

VISOKA ŠKOLA ELEKTROTEHNIKE I RAČUNARSTVA STRUKOVNIH STUDIJA-VIŠER,  
BEOGRAD

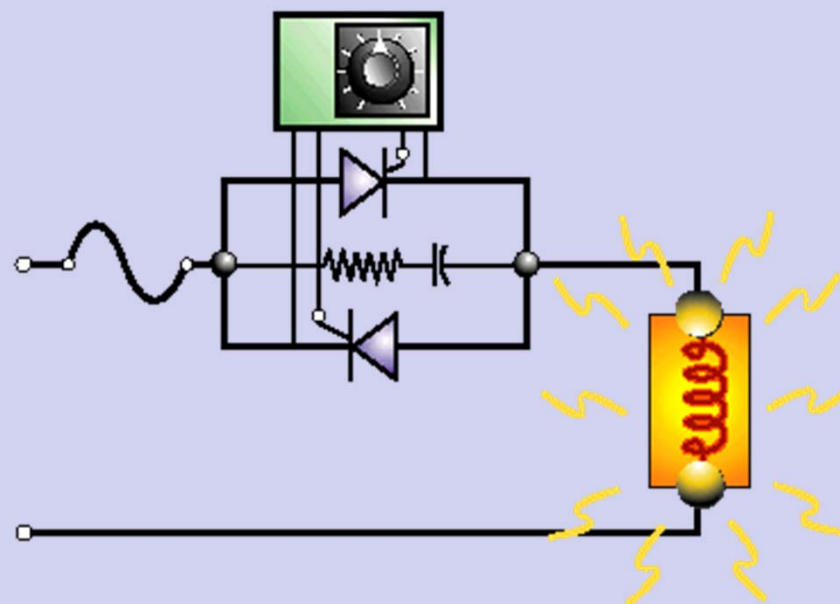
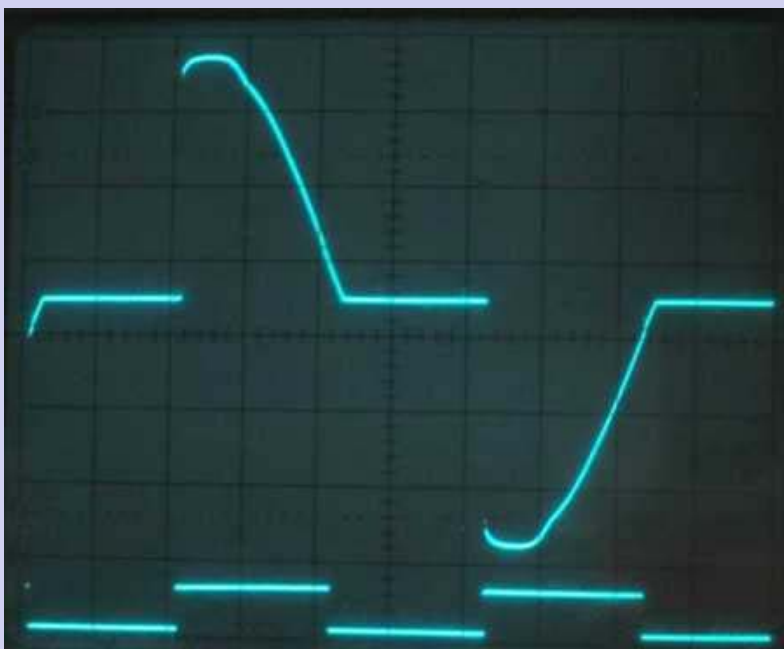
STUDIJSKI PROGRAM: NOVE ENERGETSKE TEHNOLOGIJE

SPECIALISTIČKE STUDIJE

PREDMET: UPRAVLJANJE ELEKTROENERGETSKIM PRETVARAČIMA



# OSNOVNI PRINCIPI TIRISTORSKE FAZNE KONTROLE



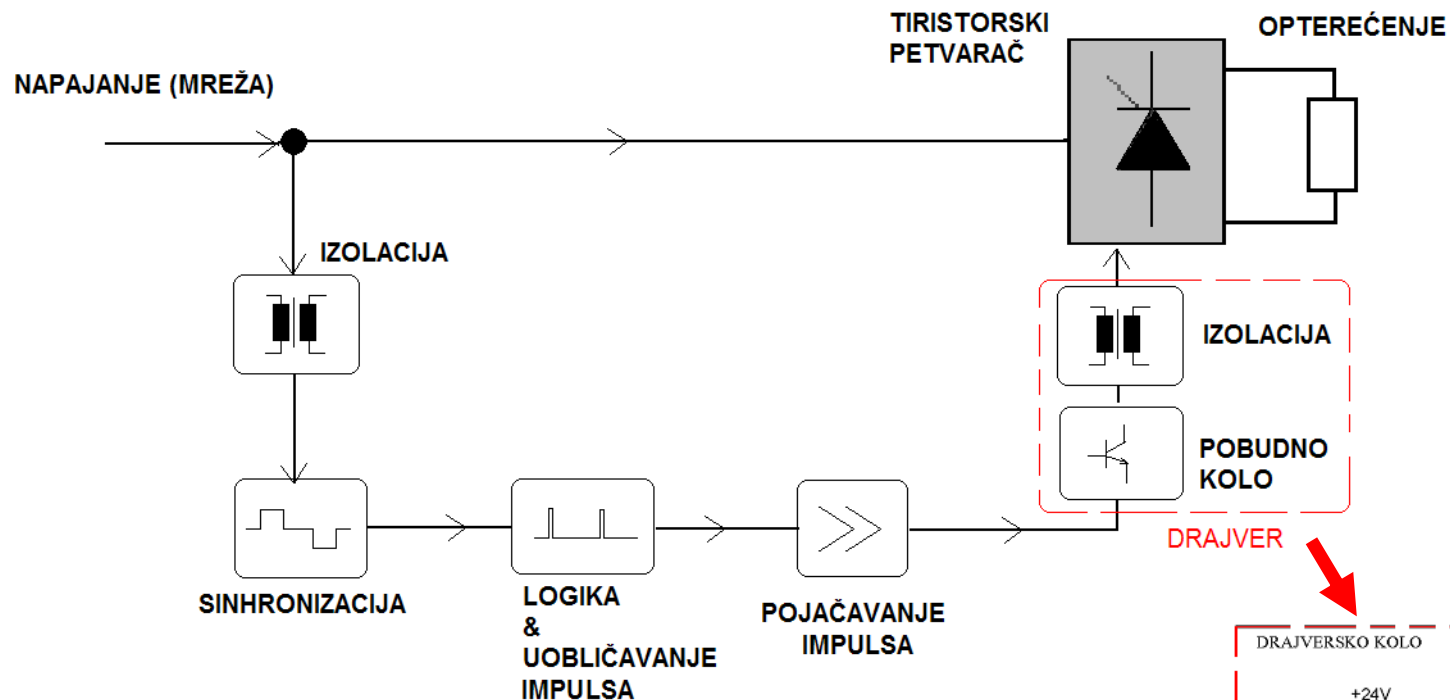
Predmetni profesor: Dr Željko Despotović

# UVOD

- Fazna tiristorska (SCR) kontrola se bazira na podešavanju faznog ugla kod tiristorski kontrolisanih ispravljača (AC/DC), podešavača napona (AC/AC)
- Fazni ugao se računa od trenutka kada su se stekli uslovi za uključenje tiristora (obično je to kod monofaznih pretvarača ugao koji se računa od trenutka prolaska mrežnog napona kroz nultu vrednost)
- Ovo uslovljava sinhronizaciju trenutka uključanja tiristora u odnosu na mrežni napon
- Uslovi za uključenje tiristora se stižu kada je napon između njegove anode i katode pozitivan. Ovo ne znači da će tiristor tada biti uključen. Njegovo uključenje se ostvaruje dovođenjem odgovarajućeg impulsa na gejt elektrodu.
- Osnovni zadatak fazne kontrole je podešavanje izlaznog napona gore pomenutih pretvarača, ali pored ovoga faznom kontrolom je moguće obezbediti i dodatne funkcije kao što su: mekani (soft) start, ograničenje struje, prekostrujnu zaštitu, blokadu pobudnih impulsa, podešavanje faznog ugla u zadatim granicama, i sl.

