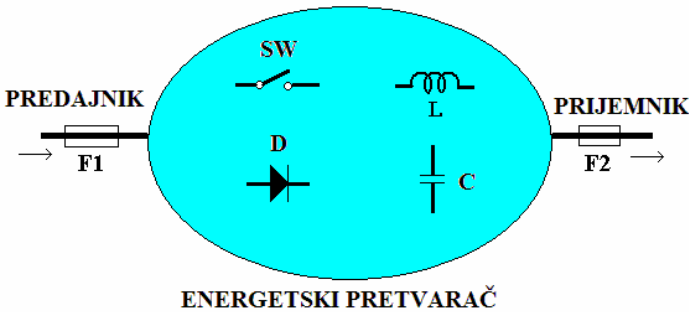


Energetski pretvarači i poluprovodničke komponente od kojih se sastoje



Energetski pretvarači električne energije su uređaji koji transformišu električnu energiju od predajnika (generator, izvor) ka prijemniku (potrošaču). Prema ovoj osnovnoj funkciji dele se na:

1. **AC/DC pretvarače (pretvaraju naizmeničnu struju/napon u jednosmernu struju/napon) –ISPRAVLJAČI**
2. **DC/AC pretvarače (pretvaraju jednosmernu struju/napon u naizmeničnu struju/napon) –INVERTORI**
3. **DC-DC pretvarače (pretvaraju jednosmernu struju jednog naponskog nivoa u jednosmernu struju drugog naponskog nivoa) - transformatori napona – ČOPERI**
4. **AC-AC pretvarače (pretvaraju naizmeničnu struju jednog naponskog nivoa i jedne učestanosti u naizmeničnu struju drugog naponskog nivoa iste ili promenjene učestanosti) - CIKLOKONVERTORI, MATRIČNI PRETVARAČI**

SW-kontrolisani prekidački element (tranzistor ili tiristor)
D-dioda
L-induktivnost
C-kapacitivnost
F1,F2-zaštitni elementi (ultra brzi osigurači)

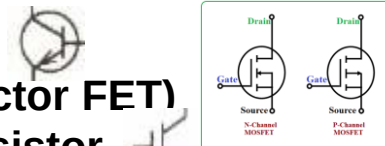
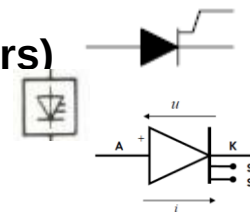
Prekidački elemenat - SW

TIRISTORI:

SCR (Silicon Controlled Rectifiers)
MCT (Mos Controlled Thyristor)
GTO (Gate Turn- Off)

TRANZISTORI:

BJT (Bipolar Junction Transistor)
MOSFET (Metal Oxide Semiconductor FET)
IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor)





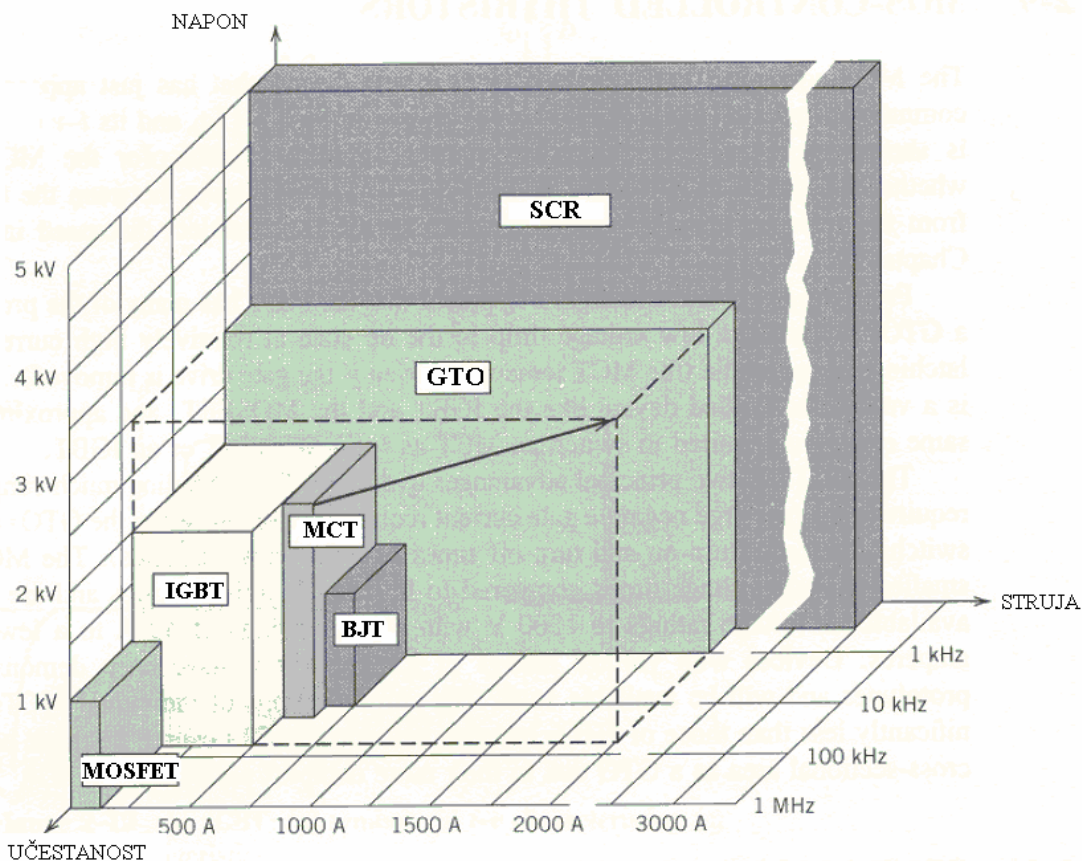
TIRISTORI - SCR



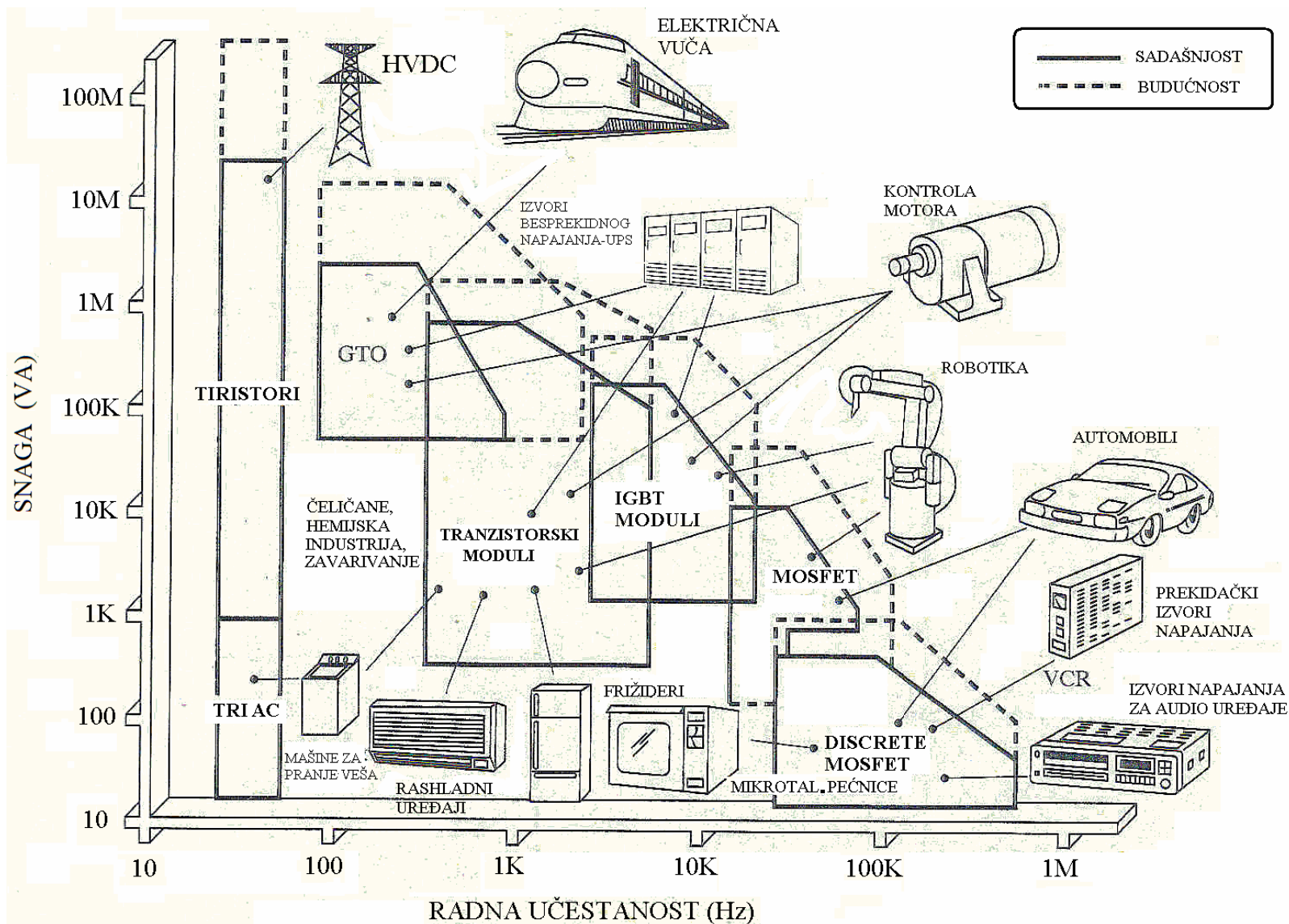
IGBT tranzistor
150A/600V(danas najčešće korišćen
poluprovodnički prekidač snage)



OPSEZI PRIMENE KONTROLISANIH PREKIDAČKIH ELEMENATA-SW



Podela oblasti primene energetskih prekidača po snazi i radnoj učestanosti

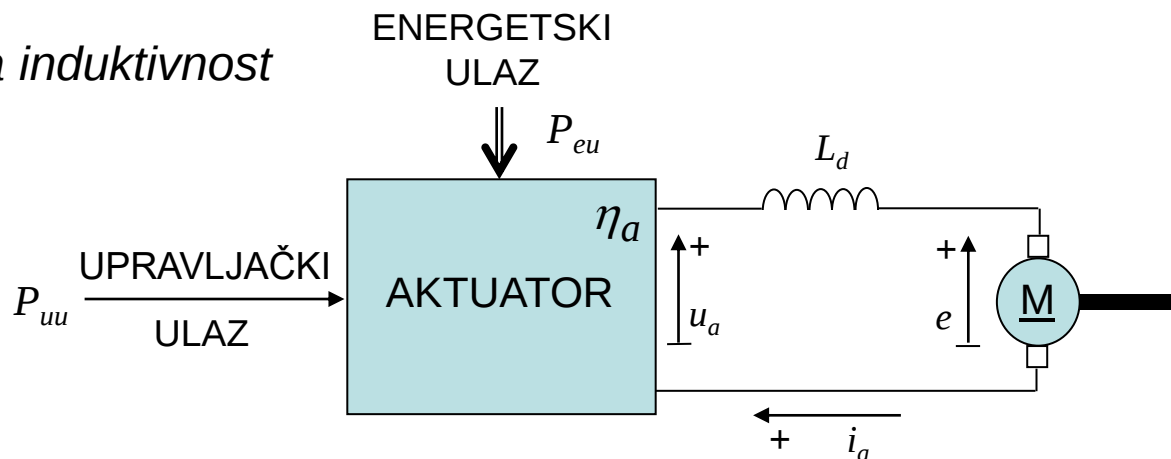


AKTUATORI U POGONU SA MOTOROM ZA JEDNOSMERNU STRUJU (MJS)

Pojačivači snage

Uređaji za napajanje električnom energijom motora za jednosmernu struju u pogonima, pre svega regulisanim.

L_d – dodatna induktivnost



$$P_{uu} \ll u_a i_a$$

$$P_{eu} = \frac{P_a}{\eta_a} = \frac{u_a i_a}{\eta_a}$$

Snaga na upravljačkom ulazu ima isključivo električnu prirodu.

$$P_{uu} = u_c i_c$$

Napon u_c – KOMANDNI NAPON, može biti znatno manji od napona u_a .

U najvećem broju slučajeva:

$$u_a = k_a u_c$$

gde je k_a – konstanta pojačanja aktuatora.

Snaga na energetskom ulazu može biti (u zavisnosti od vrste aktuatora) mehanička ili električna (u naizmeničnom ili jednosmernom obliku).

Vrste aktuatora

Elektromehanički:

1. Generator jednosmerne struje
2. Amplidin

Statički (konvertori) aktuatori

1. Ispravljači (AC/DC)
2. Čoperi (DC/DC)
3. Magnetni pojačivači

- Upravljanje motorom za jednosmernu struju u regulisanom elektromotornom pogonu vrši se promenom napona indukta i napona pobude. Ovo omogućavaju energetski pretvarači čiji je zadatak da na osnovu komande odgovarajućeg regulatora u pogonu generišu promenljivi napon na izlazu.

- Izbor topologije pretvarača zavisi od:

- izvora (naizmenični ili jednosmerni napon),
- broja potrebnih kvadranata u kojima motor treba da radi i
- kvaliteta izlaznog napona, tj. dozvoljene talasnosti momenta i struje.

- Ako je u pitanju izvor jednosmerne struje, npr. baterija, koriste se tranzistorski DC/DC pretvarači (čoperi), a u slučaju naizmeničnog izvora koriste se linijski komutovani (mrežom vođeni) tiristorski AC/DC ispravljači.

