.24
170	79.4	436.65
180	0	440.16



2.10 Caracteristicile externe de comandă

În figura sunt reprezentate caracteristicile externe de comandă ale convertorului trifazat cu nul, pentru $I_d = 0$, I_{dN} , I_{dM} . Pentru realizarea graficelor am utilizat relațiile următoare:

$$U_d = U_{d0} \cdot \cos \alpha;$$

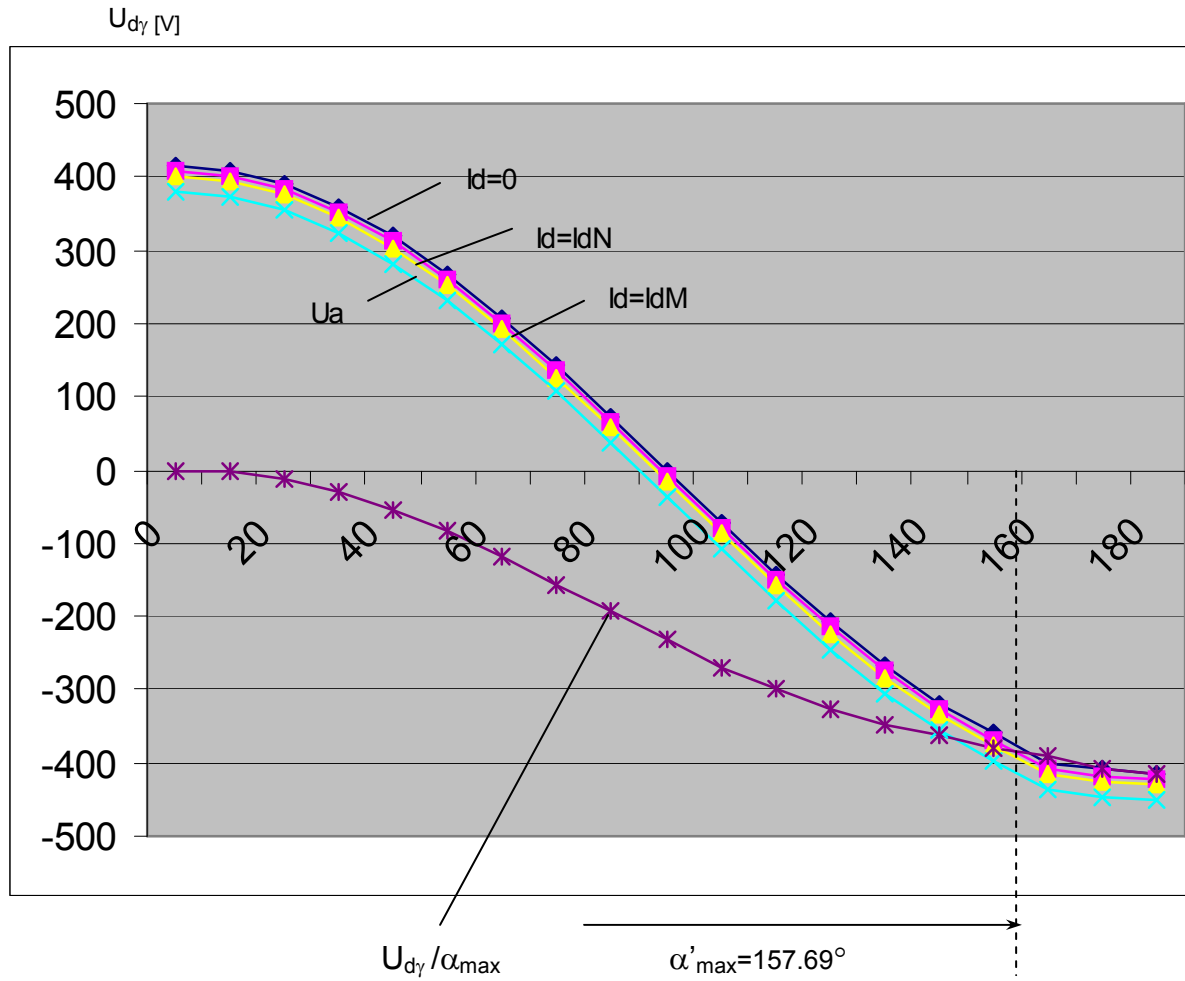
$$U_{d\gamma} = U_d - R_\gamma \cdot I_d;$$

$$R_\gamma = k_\gamma \cdot \frac{u_{sc}}{2} \cdot \frac{U_{d0}}{I_{dN}} = 0.941 \text{ } [\Omega].$$

Tensiunea pe indusul MCC va fi:

$$U_a = U_{d\gamma} - R_s \cdot I_d - n_T \cdot U_{T0}$$

α [°]	$U_{d\gamma} / I_d=0$ [V]	$U_{d\gamma} / I_d=I_{dN}$ [V]	$U_{d\gamma} / I_d=I_{dM}$ [V]	$U_a / I_d=I_{dN}$ [V]	$U_{d\gamma} / \alpha_{max}$ [V]
0	415.86	408.34	400.82	379.3	0
10	409.5	401.98	394.06	373.28	-3.5
20	390.78	383.26	375.74	354.56	-14.2
30	360.14	352.62	345.1	323.92	-31.5
40	318.56	311.05	303.53	282.36	-55.01
50	267.31	259.79	252.27	231.09	-84.1
60	207.93	200.41	192.89	171.71	-118.33
70	142.23	134.71	127.19	106.1	-155.63
80	72.21	64.69	57.17	35.89	-194.19
90	0	-7.52	-15.04	-36.21	-233.1
100	-72.21	-79.73	-87.25	-108.42	-270.23
110	-142.22	-149.374	-157.26	-178.436	-298.38
120	-207.93	-215.45	-222.92	-244.14	-325.51
130	-267.31	-275.23	-282.75	-303.92	-348.47
140	-318.57	-326.09	-333.57	-354.74	-362.58
150	-360.14	-367.66	-375.29	-396.35	-378.41
160	-399.78	-407.3	-414.22	-435.99	-391.13
170	-409.5	-417.03	-424.54	-445.715	-408.6
180	-415.86	-423.38	-430.9	-452.07	-415.86