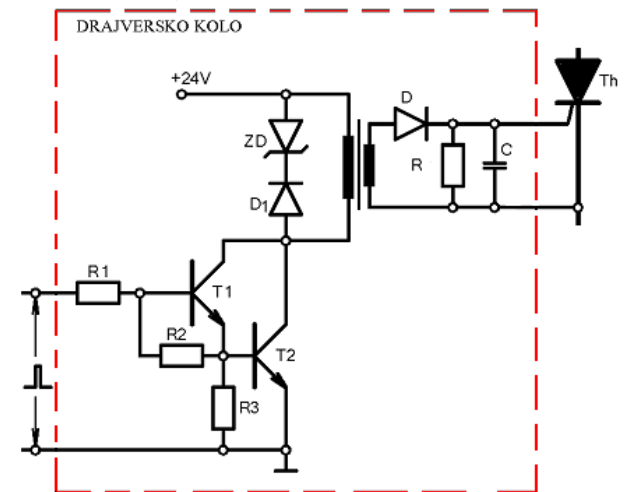
- Za pravilan rad tiristorski kontrolisanih pretvarača (polu i puno-upravljivih) upravljački (okidni) impuls je potrebno dovesti u tačno preciziranom trenutku vremena i na pravi tiristor koji se nalazi u topologiji samog pretvarača
- Kao što je već naglašeno pobudni Impulsi moraju biti sinhronizovani sa mrežnim naponom i trenutak njihovog formiranja bira se samo praćenjem faznog ugla (u suštini faznog stava) stava prema ulaznom naponu.
- Za formiranje upravljačkih impulsa se koriste elektronske komponente
- Nekada se za upravljanje tiristorskim ispravljačima koristila tranzistorska tehnika.
- U skorijoj prošlosti se fazna kontrola realizovala sa analognim i digitalnim kolima opšte namene i kolima specijalno namenjenim za ove primene.
- U najnovije vreme se fazna kontrola izvodi u mikroprocesorskoj tehnici (DSP kontrola, industrijska mikroprocesorska (uP) kontrola i sl.)

# OSNOVNA STRUKTURA SISTEMA FAZNE KONTROLE

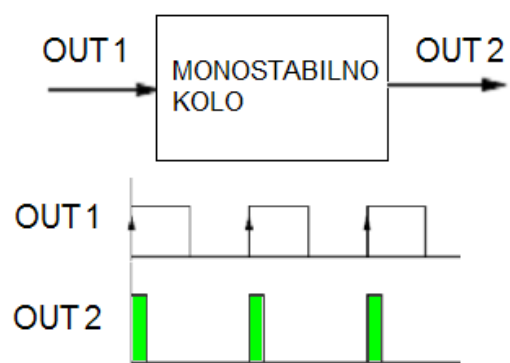
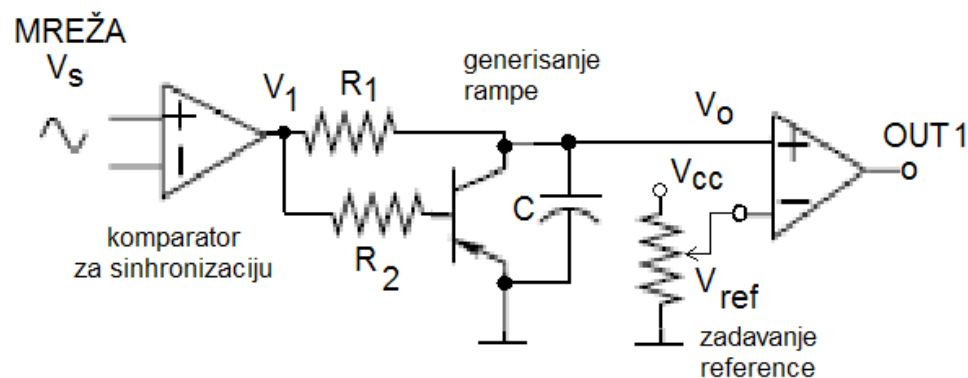


Osnovni elementi:

- izolacija od mrežnog napajanja
- sinhronizacija sa mrežom
- upravljačka logika
- uobličavanje impulsa
- pojačavanje impulsa
- pobuda
- galvanska izolacija pobude

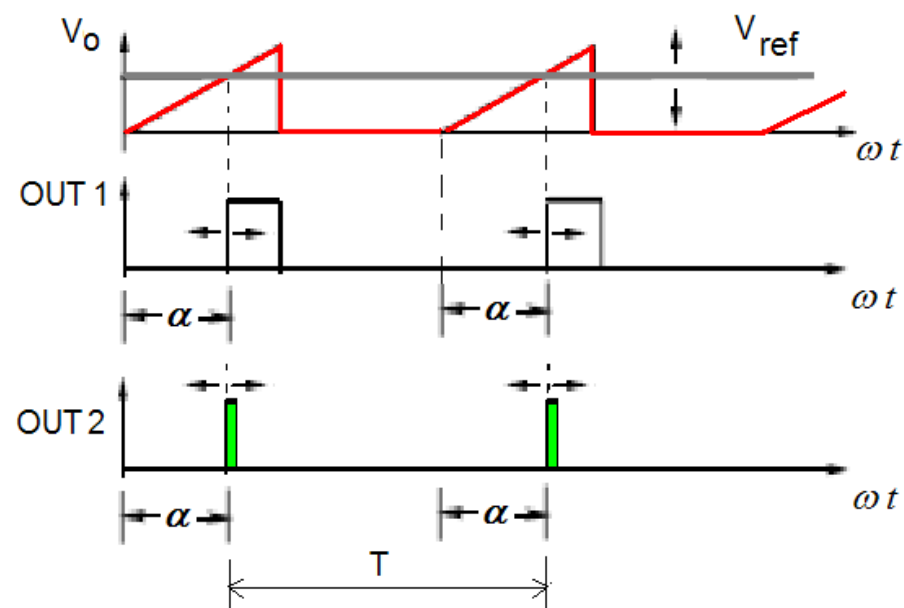
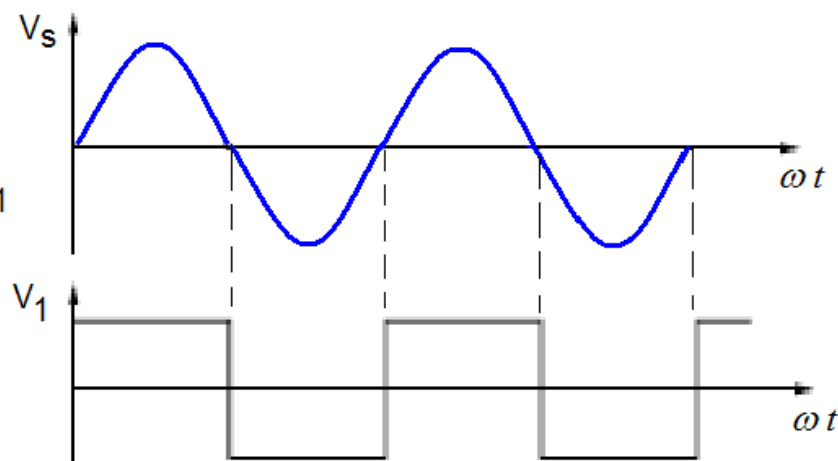


# JEDAN PRIMER REALIZACIJE FAZNE KONTROLE



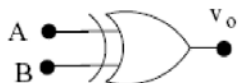
Kako se realizuje monostabilno logičko kolo?

Generisanje pobudnih impulsa poređenjem rampe i referentnog signala

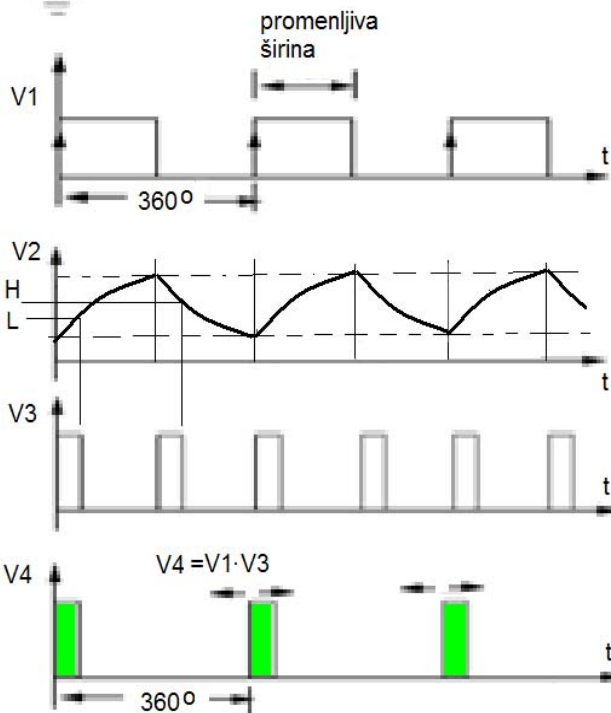
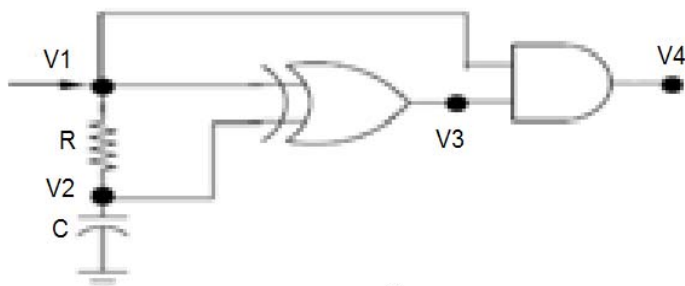


OPSEG PODEŠAVANJA:  $0^{\circ} \leq \alpha \leq 180^{\circ}$

# REALIZACIJA MONOSTABILNOG KOLA



| A | B | Y |
|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 1 |
| 1 | 0 | 1 |
| 1 | 1 | 0 |



## *Ekskluzivno ILI kolo i njegova tablica istinitosti*

Predstavljeno monostabilno kolo uobličava impulse V1. Ovi impulsi su promenljive širine i posledica su poređenja referentnog signala i signala rampe.