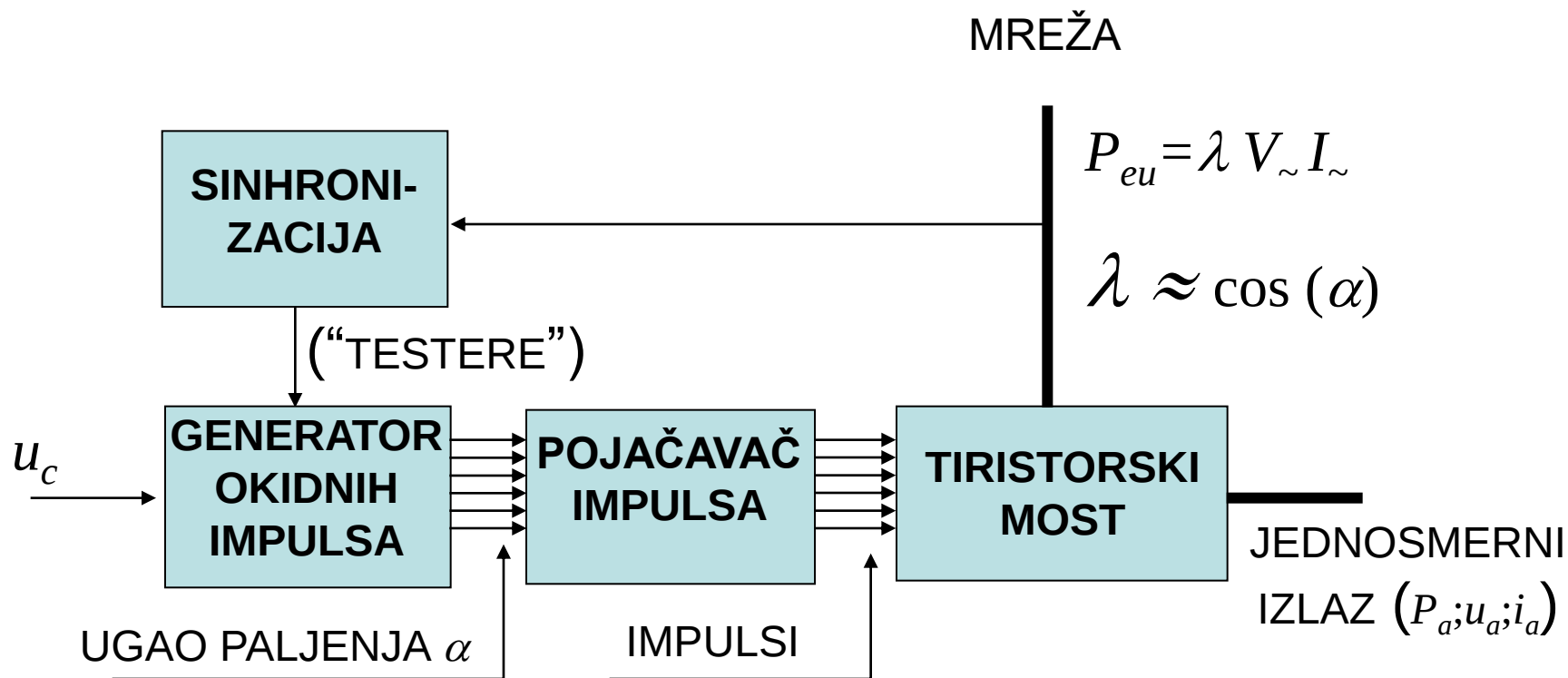
- Linijski komutovani (mrežom vođeni) ispravljači komutuju na učestanosti mreže, pa pulsacione komponente struje imaju niske učestanosti (100-300Hz) i teško se filtriraju, dok tranzistorski čoperi komutuju primenom impulsno širinske modulacije na visokim učestanostima (1kHz – 20 kHz), te se pulsacione komponente struje lako filtriraju samom induktivnošću namotaja MJS.

- Struja sa jednog tiristora prelazi na drugi, zahvaljujući promenama faznih napona na ulazu - KOMUTACIJA

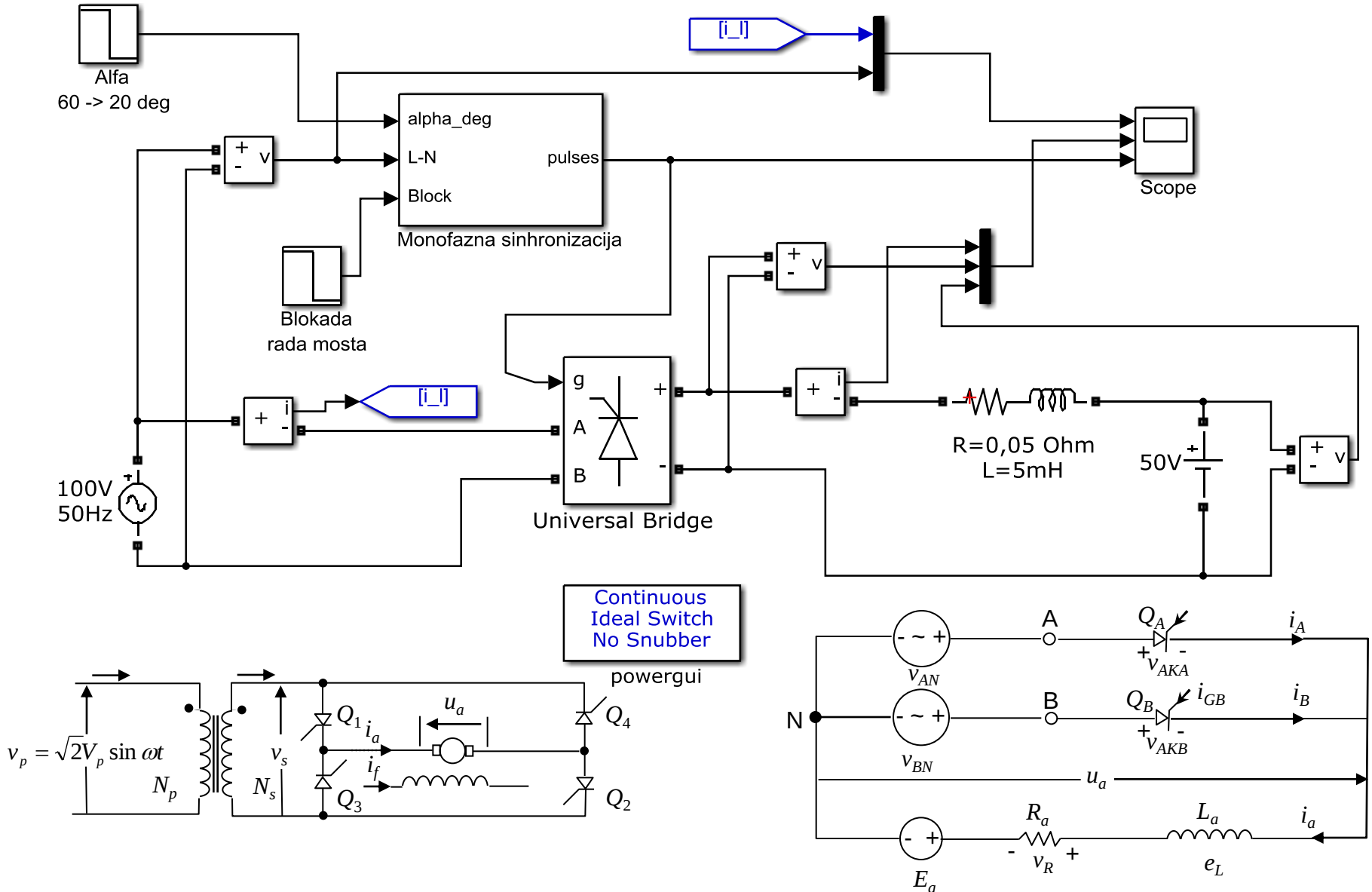
ISPRAVLJAČI

- Iz perspektive danas aktuelnih ispravljača za pogone sa motorom za jednosmernu struju treba govoriti samo o poluprovodničkim ispravljačima, sa tiristorima i diodama, pri tome neregulisane ispravljače (samo diode) i poluupravljljive ispravljače (razne kombinacije tiristora i dioda) treba samo pomenuti.
- Sa stanovišta elektromotornog pogona, delimično ćemo proučiti samo trofazni mosni ispravljač kao primer regulisanog ispravljača.
- Ukoliko nije potrebno da izlazni jednosmerni napon bude regulisan, koriste se neregulisani diodni ispravljači a u suprotnom, ukoliko treba menjati srednju vrednost izlaznog napona, diode se zamenljuju tiristorima i ispravljač postaje upravljiv. Najčešće se neregulisani diodni ispravljači koriste kao ulazni ispravljački stepeni dvostepenih pogonskih pretvarača (frekventni pretvarači u elektromotornom pogonu sa motorima za naizmeničnu struju), dok se regulisani monofazni ispravljači koriste za pogone manje snage, a regulisani trofazni ispravljači za pogone veće snage.

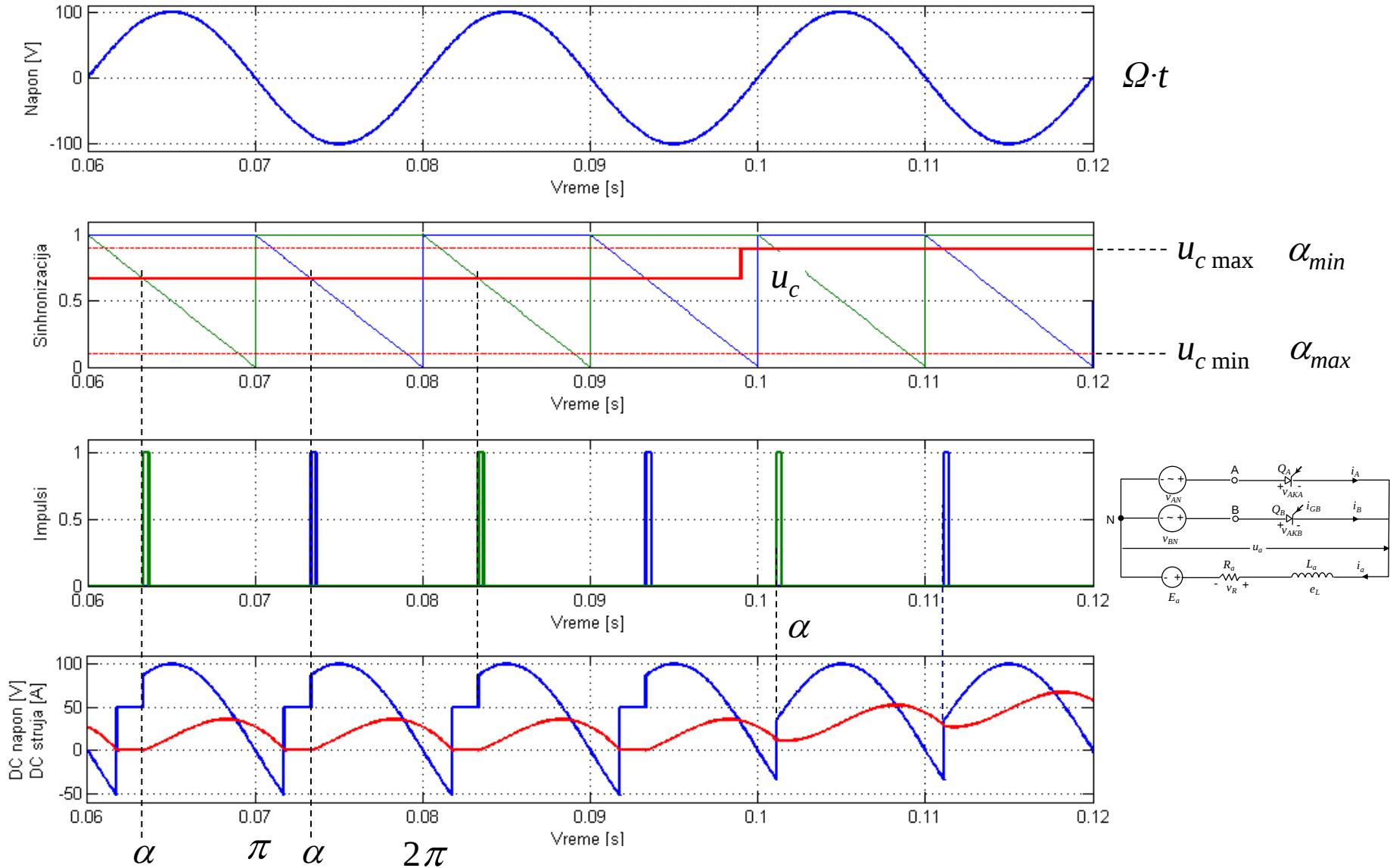
Strukturna šema ispravljača:



Simulacioni blok dijagram



Dijagram pretvaranja komandnog napona u_c u ugao paljenja α



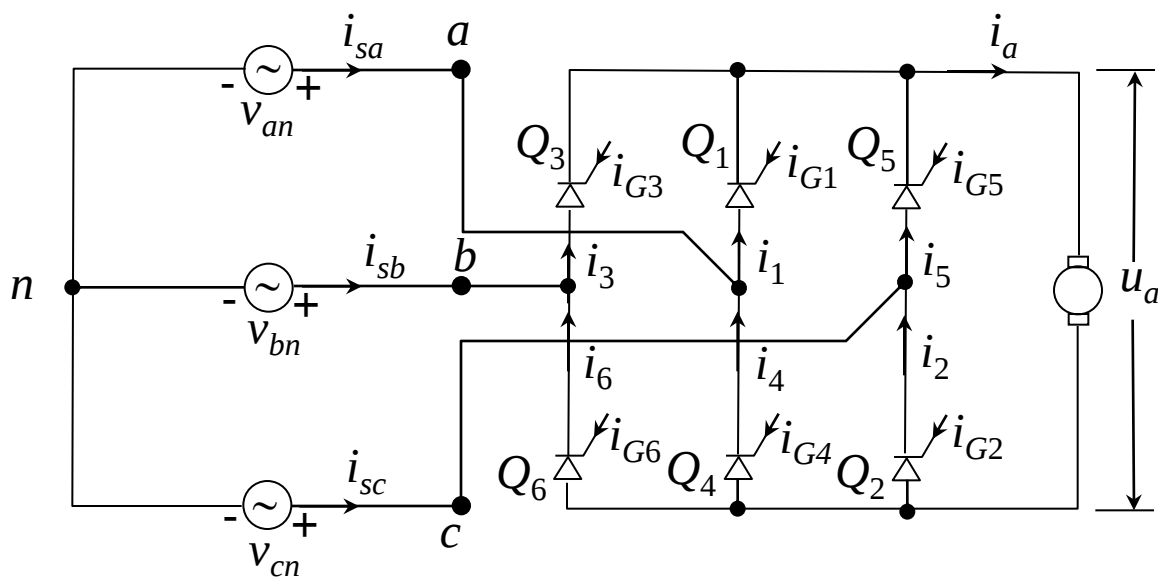
Pojačanje generatora impulsa:

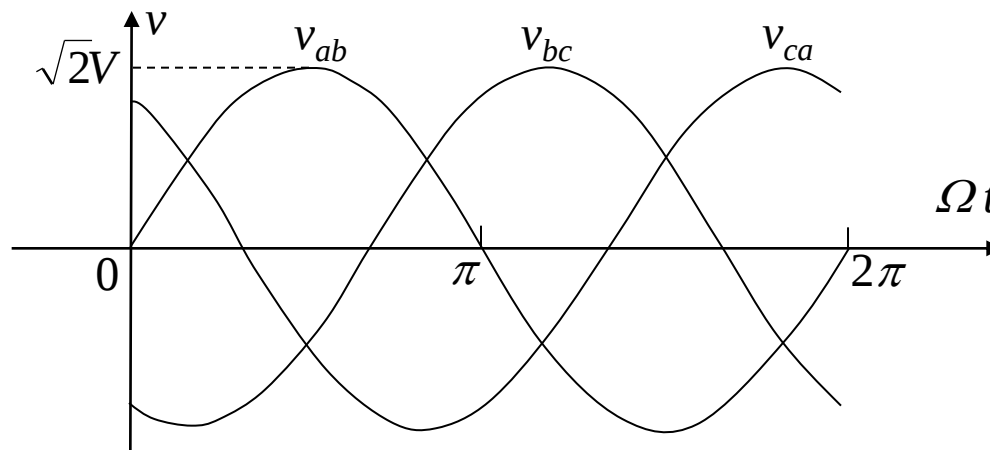
$$k_{gi} = \frac{\alpha_{\min} - \alpha_{\max}}{u_{c \max} - u_{c \min}} = - \frac{\alpha_{\max} - \alpha_{\min}}{u_{c \max} - 0} \left[^\circ / \text{V} \right]$$

Trofazni tiristorski most

Ova konfiguracija ispravljača danas se najčešće koristi u praksi.