2.11 Caracteristici externe

Pentru construirea caracteristicilor externe ale convertorului, vom folosi relațiile următoare:

$$U_d = U_{d0} \cdot \cos \alpha \quad \text{-- tensiunea ideală redresată, la ieșirea redresorului;}$$

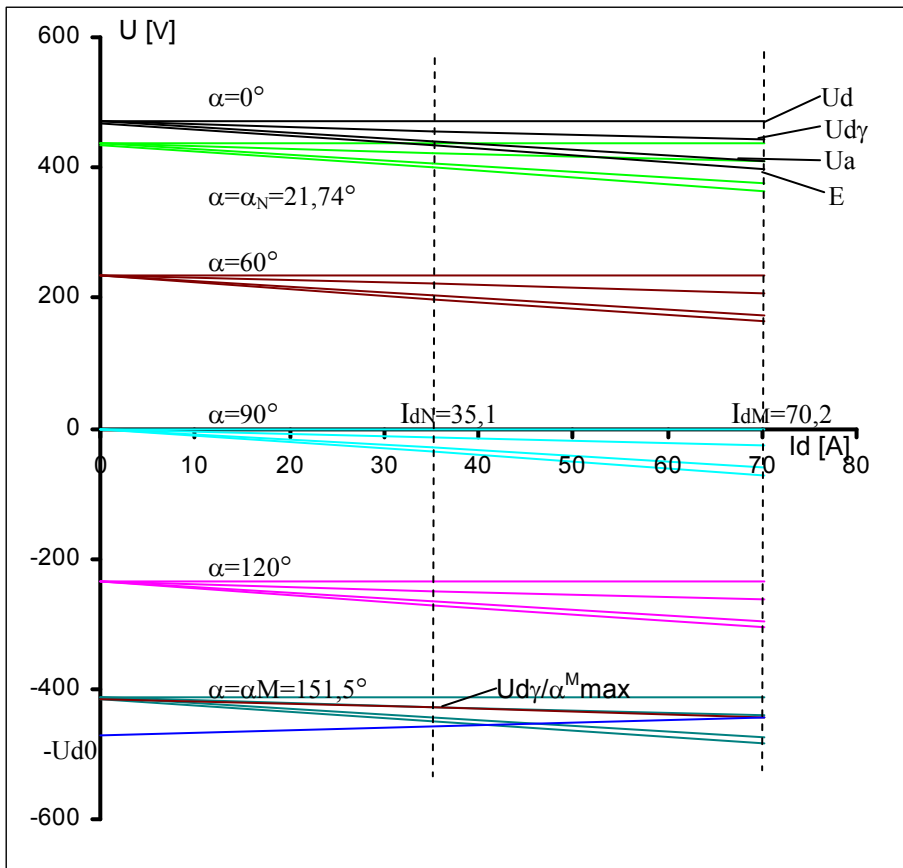
$$U_{d\gamma} = U_d - R_\gamma \cdot I_d \quad \text{-- tensiunea redresată reală, la ieșirea redresorului;}$$

$$U_a = U_{d\gamma} - n_T \cdot U_{T0} - R_s \cdot I_d \quad \text{-- tensiunea pe indusul MCC;}$$

$$E = U_a - R_a \cdot I_d \quad \text{-- tensiunea electromotoare din indusul MCC.}$$

Așa cum se vede din figură am construit caracteristicile externe pentru mai multe unghiuri de comandă: $\alpha = \{0^\circ, \alpha_N = 24.97^\circ, 60^\circ, 90^\circ, 120^\circ, \alpha_M = 157.69^\circ\}$, și pentru variații ale curentului de sarcină între 0 și $I_{dM} = 2 \cdot I_{dN}$.

α [°]	U [V]	Id [A]	α [°]					
			0	24,97	60	90	120	157,69
Ud	Id=0		415.86	377.03	208.12	0.33	-207.55	-384.51
	IdN=8		400.8	361.97	193.06	-14.72	-222.6	-399.57
Udy	Id=0		415.86	377.03	208.12	0.33	-207.55	-384.51
	IdN=8		400.8	361.97	193.06	-14.72	-222.6	-399.57
	IdM=16		385.75	346.92	178.01	-29.78	-237.66	-414.62
Ua	Id=0		412.86	374.03	205.12	-2.66	-210.55	-387.51
	IdN=8		372.11	333.28	164.37	-43.42	-251.3	-428.26
	IdM=16		331.36	292.52	123.62	-84.17	-292.05	-469.01
E	Id=0		412.86	374.03	205.12	-2.66	-210.55	-387.51
	IdN=8		336.71	297.88	128.97	-78.82	-286.7	-463.66
	IdM=16		260.56	221.72	52.82	-154.97	-362.85	-539.81