Ulazno EX ILI kolo detektuje uzlaznu i silaznu ivicu signala V1 i na izlazu daje signal V3 čije je trajanje značajno kraće od širine Impulsa V1. Ovo trajanje je određeno vremenskom konstantom RC kola.

Korišćenjem "I" kola, odnosno formiranjem logičke funkcije  $V1 \cdot V3$ , dobija se signal V4 koji ustvari predstavlja signal detekcije uzlazne ivice signala V1.

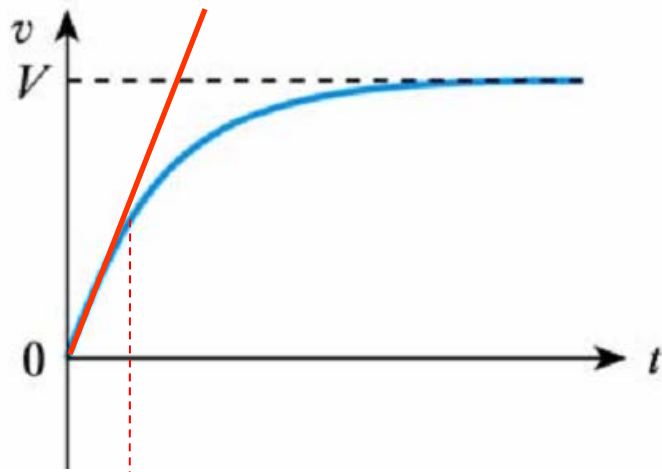
Na ovaj način je postignuta jednostavna promena faze u odnosu na prolazak mrežnog napona kroz nulu



## GENERISANJE NAPONSKE RAMPE- bitan činioc fazne kontrole

Realizacija referentnog “testerstog” napona sa RC kolom je jednostavna ali manja ovoga načina je što se zadovoljavajuća linearnost ima samo u početnom delu napona na kondenzatoru. Napon na kondenzatoru je eksponencijalna funkcija vremena.

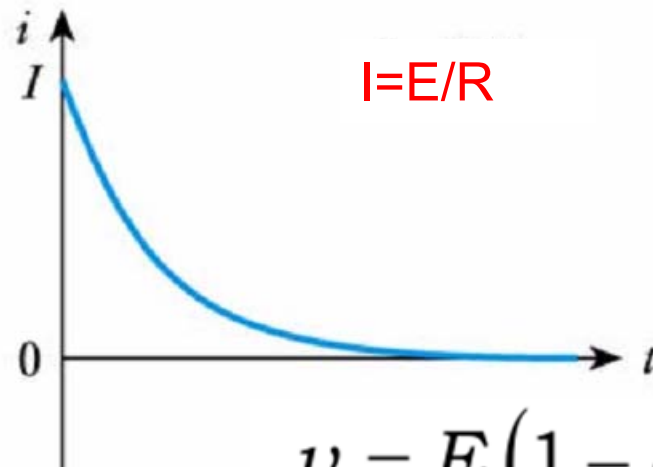
### NAPON NA KONDENZATORU



Oblast gde se prava i eksponencijalna funkcija “dobro slažu”

$$t \ll \tau$$

### STRUJA KONDENZATORA



$$v = E \left( 1 - e^{-t/\tau} \right)$$

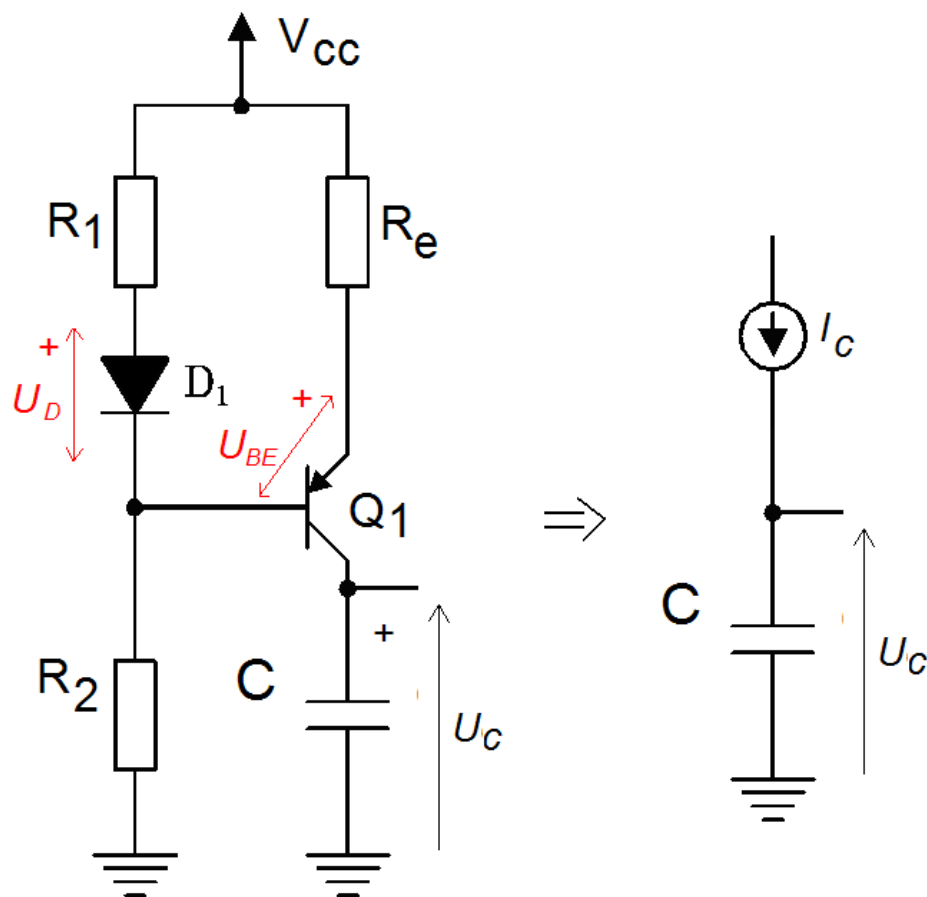
za  $t \ll \tau$   $e^{-t/\tau} \approx 1 - \frac{t}{\tau}$

$$v \approx E \frac{t}{\tau}$$

linearna  
zavisnost



## LINEARIZACIJA RAMPE SE POSTIŽE KORIŠĆENJEM STRUJNOG IZVORA



Ako je kolektorska struja tranzistora Q1 relativno mala ( $<1\text{mA}$ ) i ako je njegovo pojačanje relativno veliko ( $\beta > 200$ ) njegova bazna struja se može zanemariti u odnosu ostatak kola. Takođe ako je  $U_D = U_{BE} = 0.6 - 0.7\text{V}$  (realan slučaj) možemo na osnovu prethodno rečenog napisati da je napon na otporniku  $R_e$  jednak:

$$U_{Re} = \frac{V_{cc} - U_D}{R_1 + R_2} R_1$$

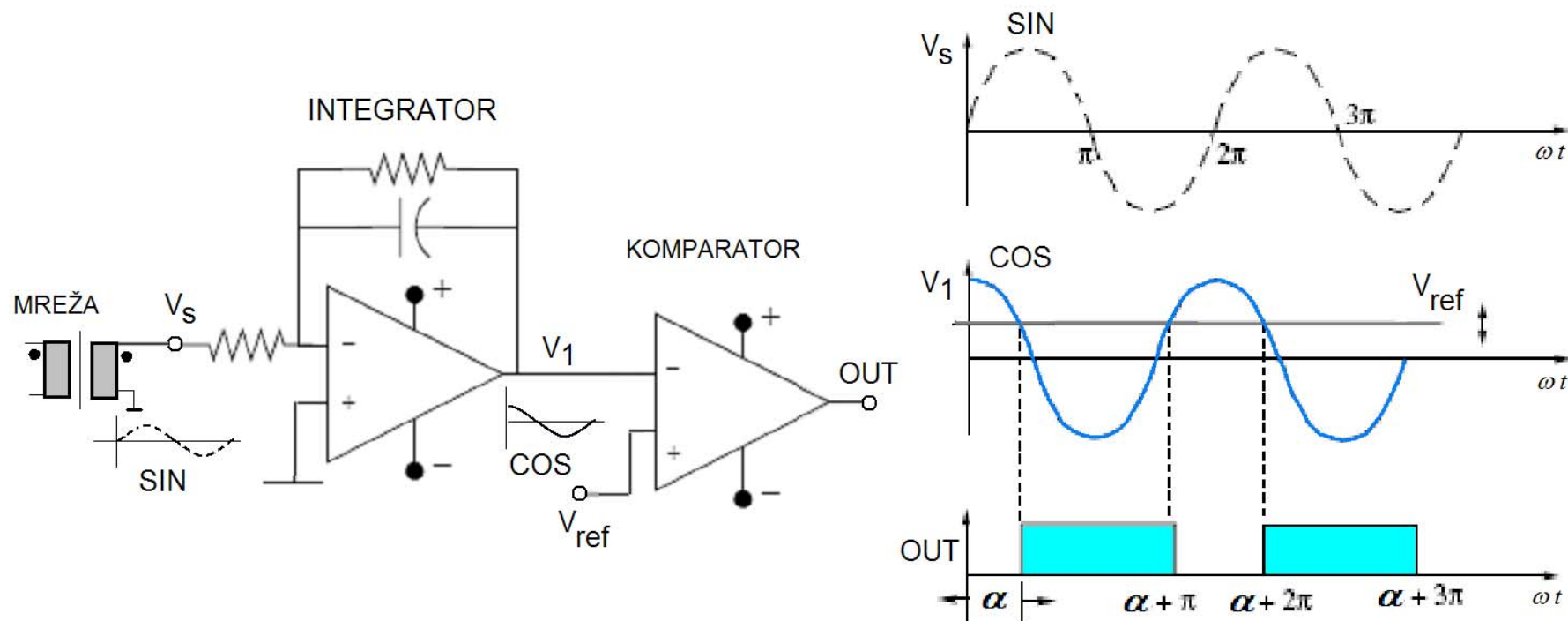
Jednosmerna (konstantna) struja strujnog generatora (kolektorska struja tranzistora  $Q_1$ ) je jednaka:

$$I_c = \frac{U_{Re}}{R_e}$$

**LINEARNA RAMPA**

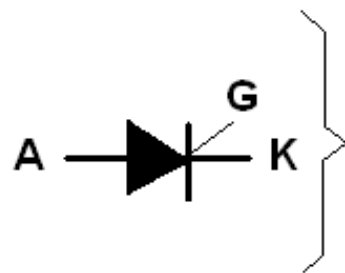
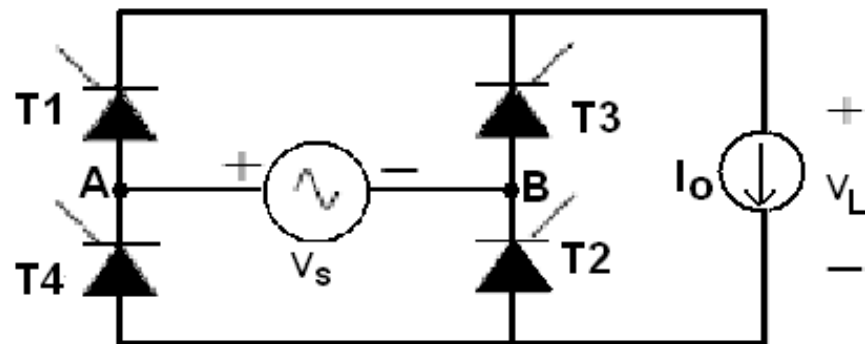
$$u_c(t) = \frac{I_c}{C} \cdot t$$

## KOSINUSNA METODA ZA GENERISANJE KONTROLNIH MPULSA



Mrežni napon  $V_s$  (sinusna funkcija vremena) se dovodi na ulaz integratora te se na taj način dobija napon  $V_1$  koji je kosinusna funkcija vremena. Ovaj napon se u komparatoru poredi sa referentnim naponom  $V_{ref}$  te se na izlazu komparatora dobija naponski signal  $V_{out}$ . Promenom referentnog napona se dobija promena faznog ugla  $\alpha$ . **Kako dobiti iz signala OUT pogodne impulse ("češalj impulsa") za pobudu tiristora?**

# PRIMER KOSINUSNE KONTROLE: PUNOUPRAVLJIVI TIRISTORSKI PRETVARAČ



$A_{on} K$

$V_{AK} > 0$

$V_{GK} > 0$

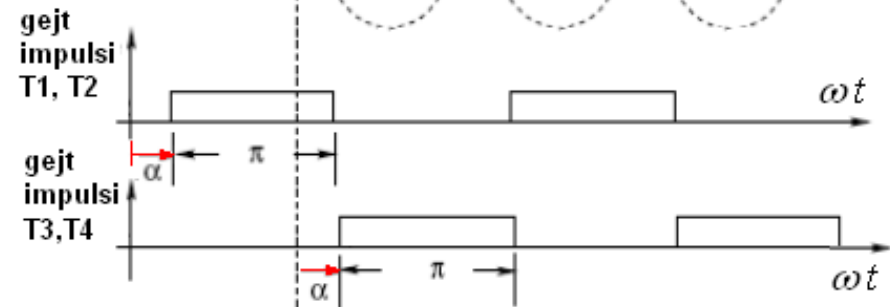
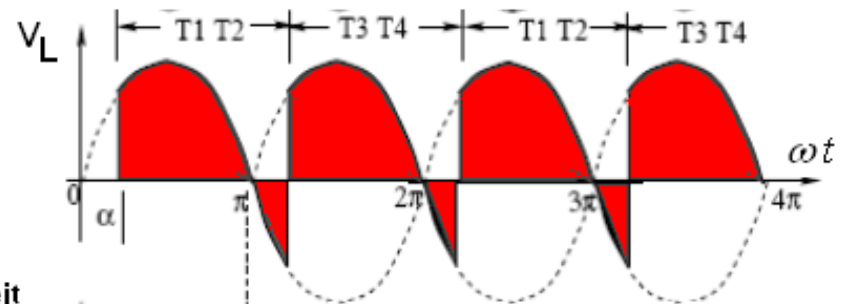
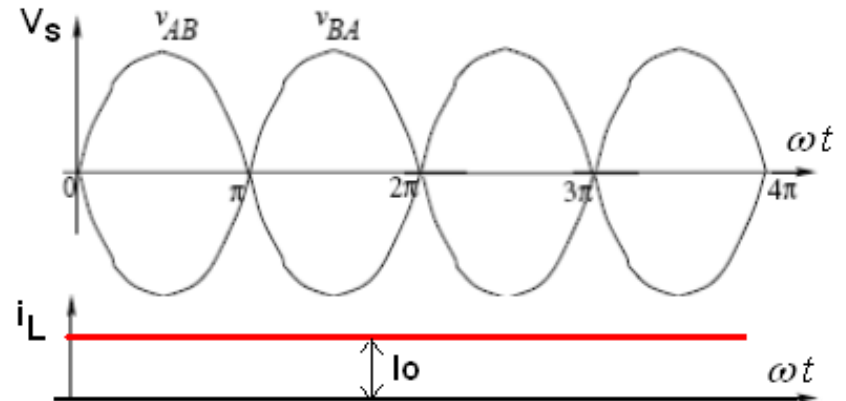
$A_{off} K$

$V_{AK} > 0$

$V_{GK} = 0$

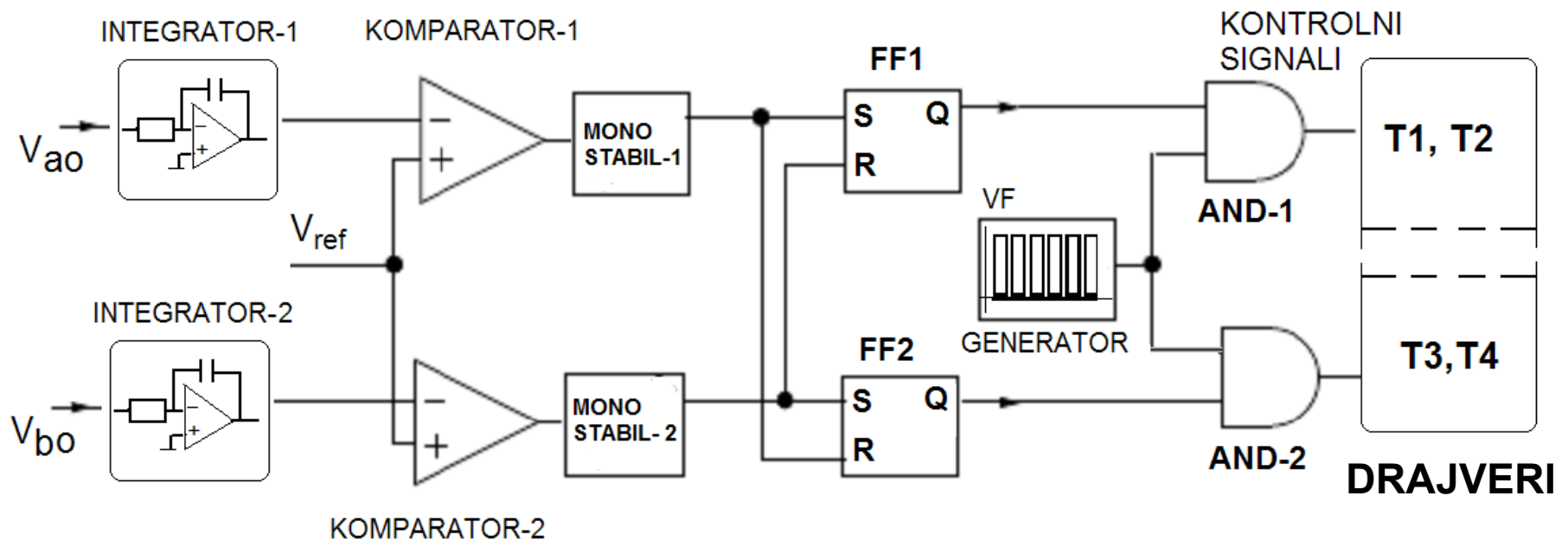
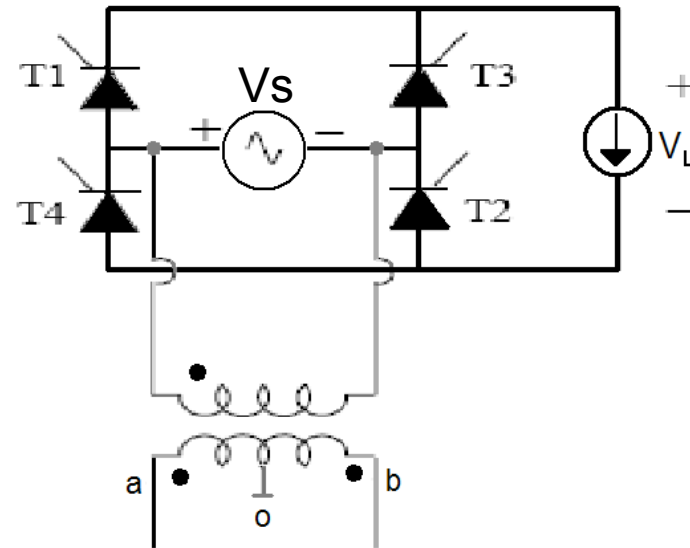
ili