Principijelna šema trofaznog mosta data je na slici.



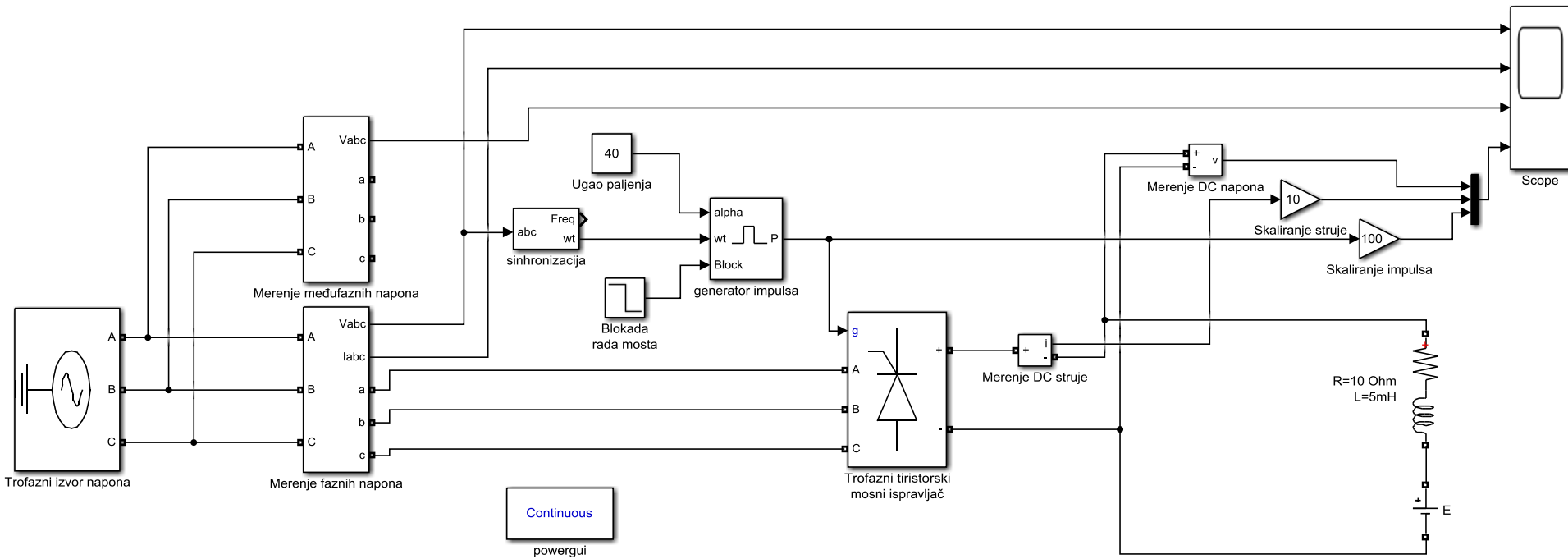


Kod ovog načina ispravljanja postoje režimi sa prekidnom i neprekidnom strujom, kao i u slučaju monofaznog ispravljača.

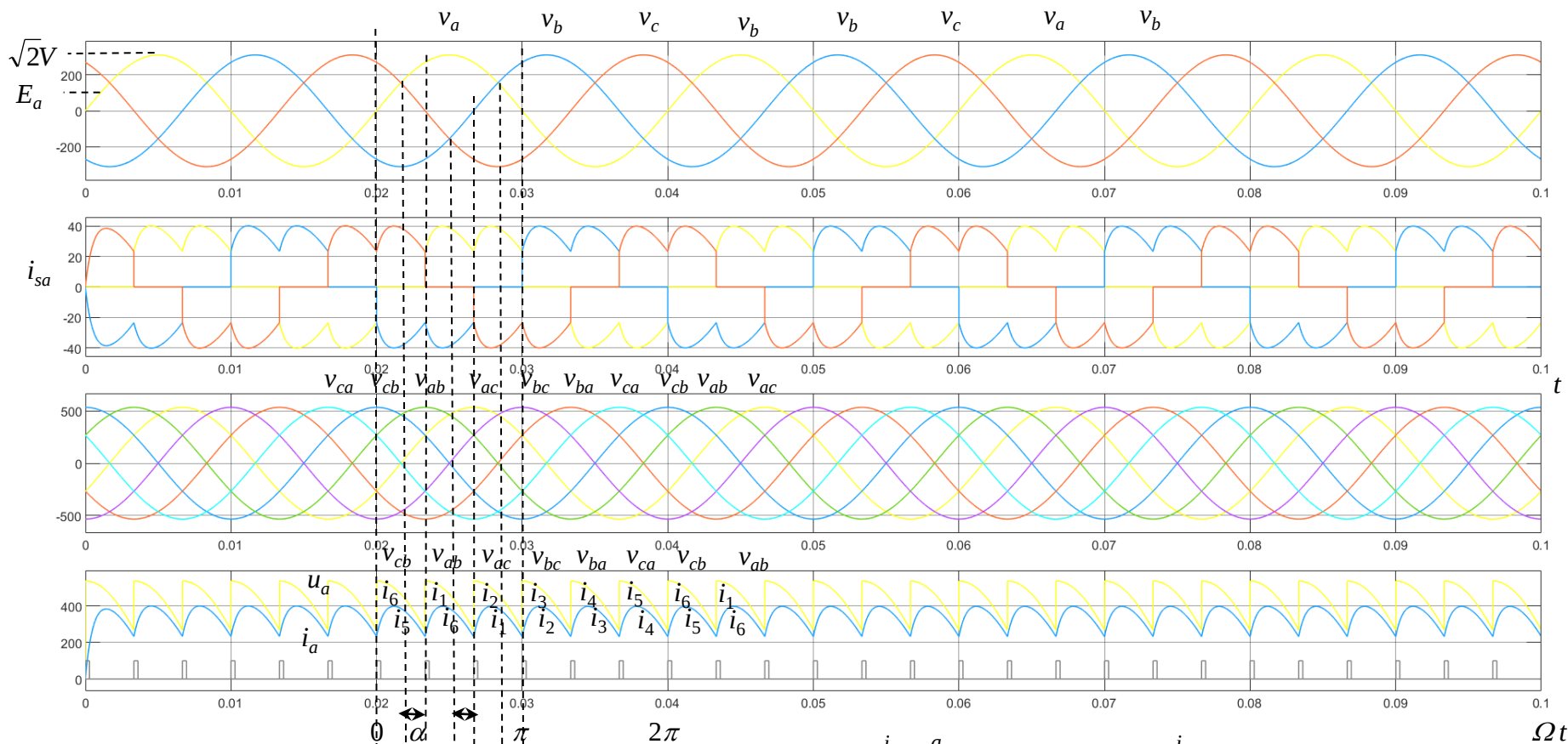
Režim **PREKIDNIH STRUJA** nećemo proučavati iz dva razloga:

- zbog višefaznog ispravljanja ovaj režim se ne javlja često;
- analiza režima prekidnih struja je u principu ista kod svih vrsta ispravljanja.

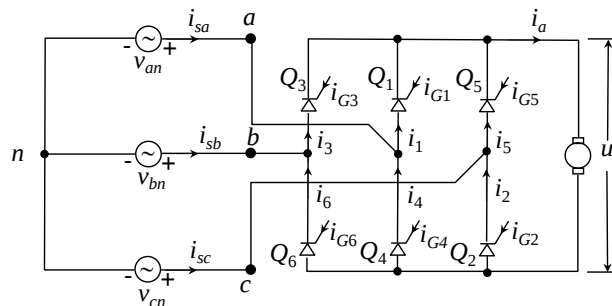
Simulacioni blok dijagram



Režim neprekidnih struja ispravljački režim rada



$$U_a(\alpha) = \frac{1}{\pi/3} \int_{\pi/6+\alpha}^{\pi/2+\alpha} v_{ab} d(\Omega t) = \frac{3\sqrt{2}}{\pi} V_{linijsko} \cos \alpha$$



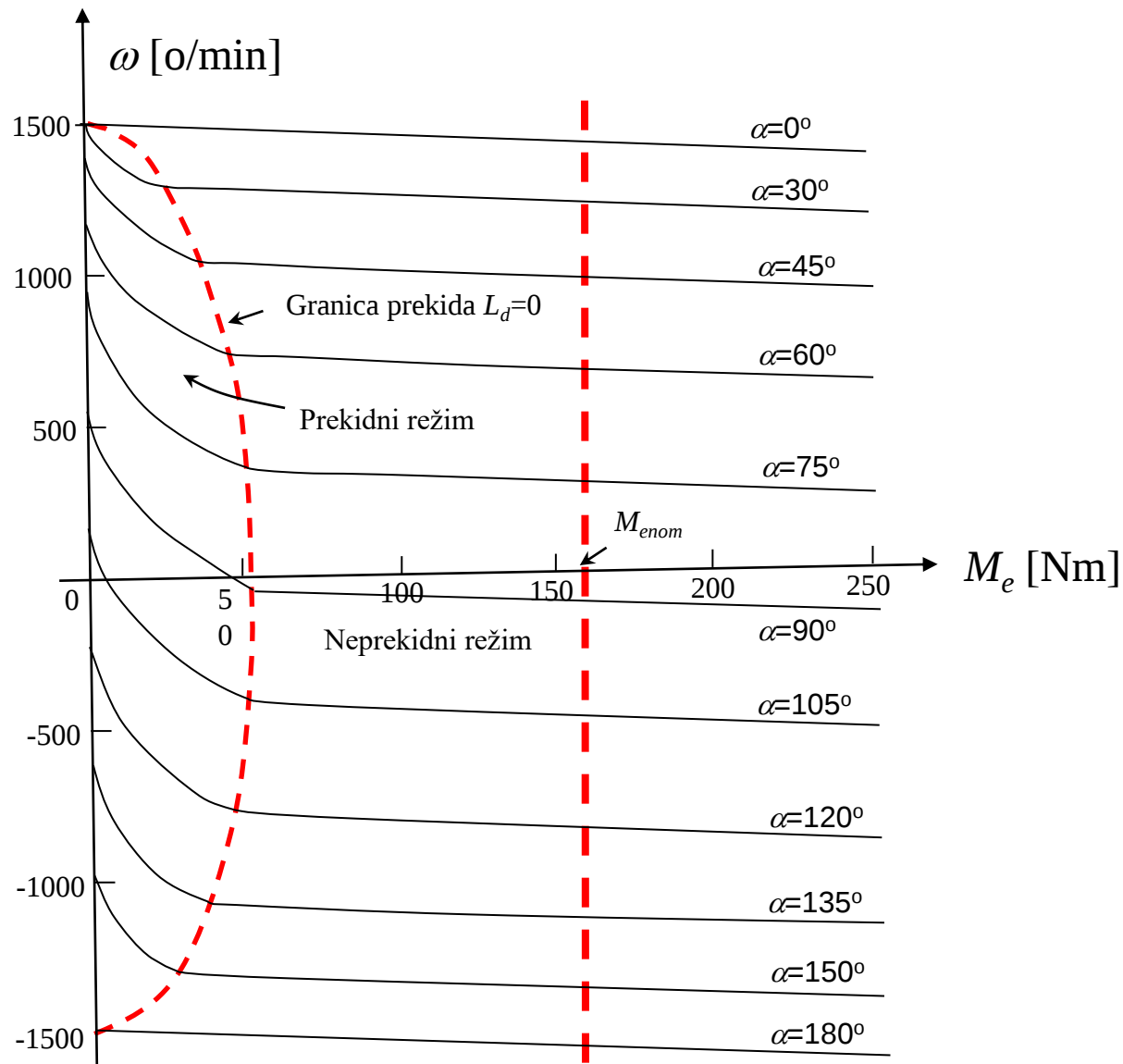
Srednja struja je:

$$I_a(\alpha, \omega) = \frac{U_a(\alpha) - \psi_f \omega}{R_a}$$

Mehanička karakteristika, koja se može aproksimirati linearnom je:

$$\omega = \frac{3\sqrt{2}V}{\pi\psi_f} \cos \alpha - \frac{R_a}{\psi_f^2} M_e$$

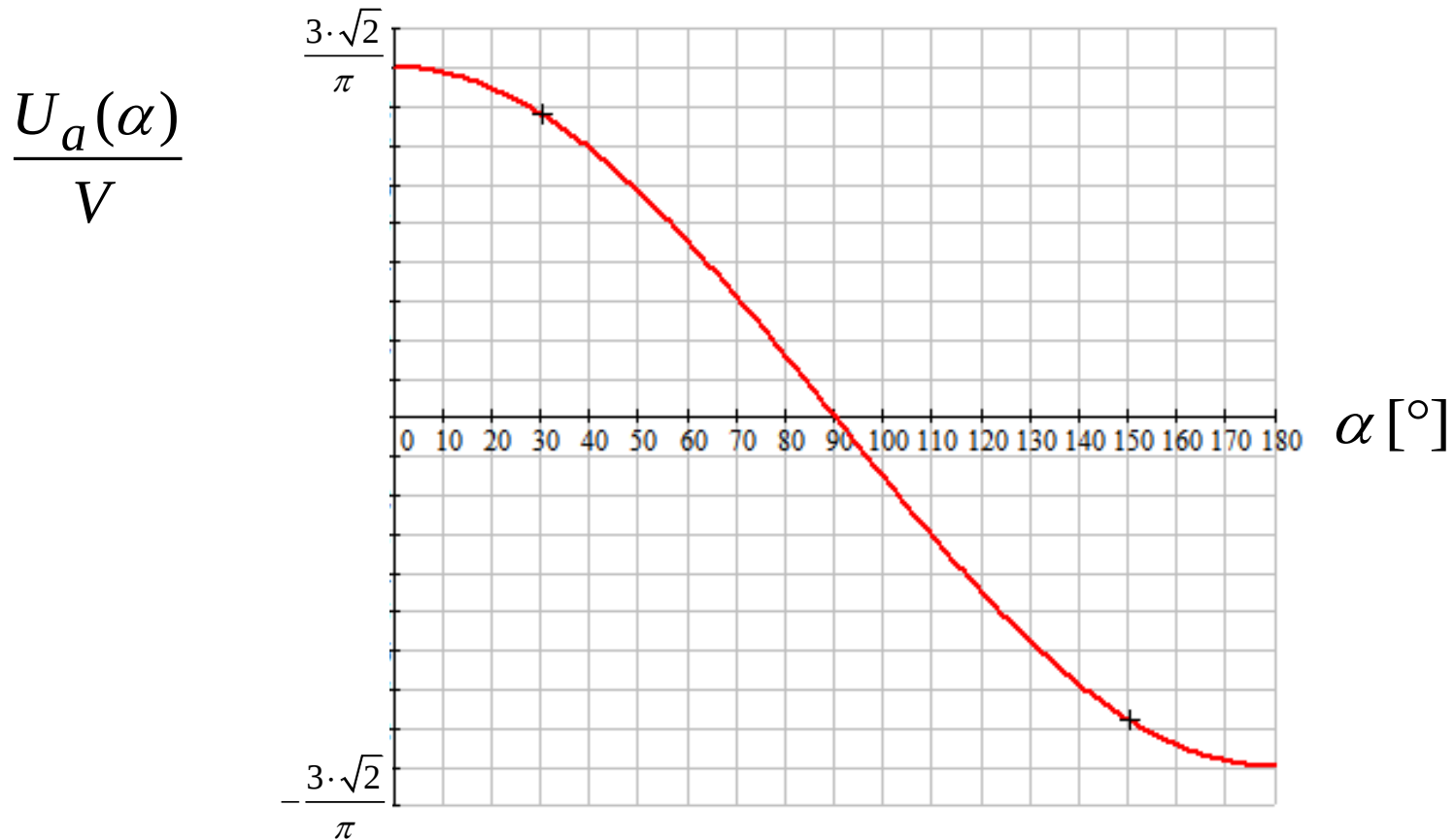
Familije mehaničkih karakteristika za različite uglove paljenja date su na slici.



- Srednja vrednost izlaznog napona zavisi od ugla uključenja tiristora α , i ako je on veći od 90° , ona postaje negativna, pa ispravljač prelazi u invertorski režim rada. Zbog promene znaka izlaznog napona, tiristorski ispravljač se može koristiti za rekuperativno kočenje u 4. kvadrantu. Za četvorokvadrantni rad se 2 tiristorska ispravljača povezuju antiparalelno, a odgovarajućim saglasnim upravljanjem mogu se dobiti oba znaka napona i oba znaka struje.

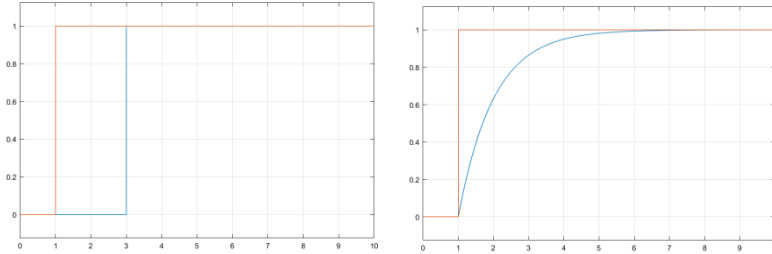
Funkcija prenosa mosta

Most je nelinearan sistem! Pojaćanje se određuje linearizacijom.



$$k_{mos} = \frac{\Delta U_a}{\Delta \alpha} = \frac{3\sqrt{2} \cdot V}{\pi} \frac{(\cos 30^\circ - \cos 150^\circ)}{30 - 150} = -0,0195 \cdot V \text{ [V/}^\circ\text{]}$$

U dinamičkim režimima most unosi transportno kašnjenje, međutim, zbog pojednostavljenja analize most se može predstaviti kao član sa kašnjenjem prvog reda:

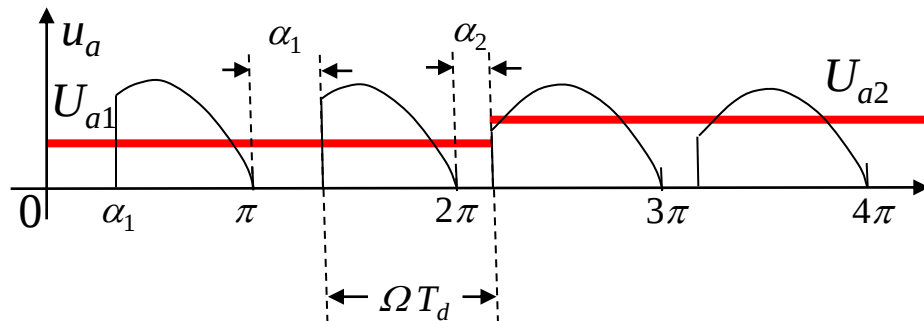


$$G_{mos}(p) = \frac{k_{mos}}{1 + pT_d}$$

Gde je: T_d – srednje vreme kašnjenja koje je za trofazni most napajan iz naizmenične mreže sa 50Hz:

$$T_d = \frac{1}{2} \cdot \frac{T}{6} = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{6 \cdot f} = 1,66\text{ms}$$

Promena ugla paljenja se može dogoditi bilo kada, dok promena napona nastaje tek nakon uključenja odgovarajućeg tiristora.



Ukupno pojačanje ispravljača

$$k_{gi} = \frac{\alpha_{\min} - \alpha_{\max}}{u_{c\max} - u_{c\min}} = -\frac{\alpha_{\max} - \alpha_{\min}}{u_{c\max} - 0} [^{\circ} / \text{V}] \quad k_{mos} = -0,0195 \cdot V [\text{V} / ^{\circ}]$$

$$k_{is} = k_{gi} \cdot k_{mos} = 0,0195 (\alpha_{\max} - \alpha_{\min}) \frac{V}{u_{c\max}} [^{\circ}]$$

U praksi je:

$$\alpha_{\min} = 10 - 30^{\circ}$$

$$\alpha_{\max} = 150 - 160^{\circ}$$

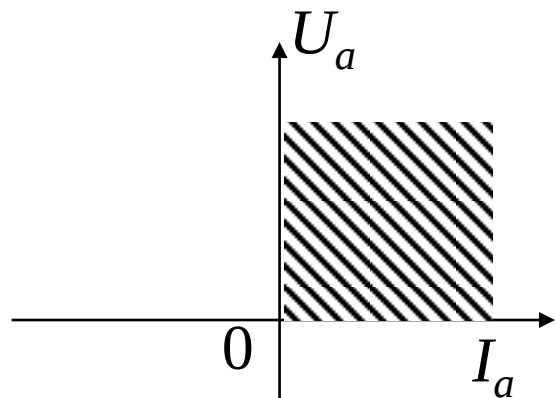
Funkcija prenosa ispravljača:

$$G_{is}(p) = \frac{k_{is}}{1 + pT_d}$$

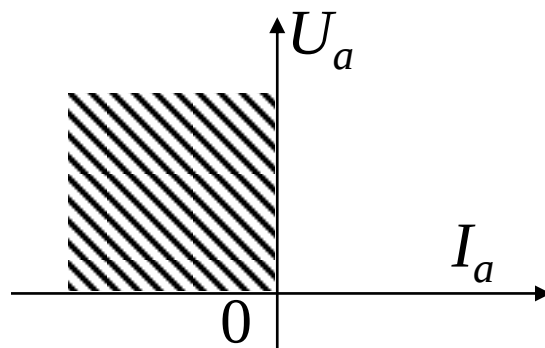
ČOPERI

U ZAVISNOSTI U KOJIM KVADRANTIMA
JE MOGUĆ RAD, DELIMO IH NA KLASU:

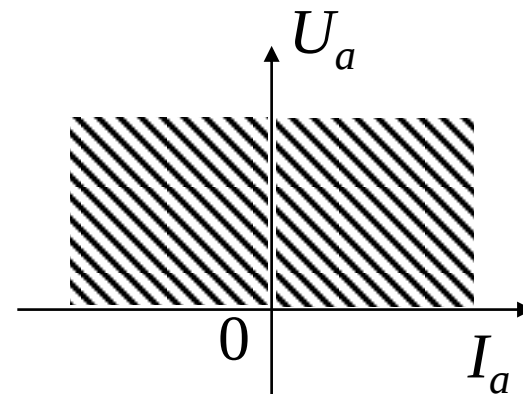
A, B, C, D i E



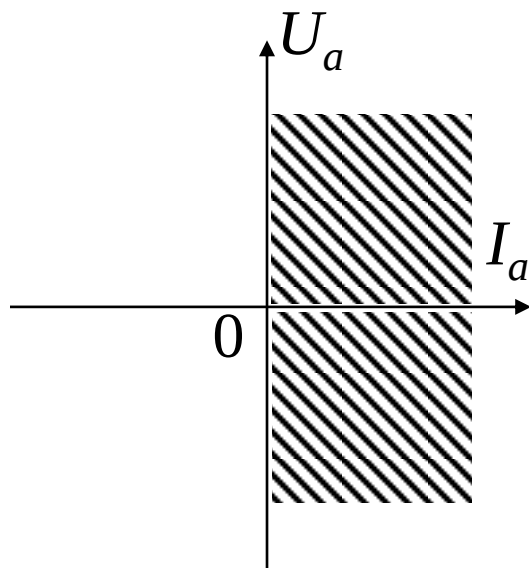
Klasa A



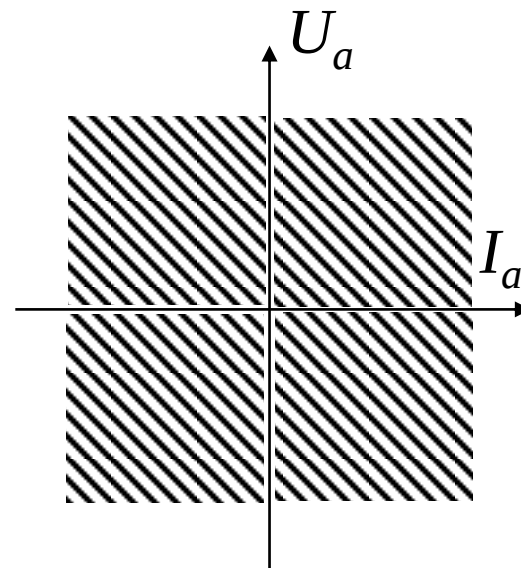
Klasa B



Klasa C



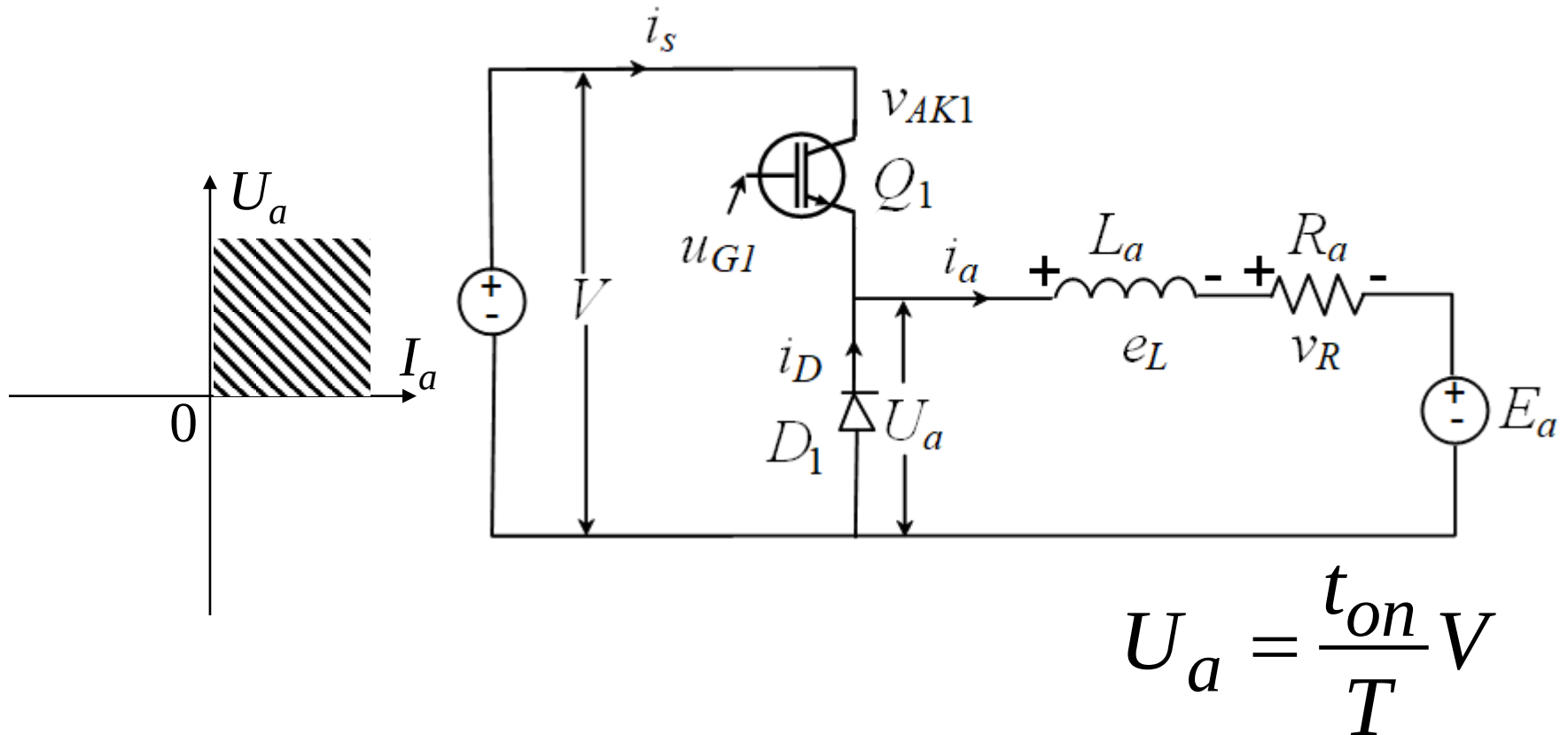
Klasa D

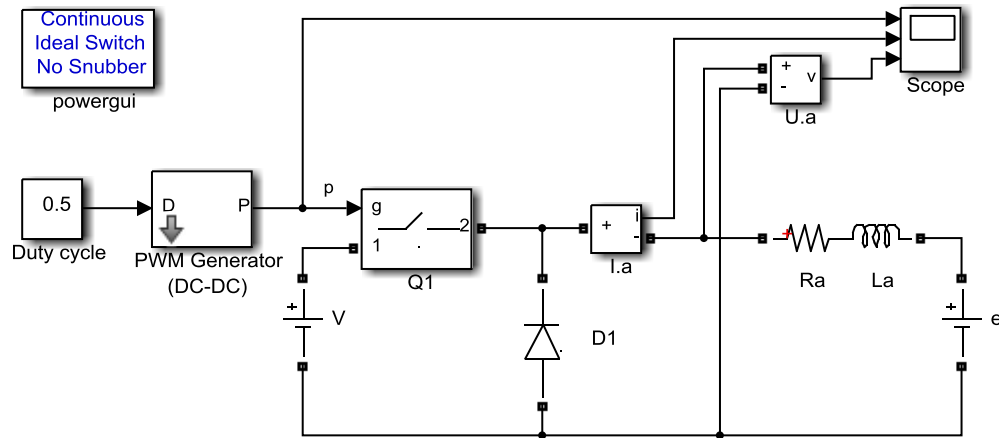


Klasa E

ČOPER KLASA A (spuštač napona)

Na slici je prikazana šema ovog čopera i dijagrami karakterističnih veličina u režimu sa prekidnom strujom i u režimu sa neprekidnom strujom.





ČOPER KLASSE A

Režim sa prekidnom strujom

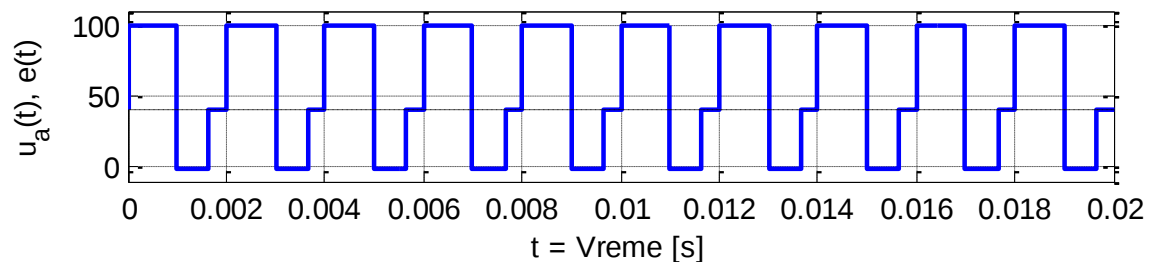
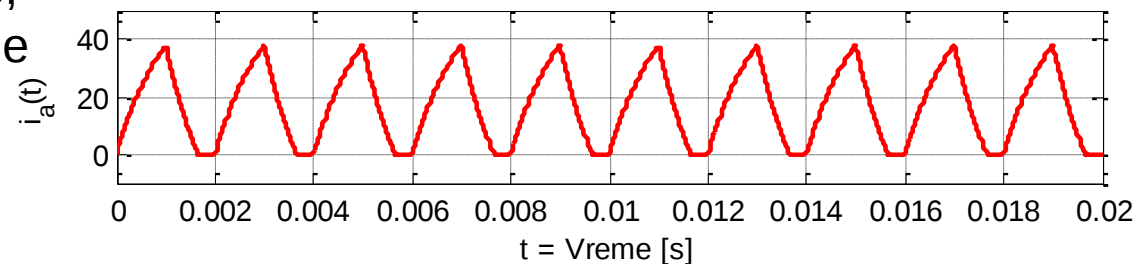
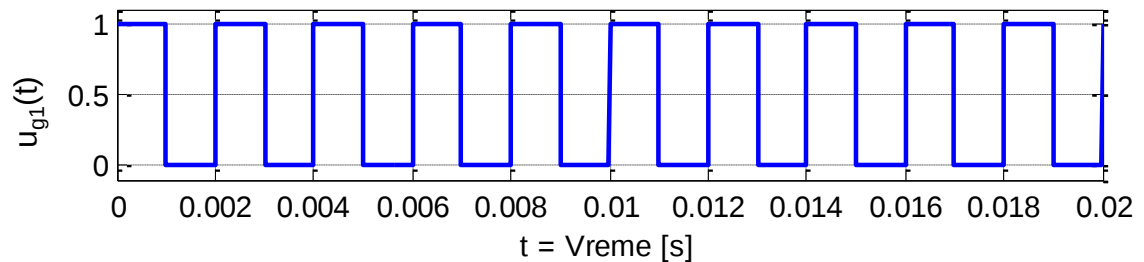
$$U_a = \frac{t_{on}}{T_p} V$$

$$\frac{U_a}{V} = \frac{t_{on}}{T_p} = d \quad \text{- Duty cycle, faktor ispune}$$

$$V = 100V, e = 40V$$

$$R_a = 1\Omega, L_a = 1mH$$

$$T_p = 0,002s \quad F_p = 500Hz$$



ČOPER KLASA A

Režim sa neprekidnom strujom

$$V = 100V,$$

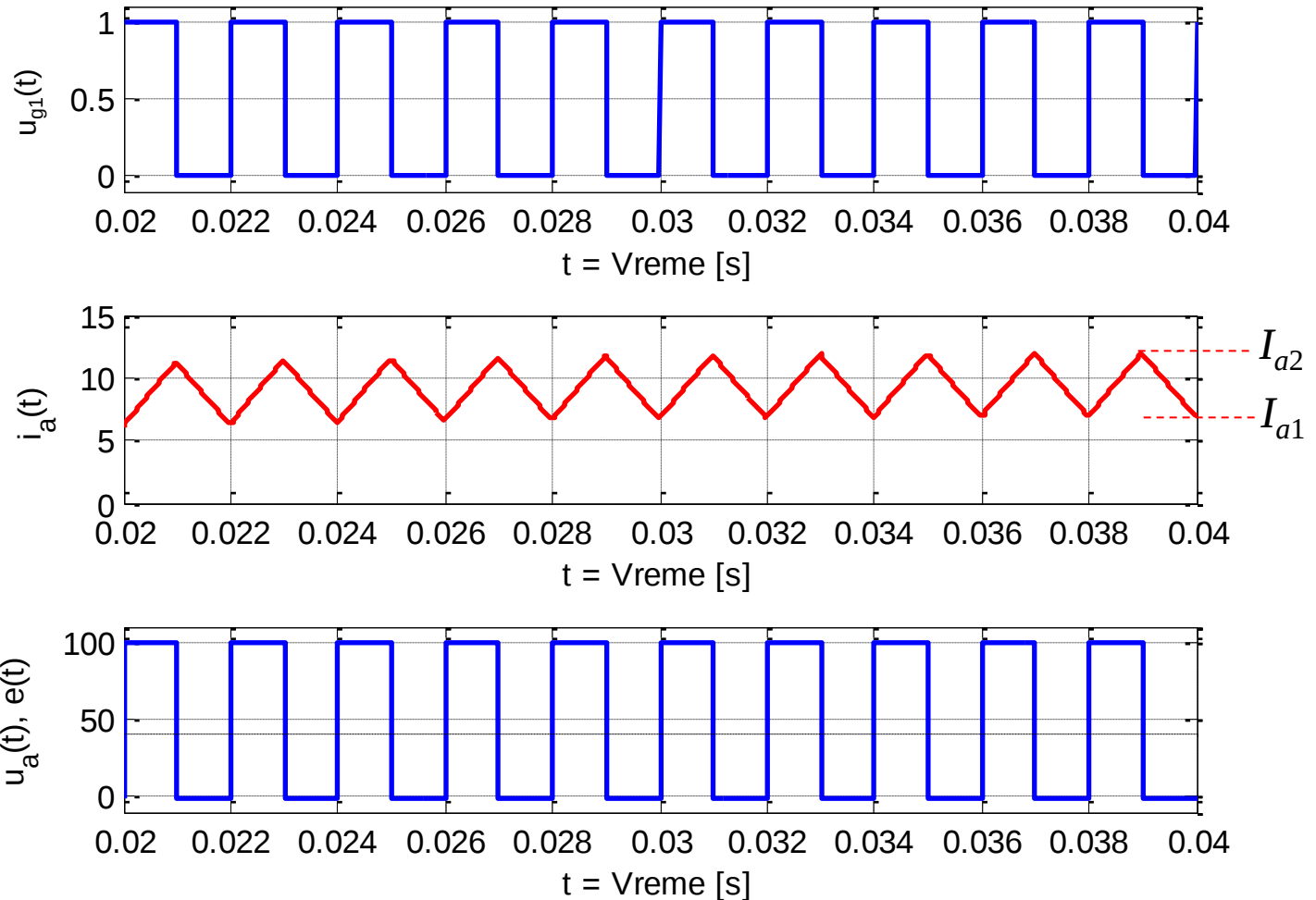
$$e = 40V$$

$$R_a = 1\Omega,$$

$$L_a = 10\text{mH}$$

$$T_p = 0,002s$$

$$F_p = 500\text{Hz}$$



Documentation

CONTENTS

PWM Generator

Generate pulse width modulated signal

Library: Simscape / Power Systems / Simscape Components / Control / Pulse Width Modulation

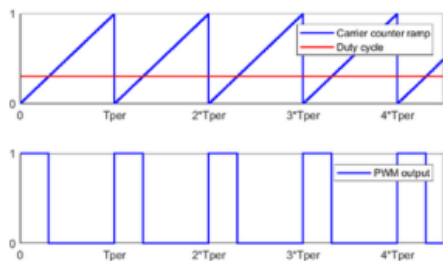
Description

The PWM Generator block implements a PWM generator. The pulse width modulation technique controls power transfer from one electrical component to another by quickly switching between full power transfer and no power transfer.

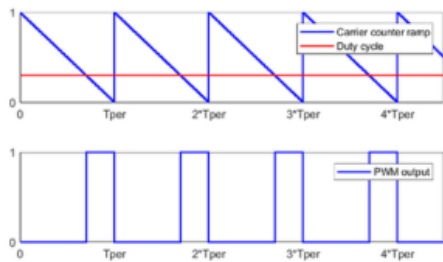
Working Principle

The PWM generator block outputs either 1 when the duty cycle is greater than the carrier counter value, or 0 otherwise. You can set the period of each cycle by specifying the timer period T_{per} . You can change the initial output, or phase, of the PWM output by specifying one of three types of carrier counters:

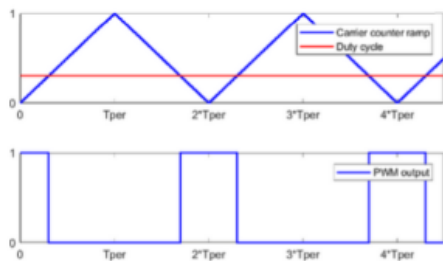
- Up counter — The PWM output signal initializes at the start of the on cycle. This graphic shows the carrier counter signal and the corresponding PWM output.



- Down counter — The PWM output signal initializes at the start of the off cycle. This graphic shows the carrier counter signal and the corresponding PWM output.



- Up-down counter — The PWM output signal initializes halfway through the on cycle. This graphic shows the carrier counter signal and the corresponding PWM output.



$$T_{per} = T_p$$

$$T_s \leq T_{per}/10$$



Block Parameters: PWM Generator

PWM Generator (mask) (link)

This block implements a PWM generator.

Parameters

Carrier counter: Up

Timer period (s): 0.001

Sample time (s): 5e-5

OK Cancel Help Apply

Ports

Input

DC — Duty cycle
scalar

Duty cycle in the range [0,1].