2.12 Calculul bobinei de netezire

Bobina de netezire are rolul de a reduce pulsațiile curentului redresat. Am urmărit să se realizeze condiția:

$$I_{d \text{ critic}} < I_{d \text{ min}} ,$$

unde $I_{d \text{ critic}}$ este curentul de sarcină când convertorul se află la limita conducerii permanente. Am ales $I_{d \text{ min}} = I_{0N} = 2.63$ [A] și rezultă:

$$\left. \begin{aligned} L_d &> \frac{U_{d0}}{\omega \cdot I_{0N}} \cdot \left(1 - \frac{\frac{\pi}{p}}{\tan \frac{\pi}{p}} \right), \\ \frac{U_{d0}}{\omega \cdot I_{0N}} \cdot \left(1 - \frac{\frac{\pi}{p}}{\tan \frac{\pi}{p}} \right) &= 0.2189 \text{ [H]} \end{aligned} \right\} \Rightarrow L_d = 0.123 \text{ [H]}.$$

$L_d = L_B + L_a$ este inductivitatea totală a circuitului de sarcină. L_B reprezintă inductivitatea bobinei de netezire, iar L_a este inductivitatea indusului MCC. Rezultă deci că inductivitatea bobinei de netezire este:

$$L_B = L_d - L_a = 0.063 \quad \text{H}$$

3. Calculul convertorului cu comutație forțată

3.1 Schema desfășurată de forță

3.2 Calculul rezistențelor suplimentare

Rezistența sursei curent continuu:

$$R_d^{\%} = 3,3 - 0,02 \cdot N_2 = 3.26 \quad [\%];$$

$$R_d = \frac{R_d^{\%} \cdot R_{eN}}{100} = 6086 \quad [\Omega].$$

Rezistența bobinei de netezire a curentului:

$$R_{Be}^{\%} = 6 - 0,1 \cdot N_2 = 5.8 \quad [\%];$$

$$R_{Be} = \frac{R_{Be}^{\%} \cdot R_{eN}}{100} = 12.2 \quad [\Omega].$$

Notăm:

$$R = R_{Be} + R_{eN} = 222.64 \quad [\Omega].$$

3.3 Alegerea tiristoarelor principale

$$I_{TAVM} > 1,2 \cdot I_{eN} = 1.255 \quad [A]$$

După cum se vede din calculul de mai sus, avem nevoie de un tiristor din clasa T3R50-800. Am ales un tiristor rapid care să poată lucra la frecvența de comutație a VTC – ului.

Tiristorul ales are următoarele date de catalog:

- $I_{TAVM} = 3$ [A] : curentul mediu în stare de conducție;
- $U_{RRM} = 50\text{--}800$ [V] : tensiunea inversă repetitivă maximă;
- $t_q = 10$ [μs] : timpul de dezamorsare prin comutația circuitului;
- $U_{TM} = 2.5$ [V] : tensiunea maximă în stare de conducție;
- $U_{T0} = 1.2$ [V] : tensiunea de prag în stare de conducție
- $dv/dt = 50$ $\left[\frac{V}{\mu s} \right]$: viteza critica de crestere a a tensiunii de blocare ;

Alegem provizoriu dioda: **D 3 N 50...800**

- $I_{TAVM} = 3$ [A] : curentul mediu în stare de conducție;
- $U_{RRM} = 50\text{...}800$ [V] : tensiunea inversă repetitivă maximă;
- $U_{F0} = 1.1$ [V] : tensiunea de prag în stare de conducție

3.4 Calculul parametrilor dispozitivelor semiconductoare :

$$V_{Tx} = 2.5 \text{ V si } I_{Tx} = 10 \text{ A}$$

$$\text{Se alege rezistenta : } R_T^d = \frac{V_{Tx} - V_{T0}}{I_{Tx}} = 13 \text{ m}\Omega$$

$$R_T^{st} = V_{Tx} / I_{Tx} = 38.75 \text{ m}\Omega$$

Rezistența dinamică a diodei:

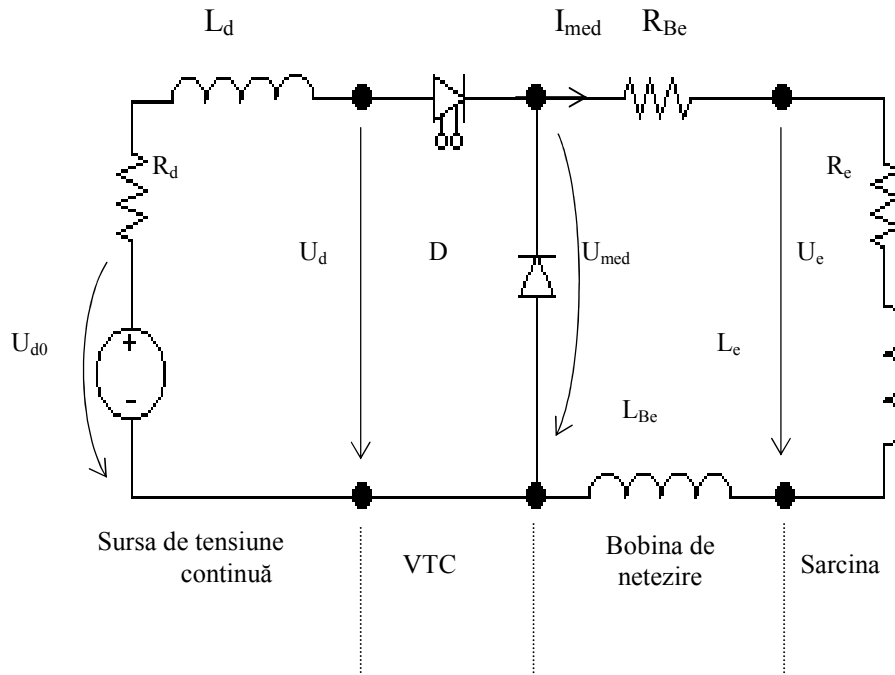
$$\left(R^d \right)_d = \frac{U_{Tx} - U_{T0}}{i_{Tx}} \quad \left(R^d \right)_i = 11.25 \text{ m}\Omega$$