$V_{AK} < 0$

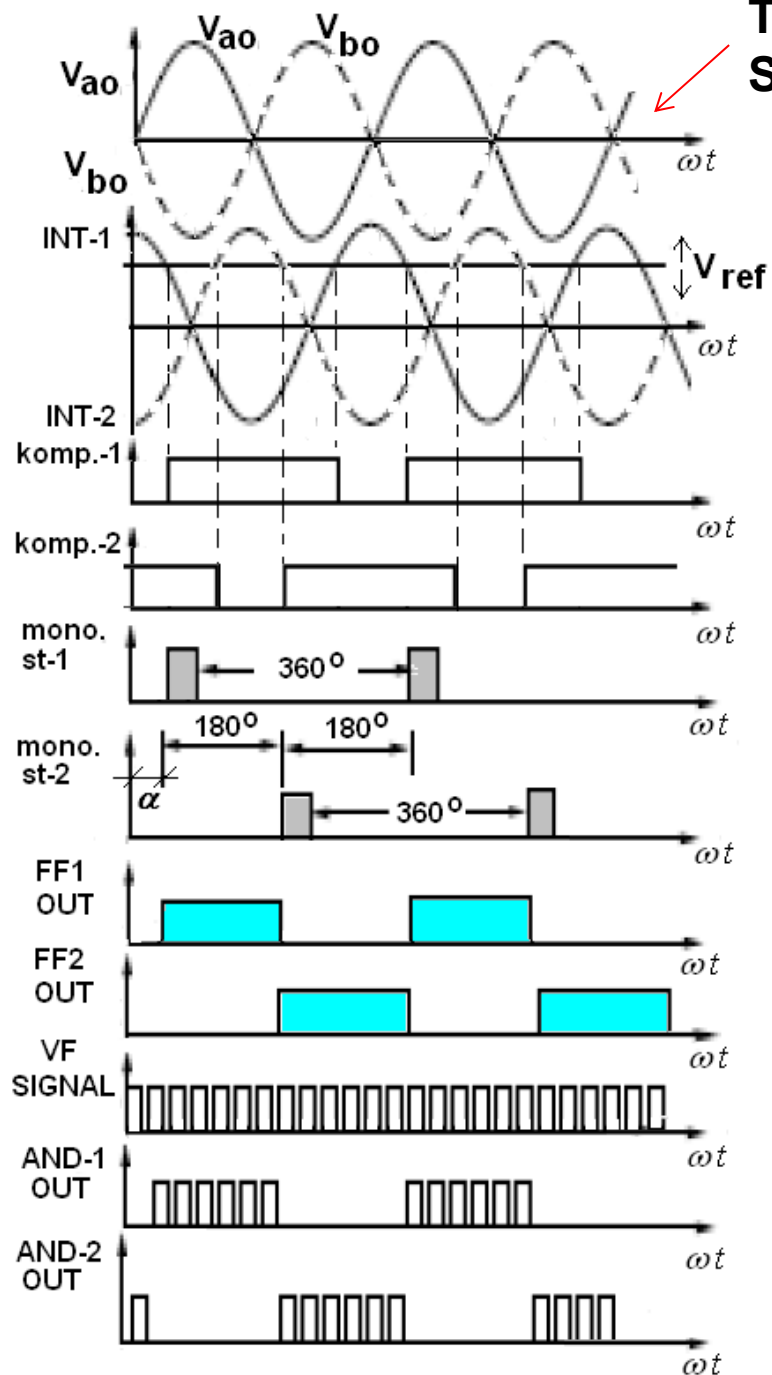


## UPRAVLJAČKO KOLO SE SASTOJI OD:

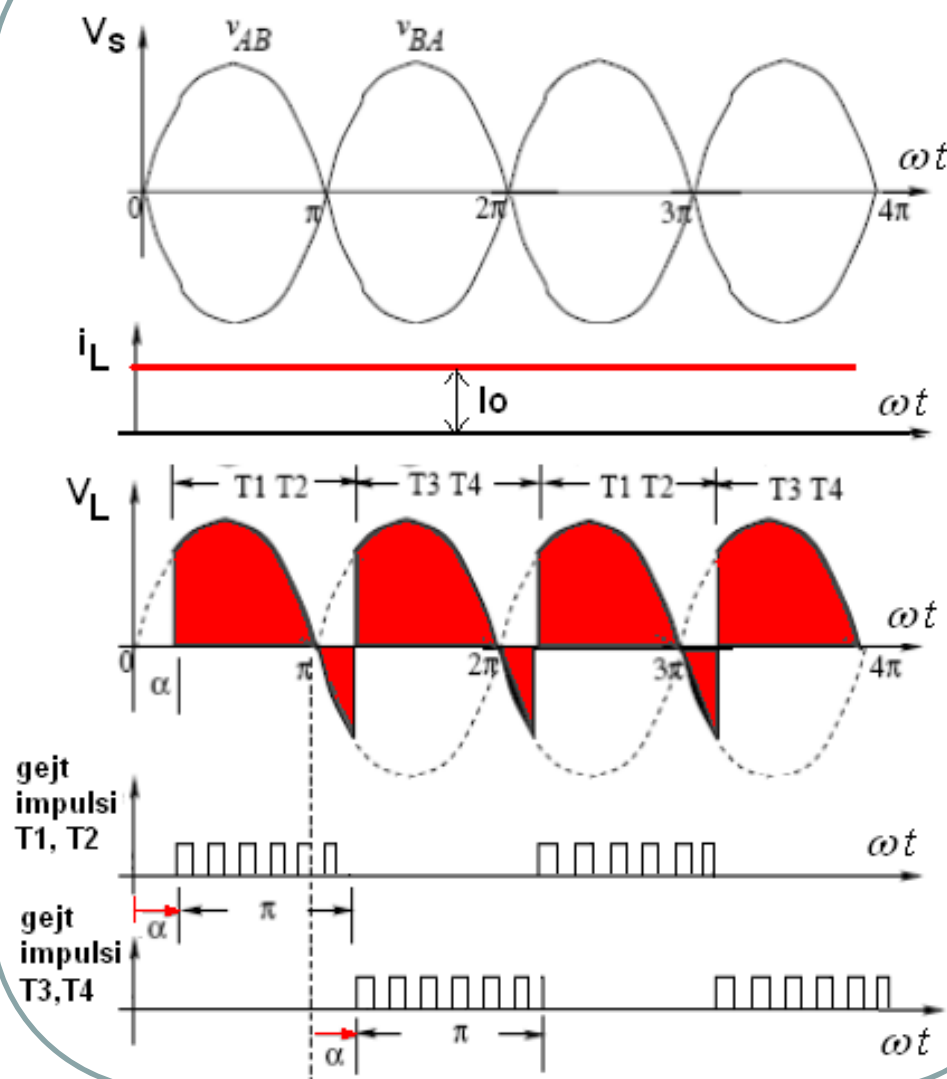
- sinhronizacionog transformatra (obratiti pažnju na smer motanja namotaja)
- integratora (od SIN prave COS)
- komparatora
- monostabilnih kola
- RS flipflopova
- VisokoFrekventnog (VF) generatora
- logičkih "I" kola