Data Types: single | double

Output

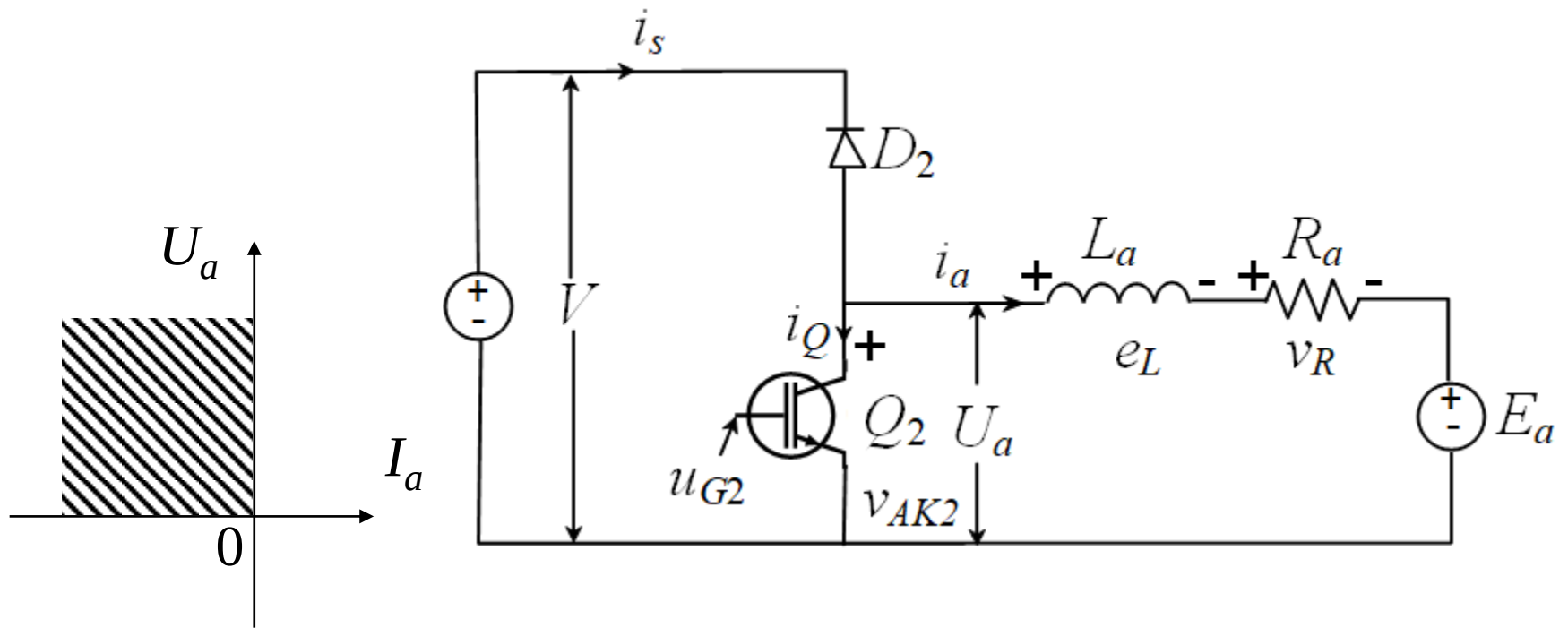
PWM — PWM signal
scalar

Pulse width modulation signal.

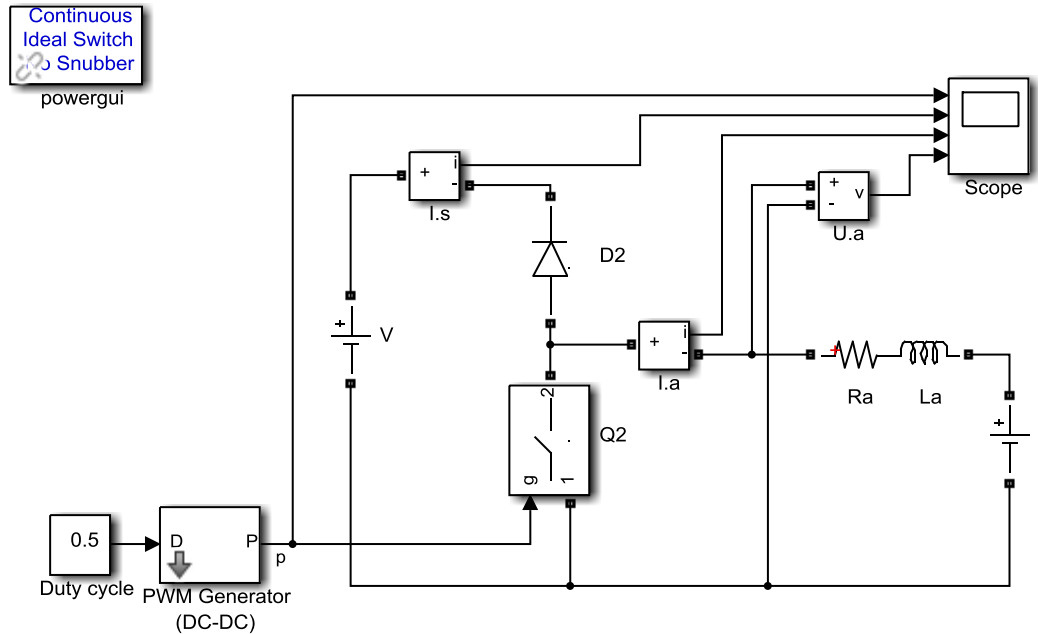
Data Types: single | double

ČOPER KLASA B (podizač napona)

Šema i dijagram karakterističnih veličina u režimu sa neprekidnom strujom je data na slici.



ČOPER KLASA B



$$U_a = \frac{T_p - t_{on}}{T_p} V$$

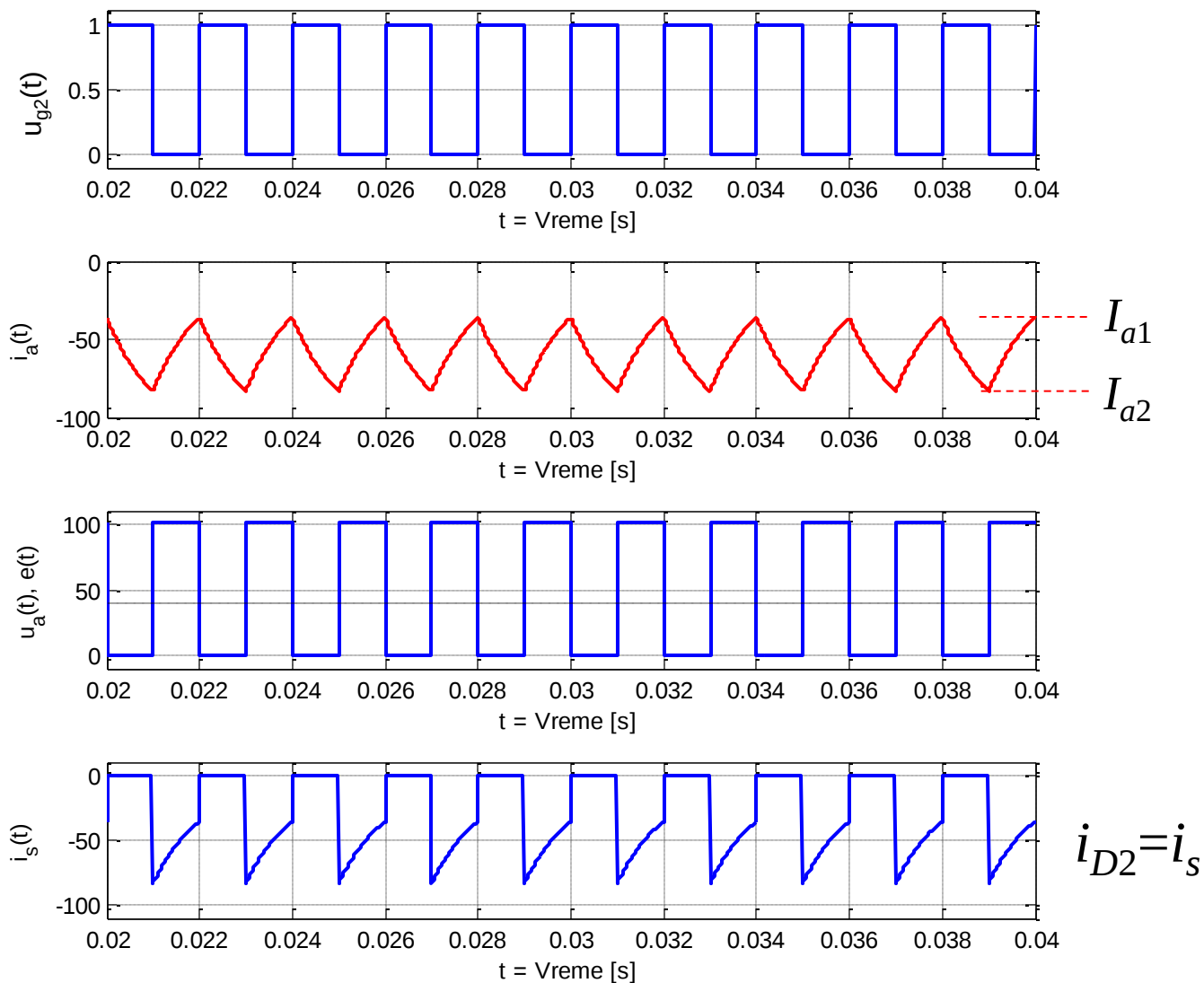
$$V = 100V, e = 110V$$

$$R_a = 1\Omega, L_a = 1mH$$

$$T_p = 0,002s \quad F_p = 500Hz$$

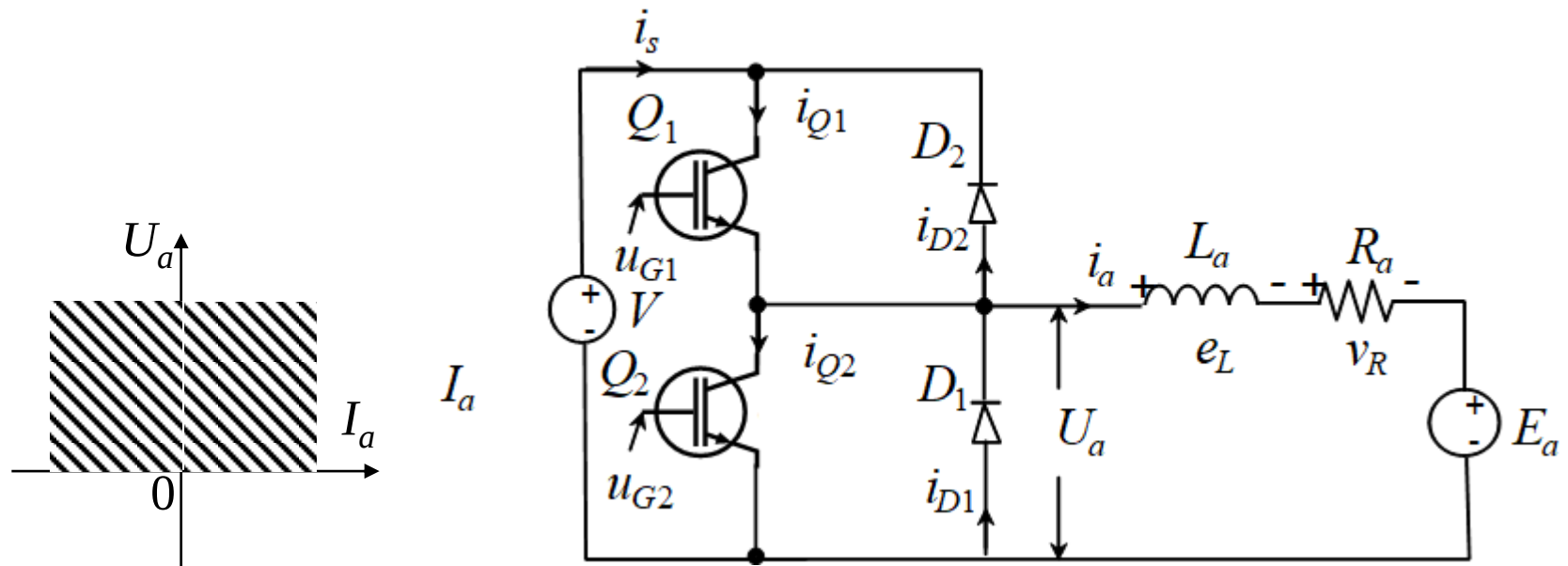
ČOPER KLASA B

Režim sa neprekidnom strujom

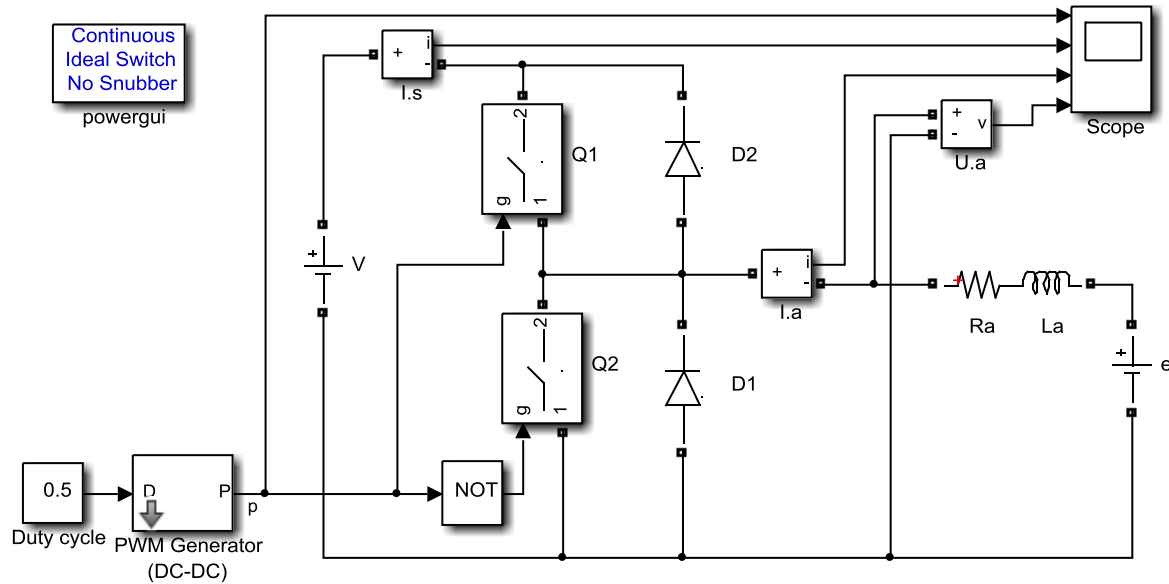


ČOPER KLASSE C

Ovaj čoper omogućava rad u dva kvadranta i predstavlja kombinaciju prethodna dva. Šema i karakteristični dijagrami dati su na slici.