unde: $U_{Tx} = 1.55 \text{ V}$ și $i_{Tx} = 40 \text{ A}$

Rezistența statica a diodei:

$$R_d^{st} = U_{Tx} / I_{Tx} = 38.75 \text{ m}\Omega$$

3.5 Schema echivalentă în c.c. Calculul tensiunii ideale a sursei de c.c. și a duratei nominale de conectare



Tensiunea ideală a sursei de c.c. este:

$$U_{d0} = k_{d0} \cdot (U_{eN} + (R_{Be} + n_T \cdot R_T^{st} + R_d) \cdot I_{eN}),$$

unde $k_{d0} = (1,08 \div 1,12)$, iar $n_T = 2$ este numărul de tiristoare în serie cu sarcina. Prin urmare:

$$U_{d0} = 264.22 \quad [V].$$

Tensiunea de intrare în VTC:

$$U_d = U_{d0} - R_d \cdot I_{medN} = 257.05 \quad [V].$$

Tensiunea de ieșire din VTC:

$$U_{medN} = U_{eN} + R_{Be} \cdot I_{eN} = 232.76 \quad [V].$$

Durata de conectare nominală:

$$T_{cN}^* = \frac{U_{medN}}{U_{dN}} = \frac{R_{Be} \cdot I_{eN} + U_{eN}}{U_{d0} - R_d \cdot I_{eN}} = 0.9$$

$$U_{tmax} > 1.2 \cdot U_{d0} = 317.06 \rightarrow \text{Tiristorul ales este T3R400}$$

3.6 Calculul constantei de timp raportată

Calculul se face din condiția limitării pulsației curentului sub $(\Delta I_d)_{max}$:

$$(\Delta I_d)_{max} = 30\% \cdot I_{eN} = 0.314 [A].$$

$$\tau^* \geq \left[2 \cdot \ln \frac{U_d + R \cdot (\Delta I_d)_{max}}{U_d + R \cdot (\Delta I_d)_{max}} \right]^{-1} = 0.917 \text{ u.r.}$$

Din relațiile de mai sus rezultă că $\tau^* = 0917$ u.r.

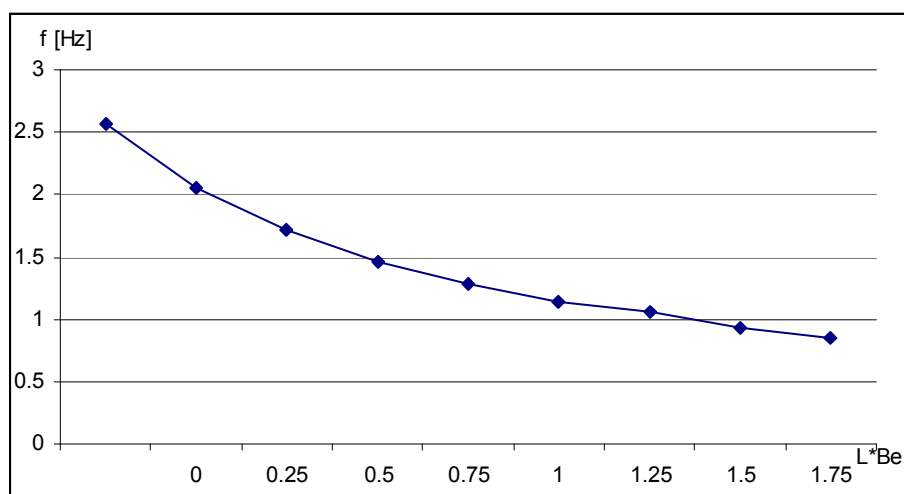
3.7 Calculul frecvenței în funcție de inductivitatea bobinei

Frecvența se calculează după formula:

$$f = \frac{R \cdot \tau^*}{L_e \cdot (1 + L_{Be}^*)}$$

unde $L_{Be}^* = L_{Be} / L_e$. În figura următoare se poate vedea modul în care variază frecvența, pentru valori ale lui L_{Be}^* cuprinse în intervalul $[0, 2]$.