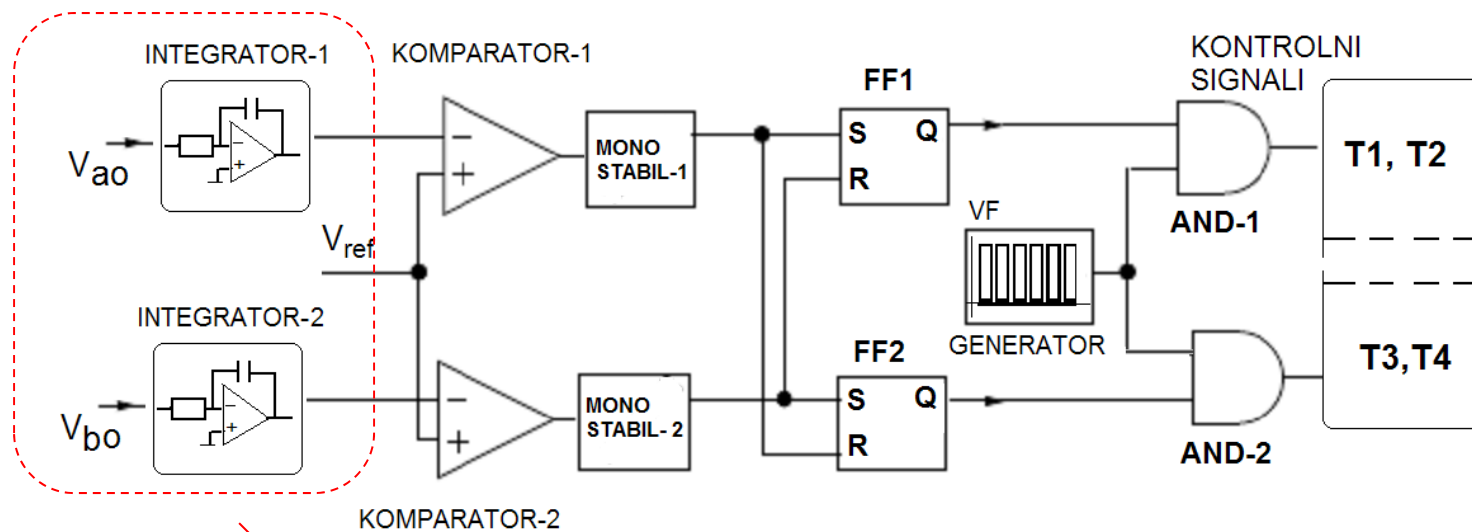
## TALASNI OBLICI KARAKTERISTIČNIH SIGNALA U UPRAVLJAČKOM KOLU



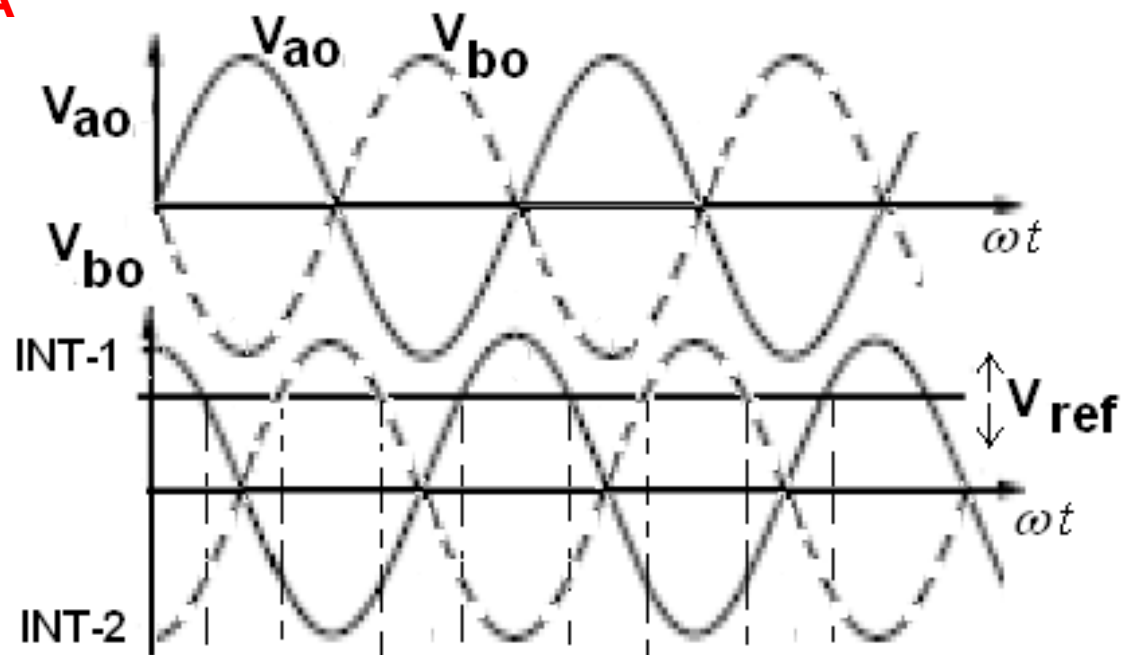
## TALASNI OBLICI SIGNALA U EN.KOLU

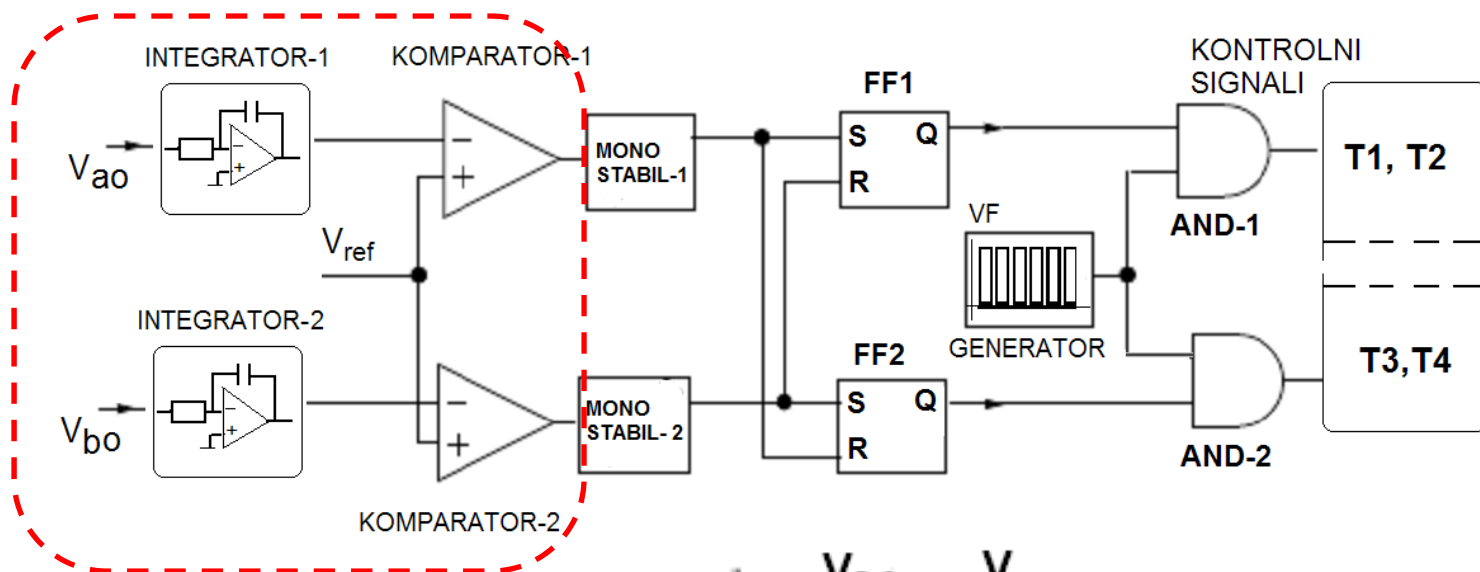