ČOPEK KLASE C



$$V = 100V, e = 40V$$

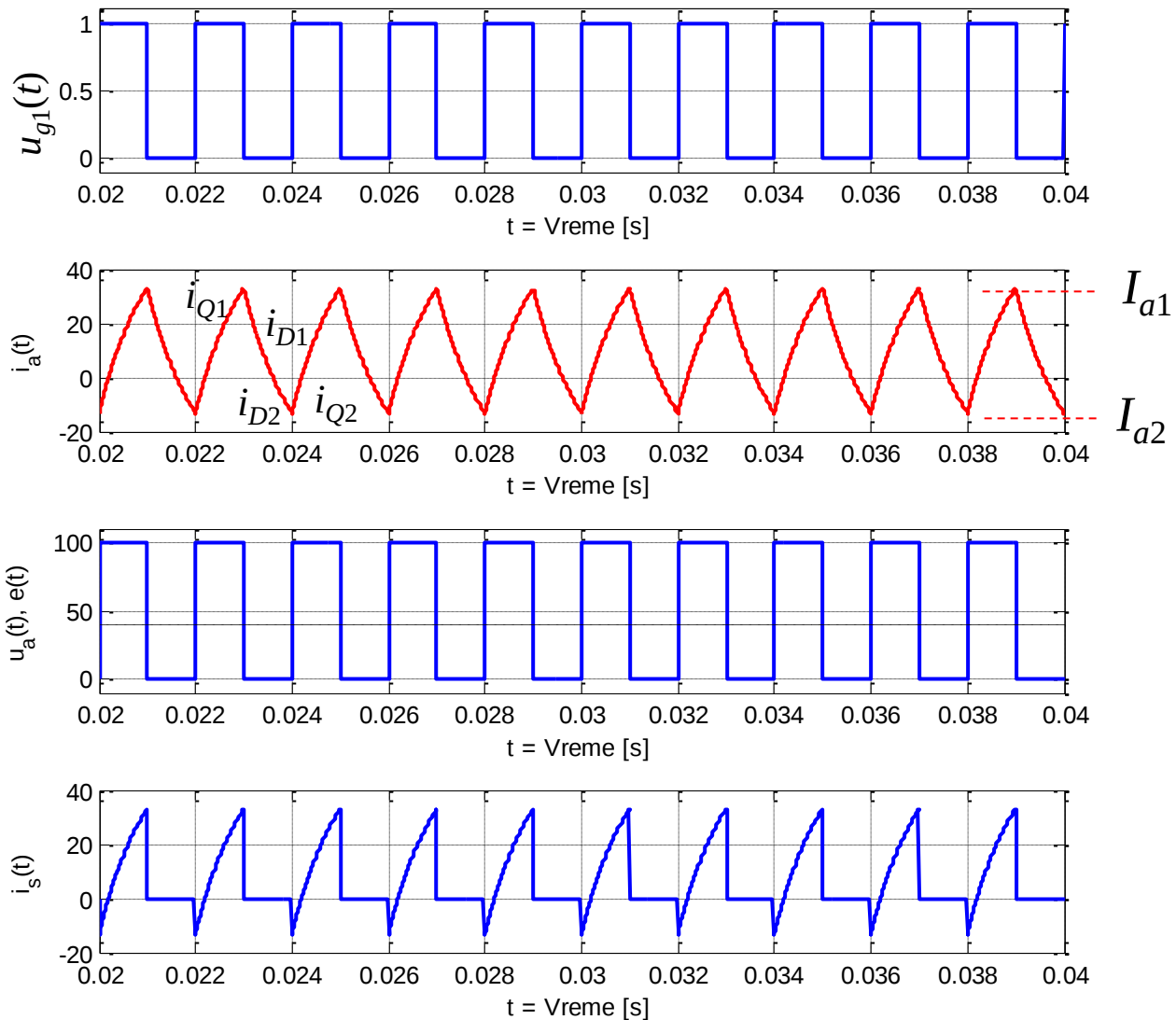
$$R_a = 1\Omega, L_a = 1mH$$

$$T_p = 0,002s \quad F_p = 500Hz$$

$$U_a = \frac{t_{on}}{T_p} V$$

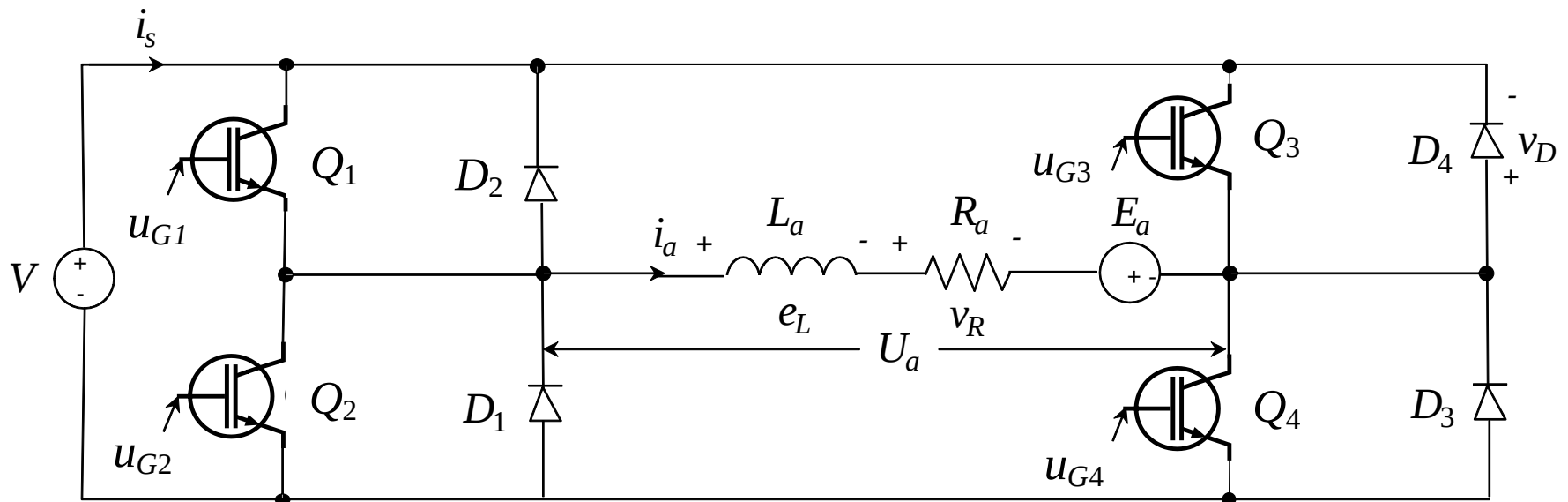
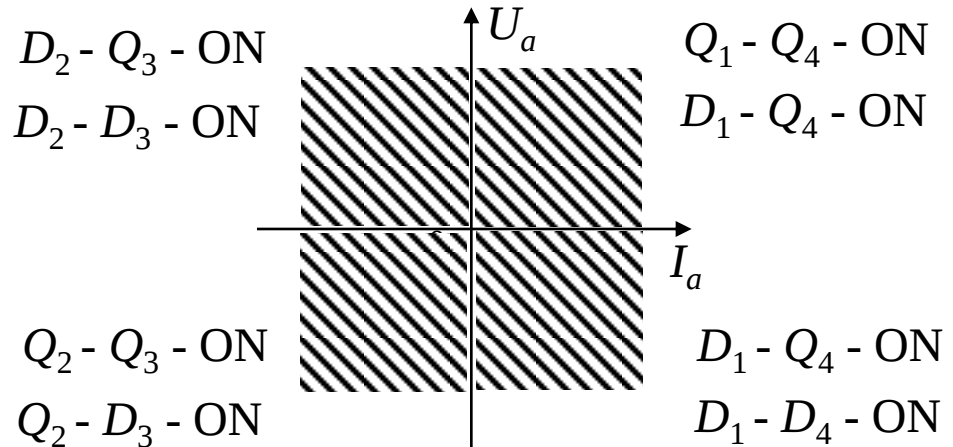
Čoper klase C

Režim rada sa neprekidnom strujom

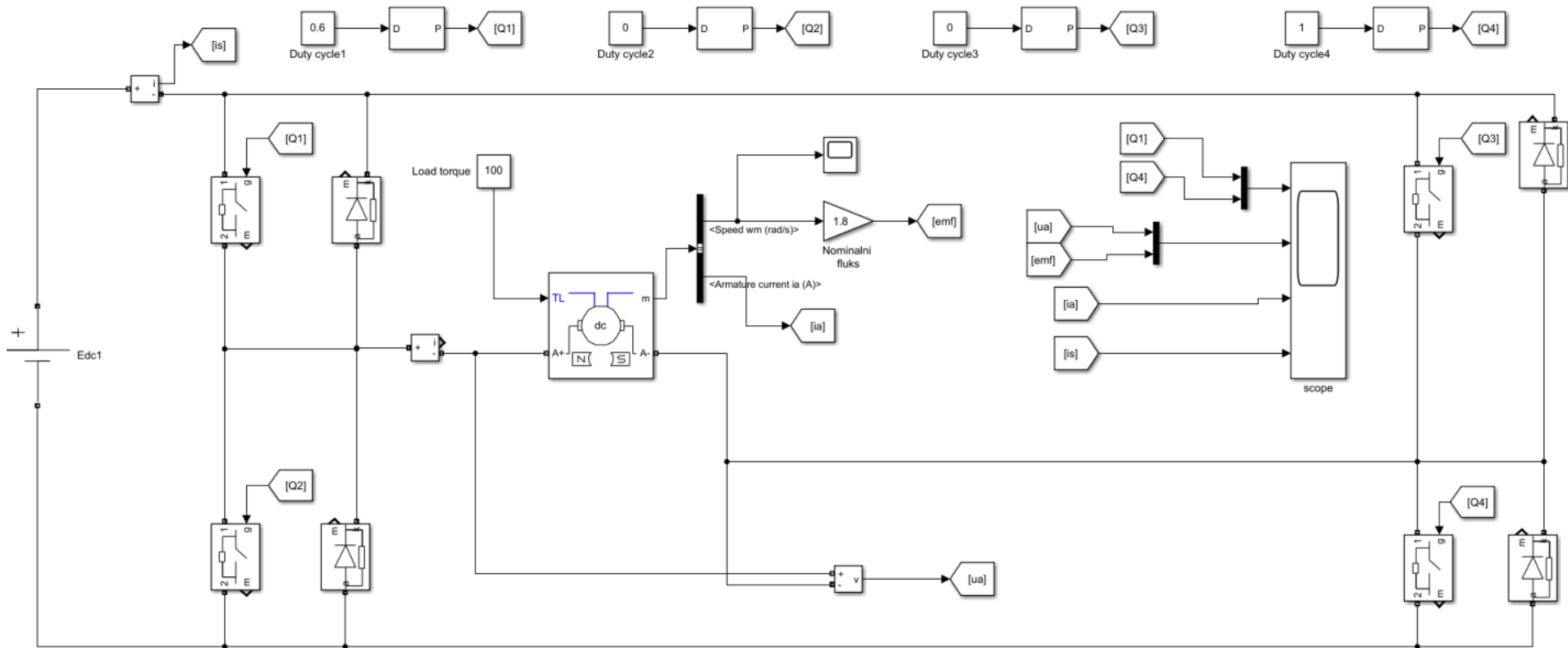


ČOPER KLASSE E

Kombinacija dva čopera klase C omogućava četvoro-kvadrantni rad. Šema čopera je na slici.