L^*_{Be}	0	0,25	0,5	0,75	1	1,25	1,5	1,75	2
f [Hz]	2.56	2.05	1.71	1.46	1.28	1.14	1.06	0.93	0.85



3.8 Calculul pulsației și a limitelor de curent

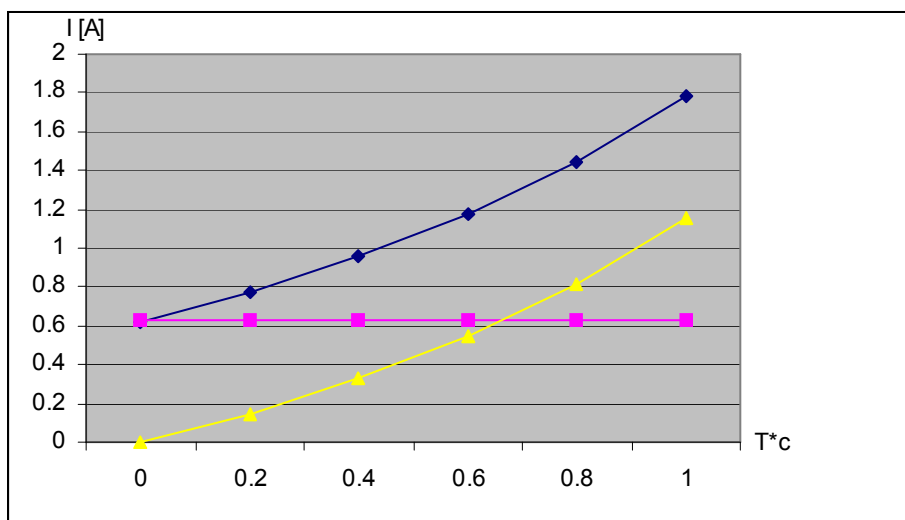
Se folosesc următoarele formule cu condițiile: $E = 0$ și $U_d = U_{d0}$:

$$i_{e \min} = \frac{U_d}{R} \cdot \frac{e^{\frac{T_c}{\tau^*}} - 1}{e^{\frac{1}{\tau^*}} - 1} - \frac{E}{R} : \text{amplitudinea minimă a curentului de excitație;}$$

$$- i_{e \max} = \frac{U_d}{R} \cdot \frac{1 - e^{-\frac{T_c^*}{\tau^*}}}{1 - e^{-\frac{1}{\tau^*}}} - \frac{E}{R} : \text{amplitudinea maximă a curentului de excitație};$$

$$- \Delta i_e = i_{e \max} - i_{e \min} : \text{pulsăția curentului.}$$

T*c [u.r]	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1
Imin	0	0.146	0.326	0.547	0.819	1.155
Imax	0.62	0.775	0.954	1.174	1.445	1.779
ΔI	0.62	0.629	0.628	0.627	0.626	0.625



3.9 Calculul caracteristicilor externe

Pentru realizarea caracteristicilor , am folosit următoarele formule:

$$U_e = R_e \cdot I_e : \text{tensiunea pe excitație};$$

$$U_{\text{med}} = T_c^* \cdot U_d : \text{tensiunea la ieșire din VTC};$$

$$U_d = U_{d0} - R_d \cdot I_e : \text{tensiunea la intrare în VTC};$$

$$T_c^* = [0, 1] : \text{durata de conectare};$$

Conform metodei a) de la curba de magnetizare avem:

$$\begin{cases} \Phi^* = f_{1a}(I_e^*) = \Phi_{rem}^* + (\Phi_{sat}^* - \Phi_{rem}^*) \cdot \tanh(A \cdot I_e^*), \\ I_e^* = f_{2a}(\Phi^*) = (2 \cdot A)^{-1} \cdot \ln \frac{\Phi_{sat}^* - 2 \cdot \Phi_{rem}^* + \Phi^*}{\Phi_{sat}^* - 1}, \end{cases}$$

$$\text{unde } A = 0,5 \cdot \ln \frac{\Phi_{sat}^* - 2 \cdot \Phi_{rem}^* + 1}{\Phi_{sat}^* - 1} = 1.069$$

$$k \cdot \Phi = \Phi^* \cdot C_N;$$

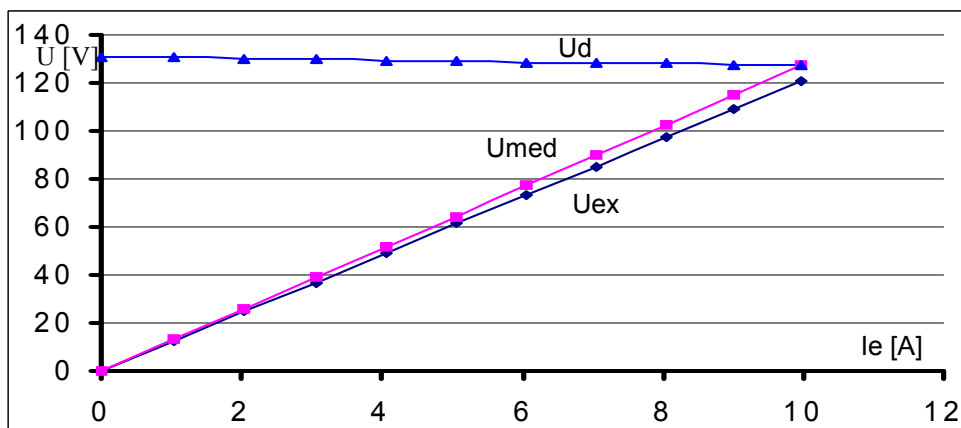
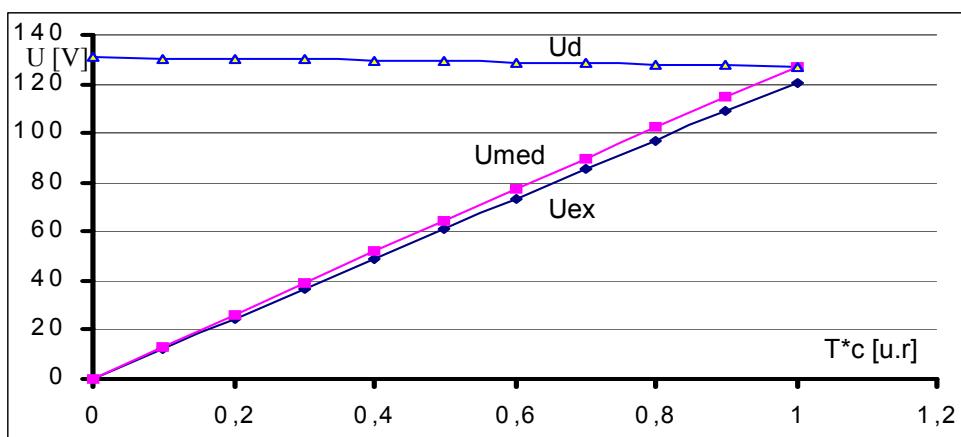
$$k \cdot \Delta\Phi = C_N \cdot (\Phi_{max}^* - \Phi_{min}^*),$$