**DETALJNO OBJAŠNENJE SLEDI!!!**

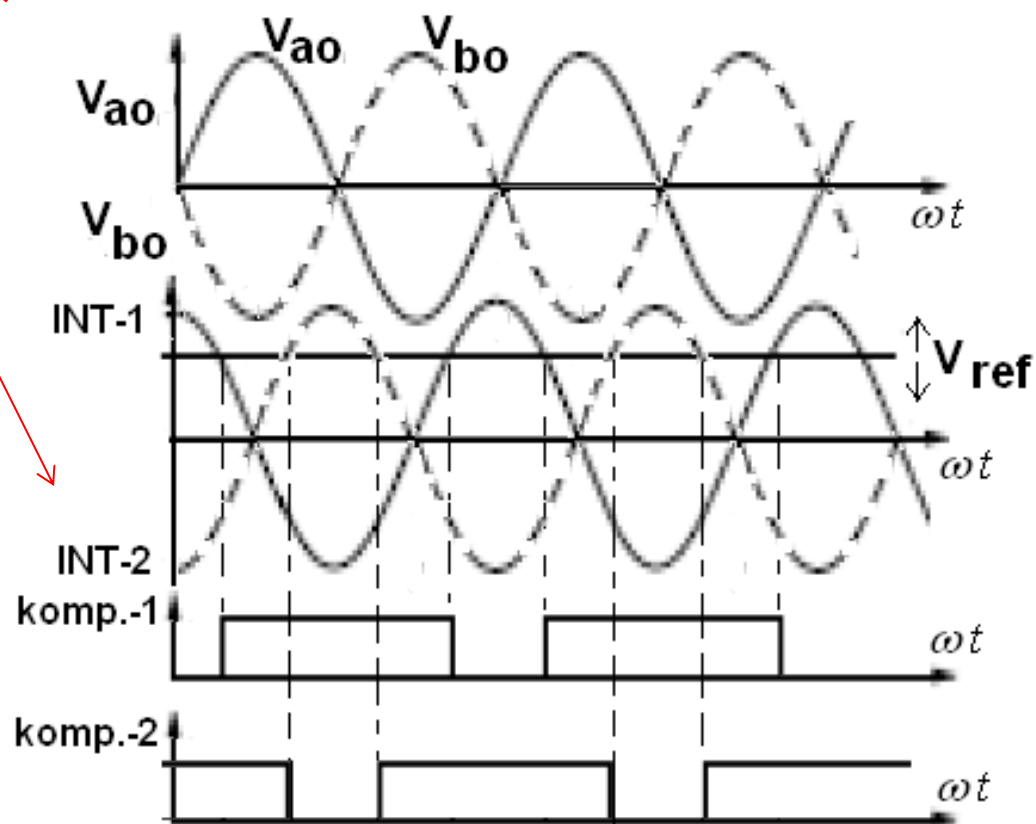


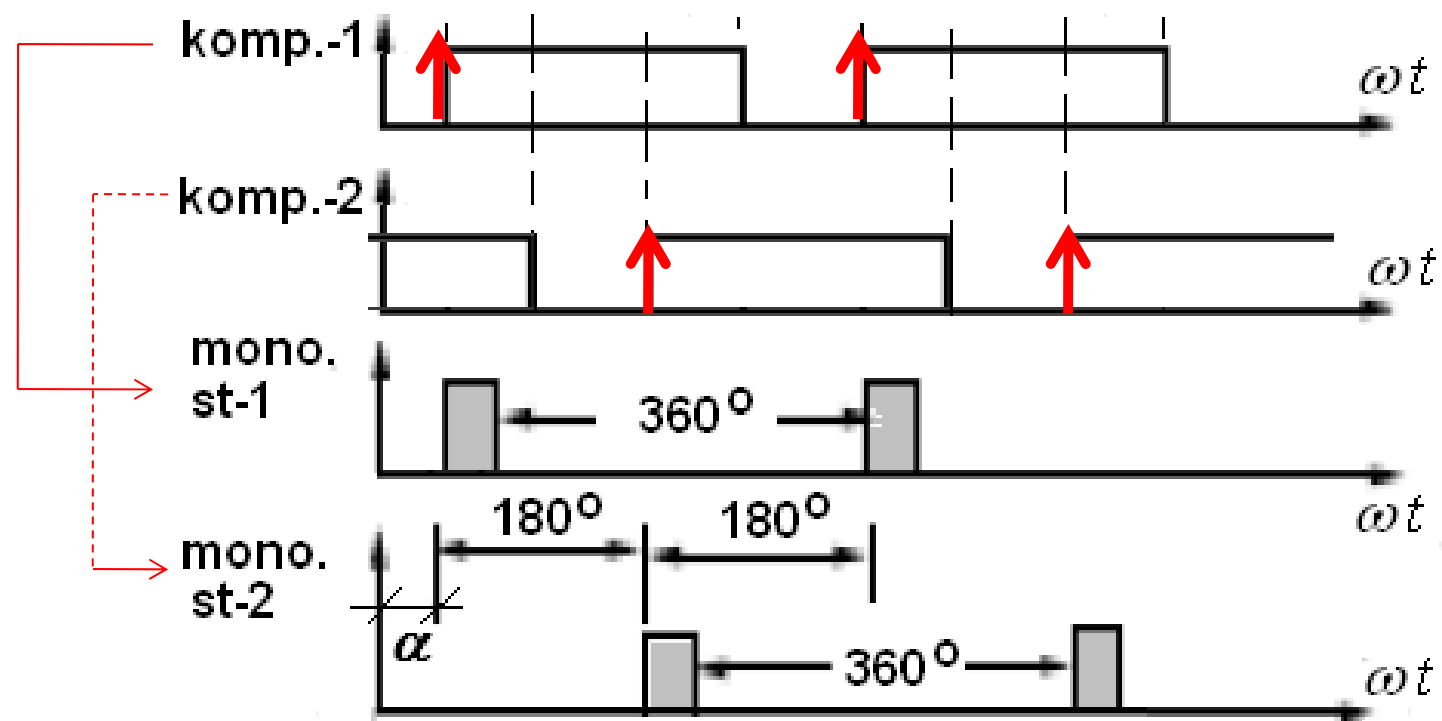
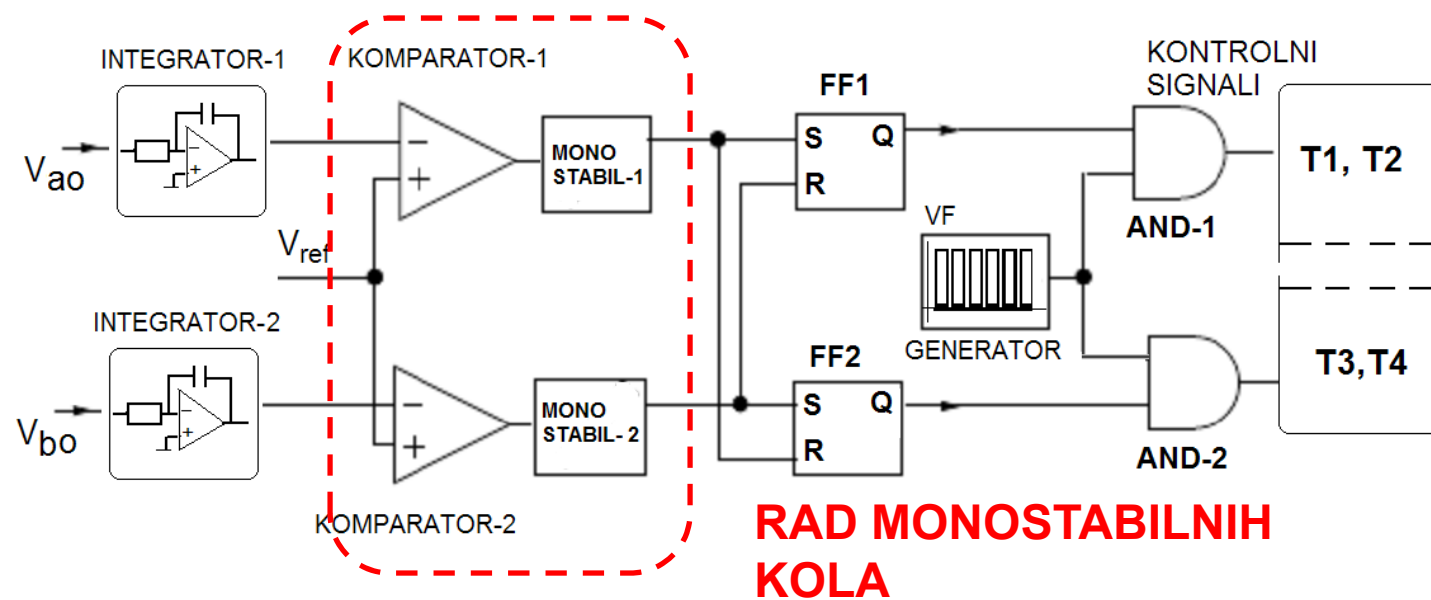
**RAD  
INTEGRATORA**