ČOPER KLASA E



$$V = 100\text{V}, e \approx 50\text{V}$$

$$R_q = 0,1\Omega, L_q = 10\text{mH}$$

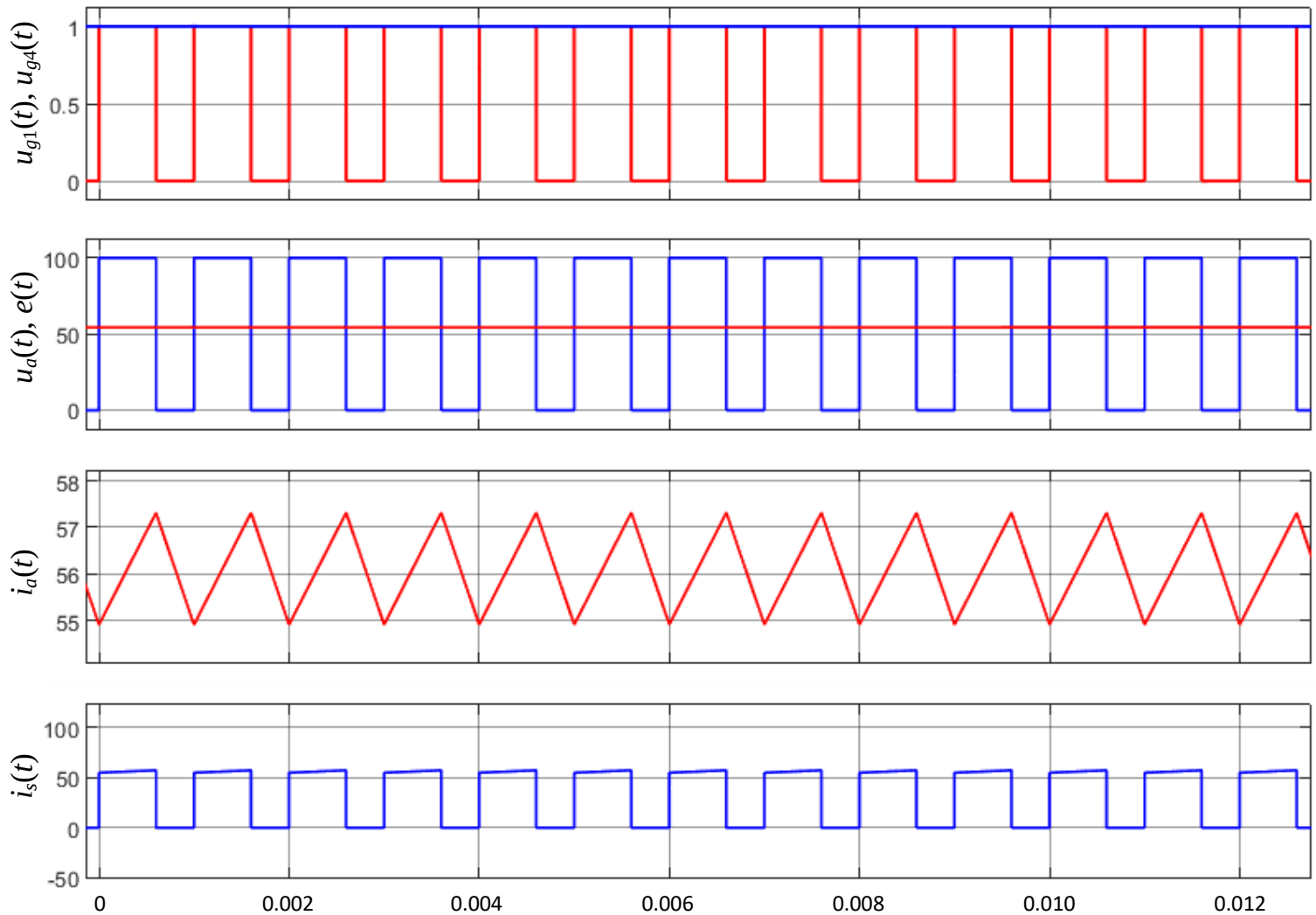
$$T_p = 0,001s \quad F_p = 1000Hz$$

Čoper klase E

Režim rada sa neprekidnom strujom u I kvadrantu

$Q_1 - Q_4$ - ON

$D_1 - Q_4$ - ON

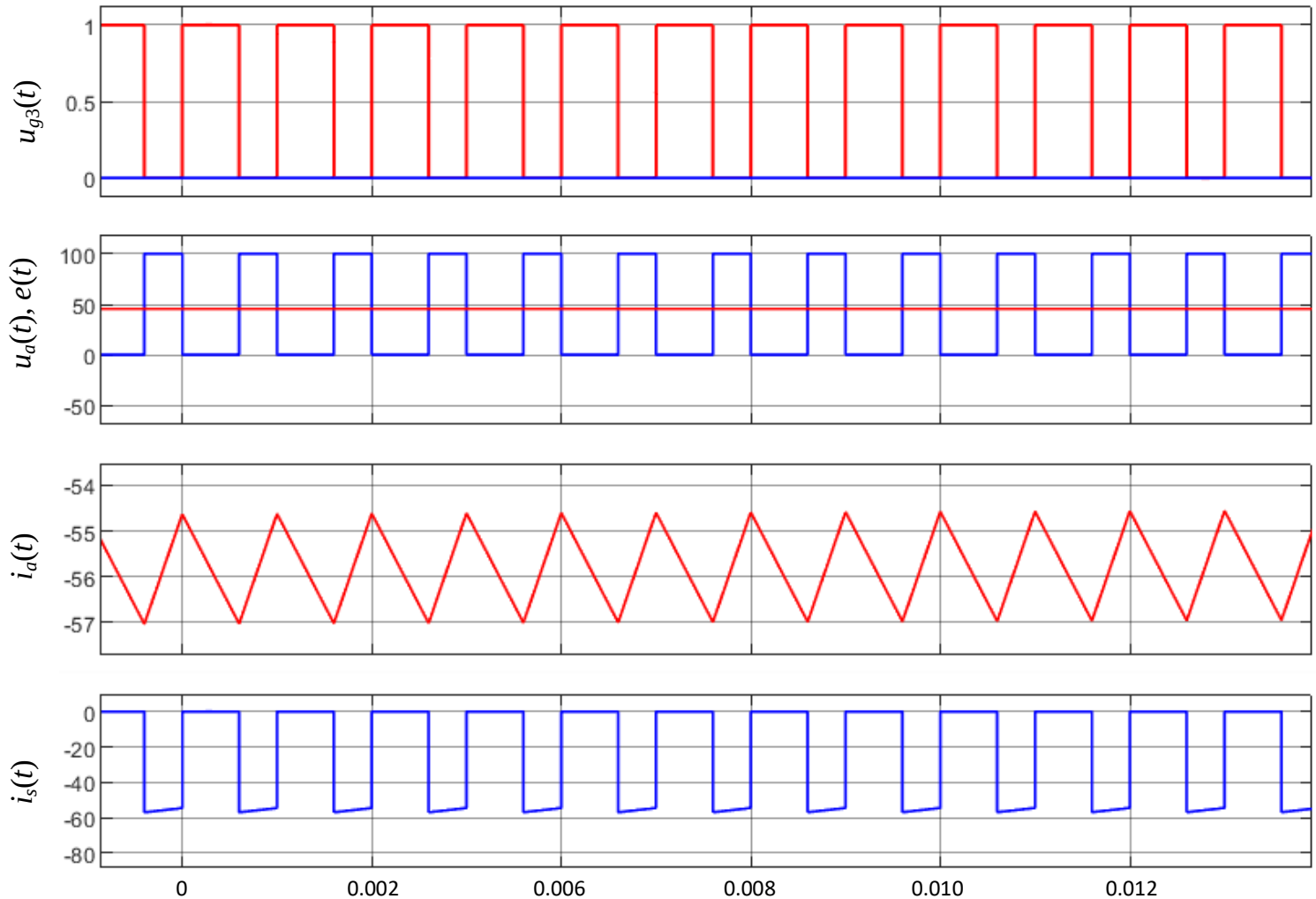


Čoper klase E

Režim rada sa neprekidnom strujom u II kvadrantu

$D_2 - Q_3$ - ON

$D_2 - D_3$ - ON

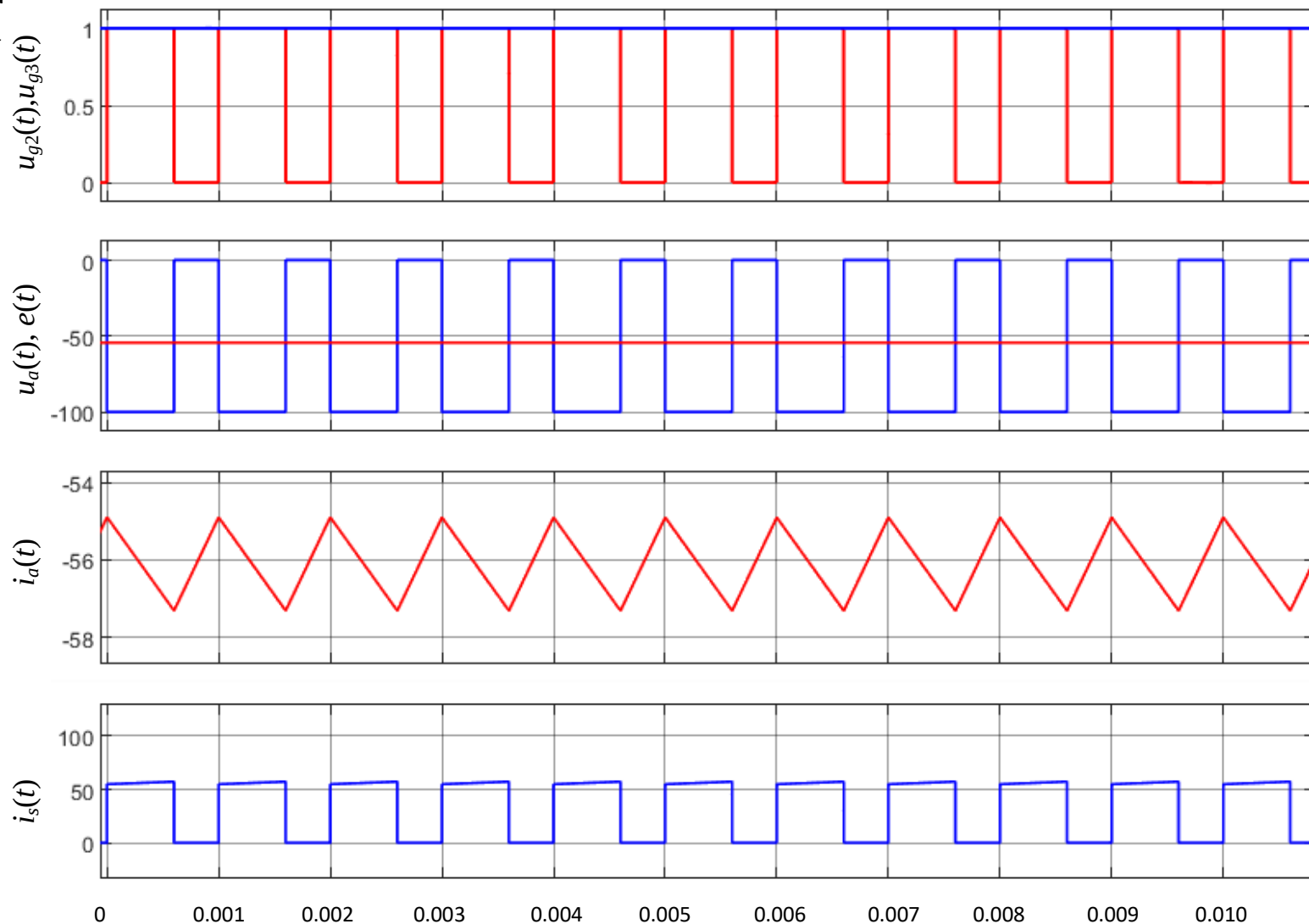


Čoper klase E

Režim rada sa neprekidnom strujom u III kvadrantu

$Q_2 - Q_3$ - ON

$Q_2 - D_3$ - ON

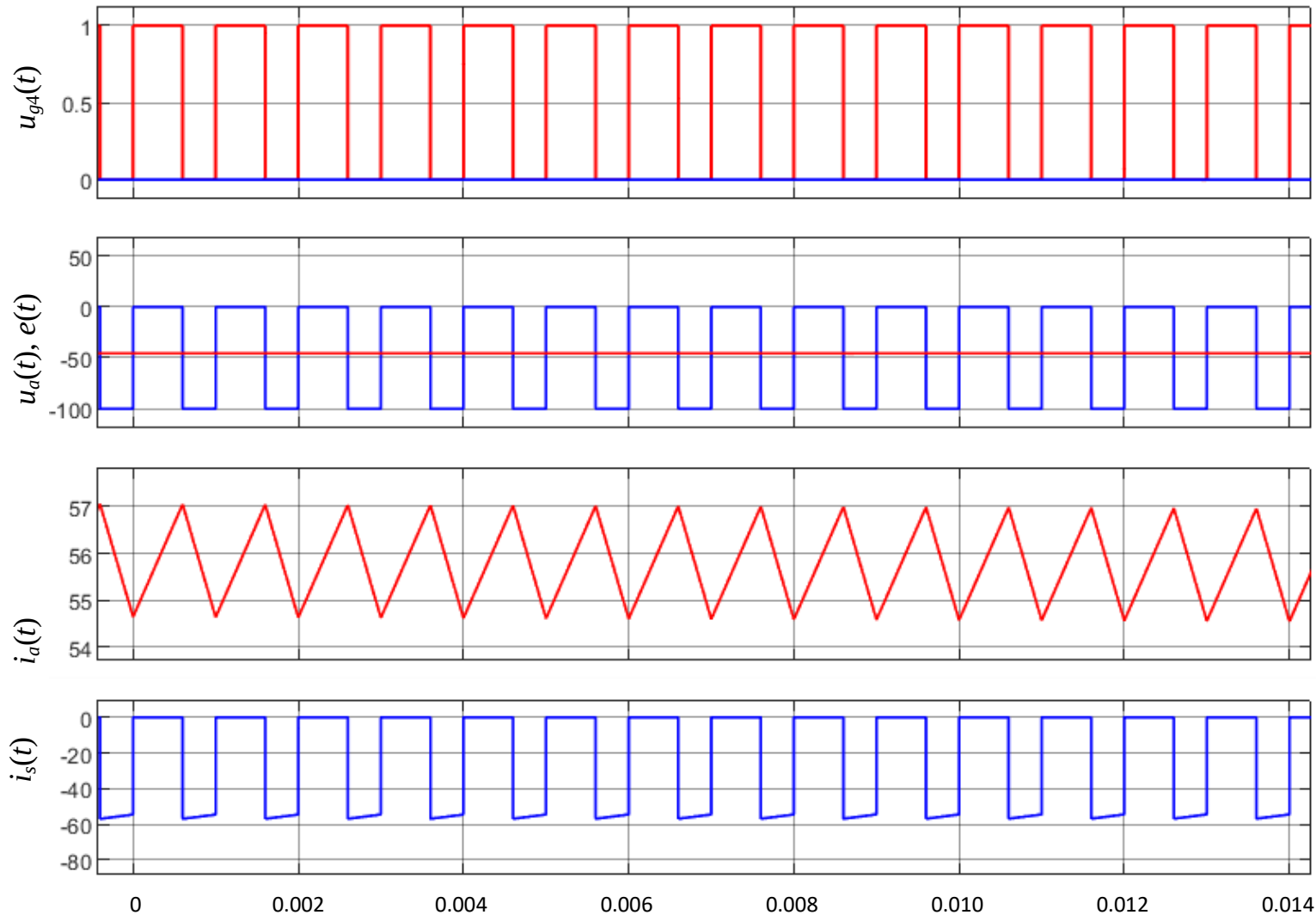


Čoper klase E

Režim rada sa neprekidnom strujom u IV kvadrantu

$D_1 - Q_4$ - ON

$D_1 - D_4$ - ON

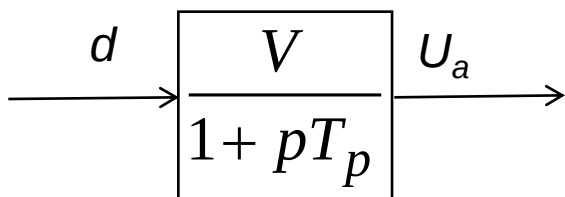


Predstavljanje čopera funkcijom prenosa

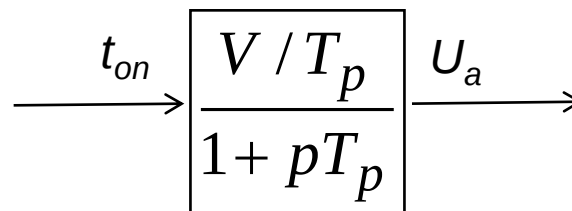
- Energetski pretvarači se za potrebe upravljanja elektromotornim pogonom mogu predstaviti funkcijom prenosa sa kašnjenjem prvog reda, što važi i za čoper.

$$G_{\check{c}}(p) = \frac{k_{\check{c}}}{1 + pT_d}$$

$$k_{\check{c}} \cdot e^{-pT_d} \approx \frac{k_{\check{c}}}{1 + pT_d}$$



$$d = \frac{t_{on}}{T_p}; \quad k_{\check{c}} = V; \quad T_d = T_p$$



$$k_{\check{c}} = \frac{V}{T_p}; \quad T_d = T_p$$