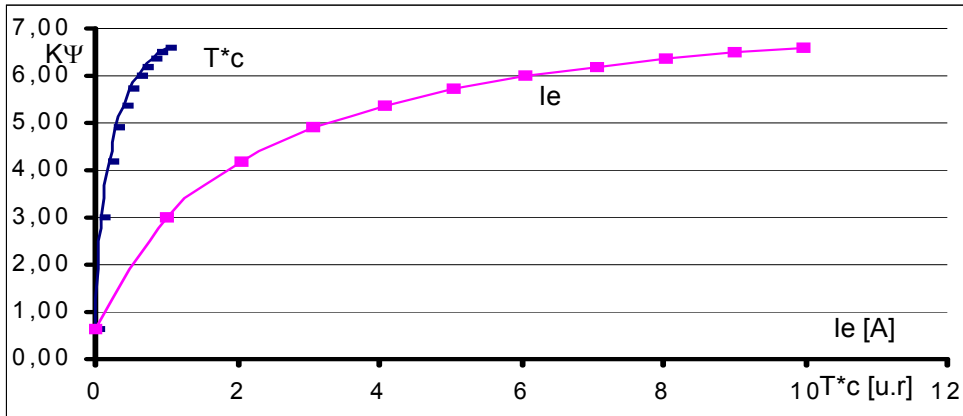
$$\text{unde: } \Phi_{max}^* = \Phi_{rem}^* + (\Phi_{sat}^* - \Phi_{rem}^*) \cdot \tanh(A \cdot i_{e max}^*),$$

$$\Phi_{min}^* = \Phi_{rem}^* + (\Phi_{sat}^* - \Phi_{rem}^*) \cdot \tanh(A \cdot i_{e min}^*),$$

$$i_{e max}^* = i_{e max} / I_{eN} \text{ și } i_{e min}^* = i_{e min} / I_{eN}.$$

i^*e	0	0,11	0,22	0,34	0,45	0,56	0,67	0,78	0,88	0,99	1,10
i_e	0	1,03	2,04	3,06	4,06	5,07	6,06	7,05	8,03	9,01	9,98
U_{ex}	0	12,40	24,74	36,99	49,18	61,30	73,34	85,31	97,22	109,05	120,82
U_d	131,00	130,61	130,22	129,84	129,46	129,08	128,70	128,32	127,95	127,58	127,21
U_{med}	0	13,06	26,04	38,95	51,78	64,54	77,22	89,82	102,36	114,82	127,21
T^*c [u.r.]	0	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1
I_{min}	0	0,57	1,22	1,93	2,74	3,63	4,64	5,77	7,02	8,43	10,01
I_{max}	0	1,58	2,99	4,24	5,37	6,38	7,27	8,08	8,79	9,44	10,01
ΔI	0	1,00	1,77	2,31	2,63	2,74	2,63	2,31	1,77	1,00	0
ΔI^*	0	0,11	0,19	0,25	0,29	0,30	0,29	0,25	0,19	0,11	0
$K\Psi$	0,65	3,00	4,18	4,90	5,38	5,72	5,98	6,18	6,35	6,48	6,59
$\Delta K\Psi$	0	3,01	7,41	11,33	14,17	15,69	15,75	14,29	11,23	6,50	0
$\Delta K\Psi^*$	0	0,46	1,13	1,73	2,17	2,40	2,41	2,19	1,72	0,99	0
Ψ^*	0,1	0,46	0,64	0,75	0,82	0,88	0,91	0,95	0,97	0,99	1,01

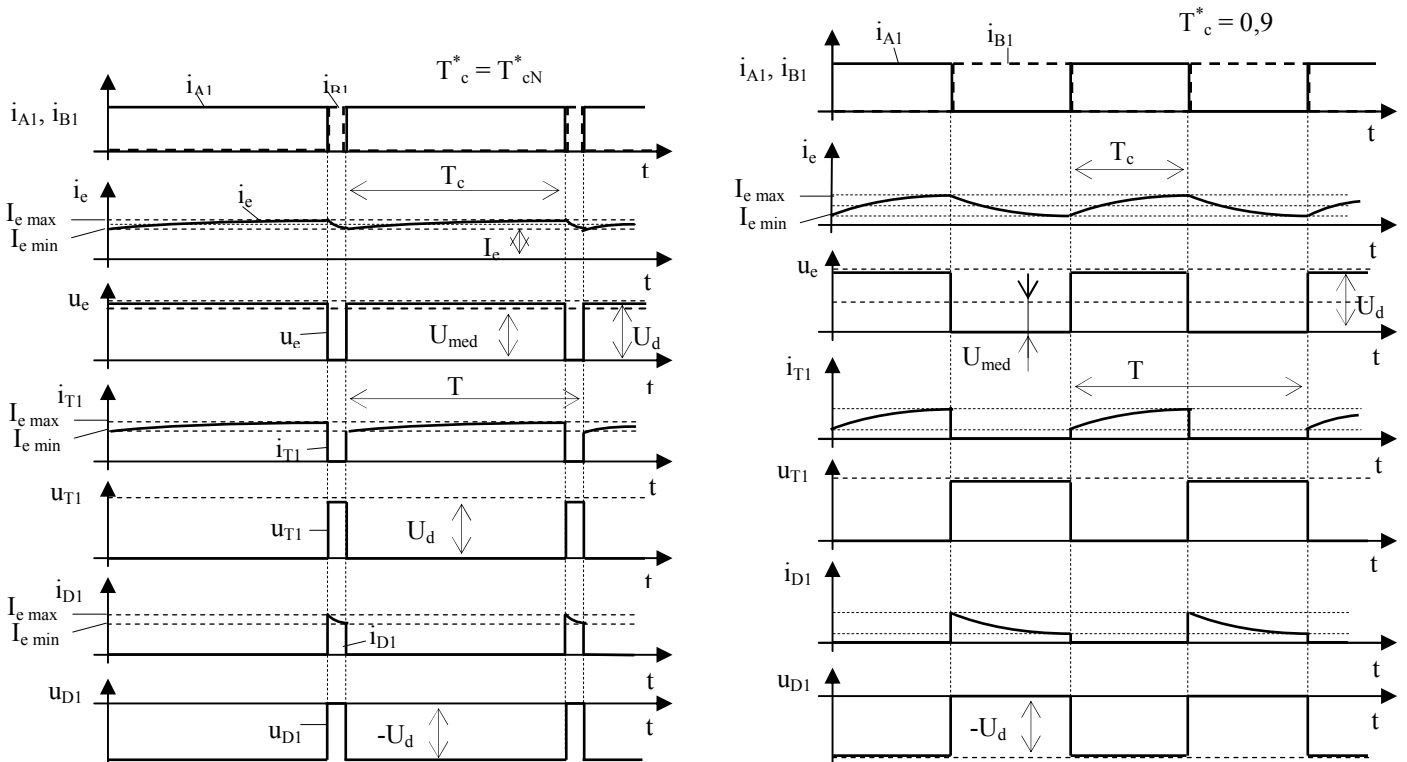




3.10 Diagramele de tensiuni și curenți în funcție de timp

În figura 3.7 sunt date diagramele de tensiuni și curenți pentru VTC - ul format din chopperul CS_1 , dioda D_1 și tiristorul T_4 , diagramele pentru al doilea VTC fiind identice.

Diagramele sunt reprezentate pentru trei valori ale duratei de conectare, și anume pentru durata de conectare minimă, T_{cm}^* , impusă de turația maximă (care determină fluxul minim de excitație și implicit curentul minim de excitație), pentru durata de conectare nominală, T_{cN}^* și pentru durata de conectare $T_c^* = 0,9$, unde apare pulsația maximă a curentului de excitație.



i_{A1} – impulsurile de amorsare;

i_{B1} – impulsurile de stingere;

i_e – curentul de excitație;

u_e – tensiunea de excitație;

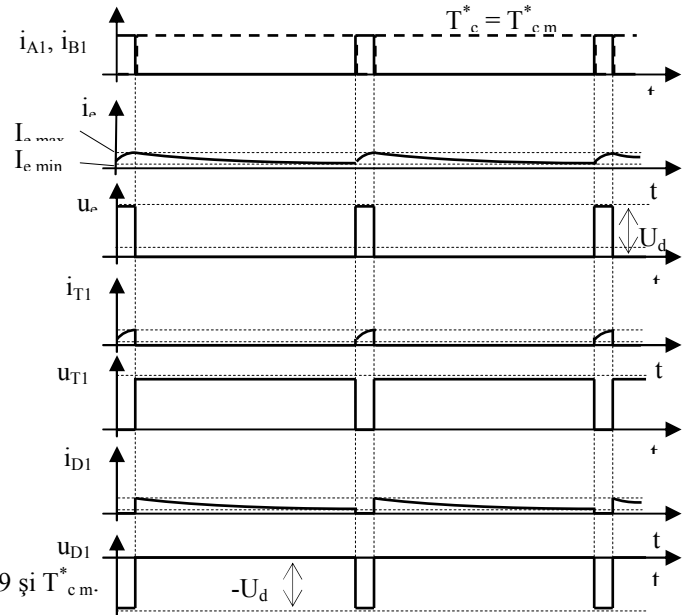
i_{T1} – curentul prin tiristorul T_1 ;

u_{T1} – tensiunea pe tiristorul T_1 ;

i_{D1} – curentul prin dioda D_1 ;

u_{D1} – tensiunea pe dioda D_1 .

Diagramele de tensiuni și cureni ale variatorului din cadranul I pentru duratele de conectare T_{cN}^* , $T_c^* = 0,9$ și T_{cm}^* .



4. Calculul chopperului cu stingere de la condensator

4.1 Schema variantei de chopper

În figura este data schema unui chopper varianta D.

Gasiti in carte!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!

4.2 Descrierea proceselor tranzitorii ale chopperului

Chopperul funcționează după cum urmează:

1. Încărcarea inițială a condensatorului:
 - se comanda deodată tiristorul principal T și tiristorul Tr;
 - Tr prin inductivitatea La încarcă condensatorul apoi se blochează ;
2. Amorsarea tiristorului principal, și funcționarea în intervalul $[0, T_c]$:
 - T conectează sursa la sarcină ;
 - se comanda tiristorul auxiliar Ta care prin circuitul oscilant La-C realizează inversarea tensiunii condensatorului ;
3. Blocarea tiristorului principal, și funcționarea în intervalul $[T_c, T]$:
 - se da impuls de comandă pe tiristorul de stingere Ts, care îl polarizează invers pe T;
 - reincărcarea condensatorului se face în circuitul oscilant La-C prin dioda auxiliară Dr;
 - reincărcarea condensatorului la funcționare în sarcină, are loc prin tiristorul Ts, la mers în gol prin tiristorul Tr.

Fenomenele descrise la punctele 2. și 3. se repetă ciclic atâta timp cât dorim să funcționeze chopperul.

Schema are următoarele avantaje:

- prin tiristorul principal nu circula curentul condensatorului;
- durata relativă de conectare poate fi redusă datorită lui Lr-Dr ;

5. Calculul sistemului Convertor – MCC

5.1 Calculul caracteristicilor mecanice ale sistemului Convertor – MCC la flux nominal și la flux slăbit

Ecuția de funcționare a sistemului Convertor – MCC este:

$$\Omega = \frac{U_{d0} \cdot \cos \alpha - n_T \cdot U_{T0} - R_{tot} \cdot I_a}{k \cdot \Phi},$$

unde $R_{tot} = R_\gamma + R_a + n_{rr} \cdot R_{rr} + n_T \cdot R_T^d + R_{Ba} = 8.9 \ \Omega$.

Caracteristica naturală :

Punctul nominal de funcționare se obține dacă în ecuația de mai sus se introduc valorile nominale: $I_{aN} = 8 \text{ [A]}$, $U_{aN} = 380 \text{ [V]}$, $C_N = k \cdot \Phi_{eN} = 2.194 \text{ [V} \cdot \text{s]}$. Dacă în ecuația de mai sus introducem pe $I_a = 0$, obținem al doilea punct de pe caracteristica naturală, corespunzător regimului de mers în gol la tensiune nominală, flux nominal și cuplu nul. Prin aceste două puncte am trasat caracteristica naturală a sistemului.

Caracteristicile artificiale :

– caracteristica pe care, la curent nominal și flux nominal, avem $\Omega = 0$:

$$; \cos \alpha_{0p} = \frac{n_T \cdot U_{T0} + R_{tot} \cdot I_{aN}}{U_{d0}} \quad ; \alpha_{0p} = 79.7$$

– caracteristica pe care, la curent nominal și flux nominal, avem $\Omega = \Omega_N/2 = 78.57$

$$\cos \alpha_1 = \frac{\frac{C_N \cdot \Omega_N}{2} + n_T \cdot U_{T0} + R_{tot} \cdot I_{aN}}{U_{d0}} \quad ; \quad \alpha_1 = 53.56$$

– caracteristica pe care, la curent nominal și flux nominal, avem $\Omega = -\Omega_N/2$:

$$\cos \alpha_2 = \frac{-\frac{C_N \cdot \Omega_N}{2} + n_T \cdot U_{T0} + R_{tot} \cdot I_{aN}}{U_{d0}} \quad ; \quad \alpha_2 = 104.09$$

Cuplul electromagnetic se calculează după formula: $M = k \cdot \Phi \cdot I_a$.

– caracteristicile mecanice la flux de excitație minim și $\alpha = 0$, α_N , α_M :

$$M = k \cdot \Phi_{em} \cdot I_a;$$

– caracteristicile mecanice la fluxul de excitație $k \cdot \Phi = C_N/2$ și $\alpha = \alpha_N$, α_M :

$$M = C_N \cdot I_a / 2.$$

În figura sunt reprezentate caracteristicile mecanice ale sistemului Convertor – MCC, $\Omega = f(M)$. Cuplul variază între $[-2 \cdot M_N, 2 \cdot M_N]$.

Caracteristica la $K\phi = \text{constant}$ si tensiune variabila (α variabil)

$k\Phi / \alpha$	I_a	$I_a = 0$	$I_a = I_{aN}$	$2I_{aN}$
I_a		0	8	16
$k\Phi_N$	M	0	17.552	35.104
α_N	Ω	170.062	137.61	105.158
$k\Phi_N$	M	0	17.552	35.104
α_1	Ω	110.986	78.533	46.081
$k\Phi_N$	M	0	17.552	35.104
$\alpha_{op} = 0$	Ω	32.453	0,00133	-32.45
$k\Phi_N$	M	0	17.552	35.104
α_2	Ω	-47.415	-79.579	-112.031
$k\Phi_N$	M	0	17.552	35.104
α_M	Ω	-175.186	-209.198	-214.65
$-k\Phi_N$	M	0	-17.552	-35.104
α_M	Ω	175.186	209.198	214.65
$-k\Phi_N$	M	0	-17.552	-35.104
α_2	Ω	47.415	79.579	112.031
$-k\Phi_N$	M	0	-17.552	-35.104
α_{op}	Ω	-32.453	-0.00133	32.45
$k\Phi_N$	M	0	-17.552	-35.104
α_1	Ω	-110.986	-78.533	-46.081
$-k\Phi_N$	M	0	-17.552	-35.104
α_N	Ω	-170.062	-137.61	-105.158