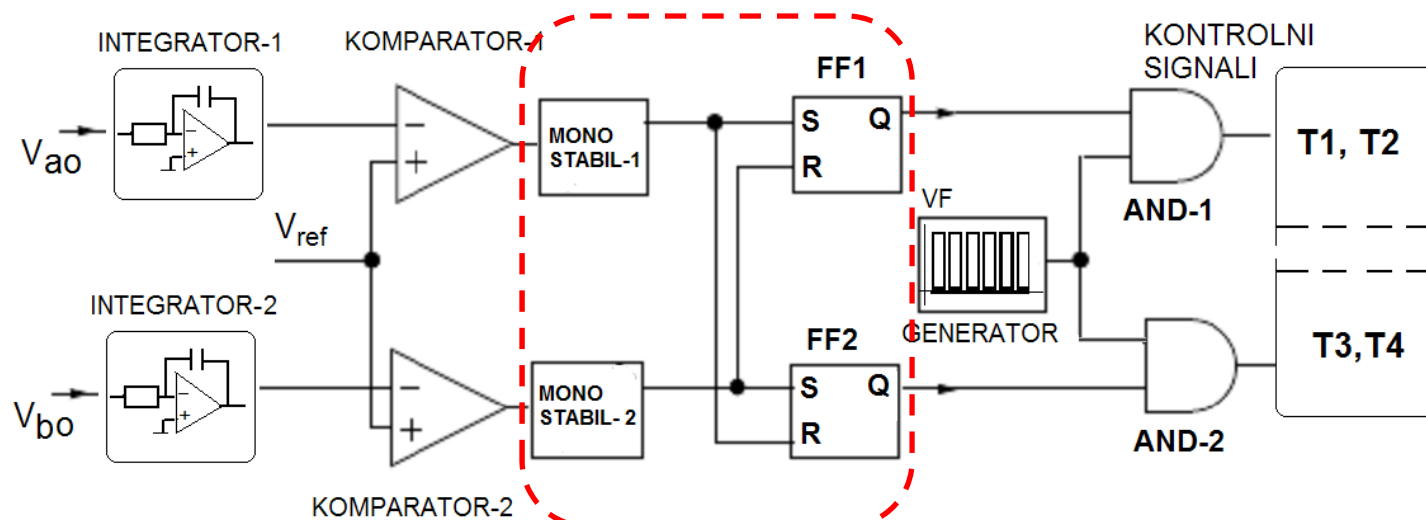


**RAD  
KOMPARATORA**





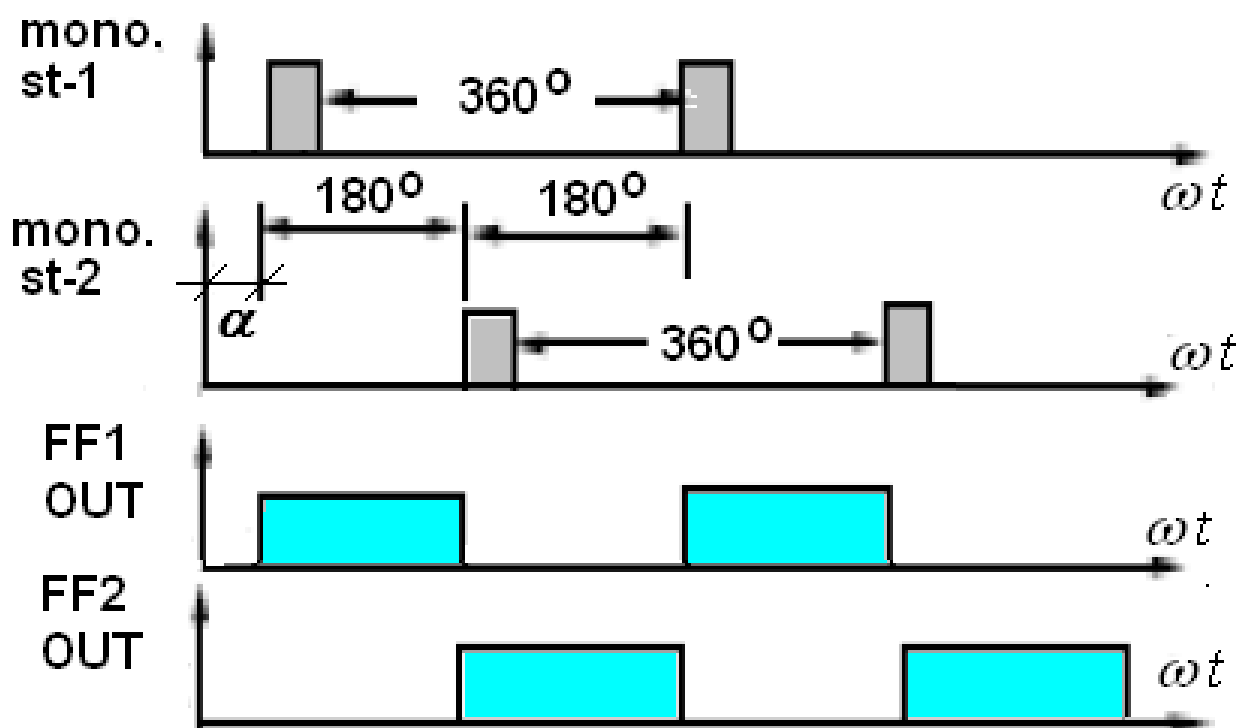


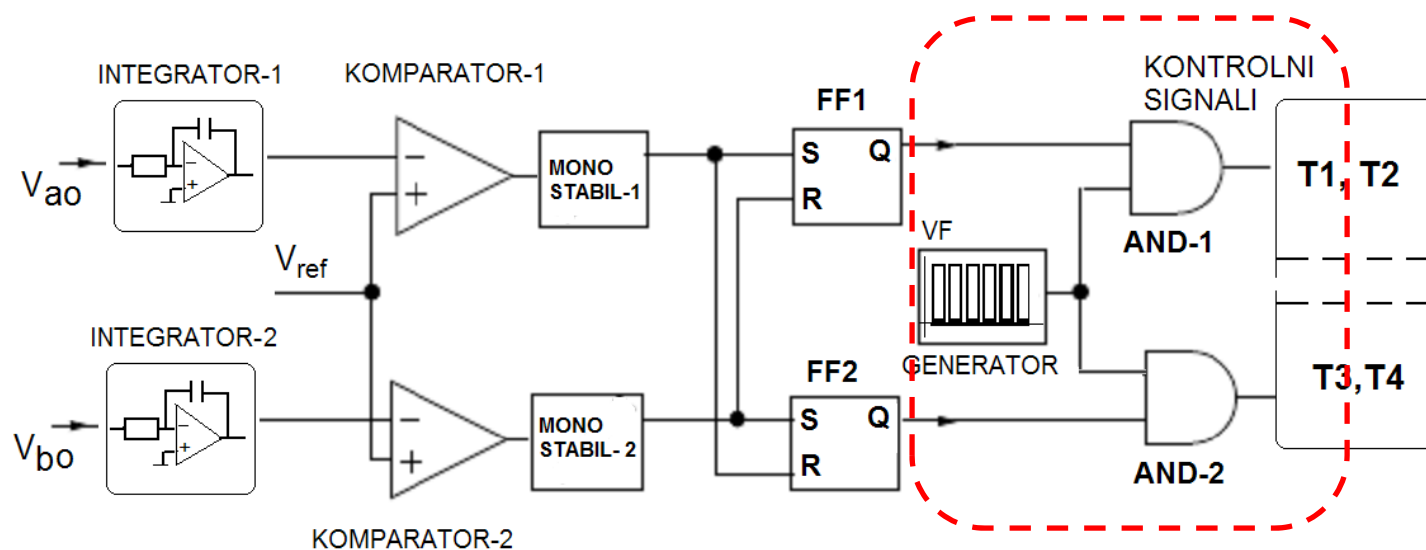


## RAD FLIP-FLOPOVA

Impuls sa  
mono.st-1  
setuje FF1  
a resetuje  
FF2

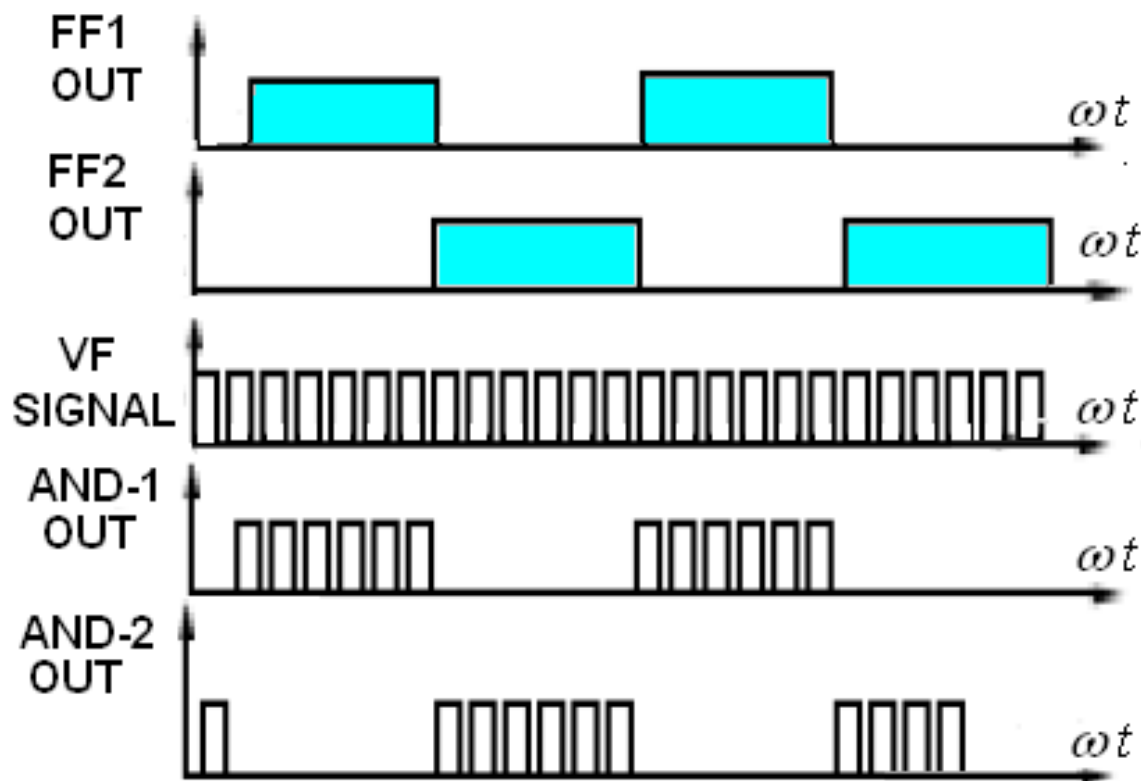
Impuls sa  
mono.st-2  
setuje FF2  
a resetuje  
FF1



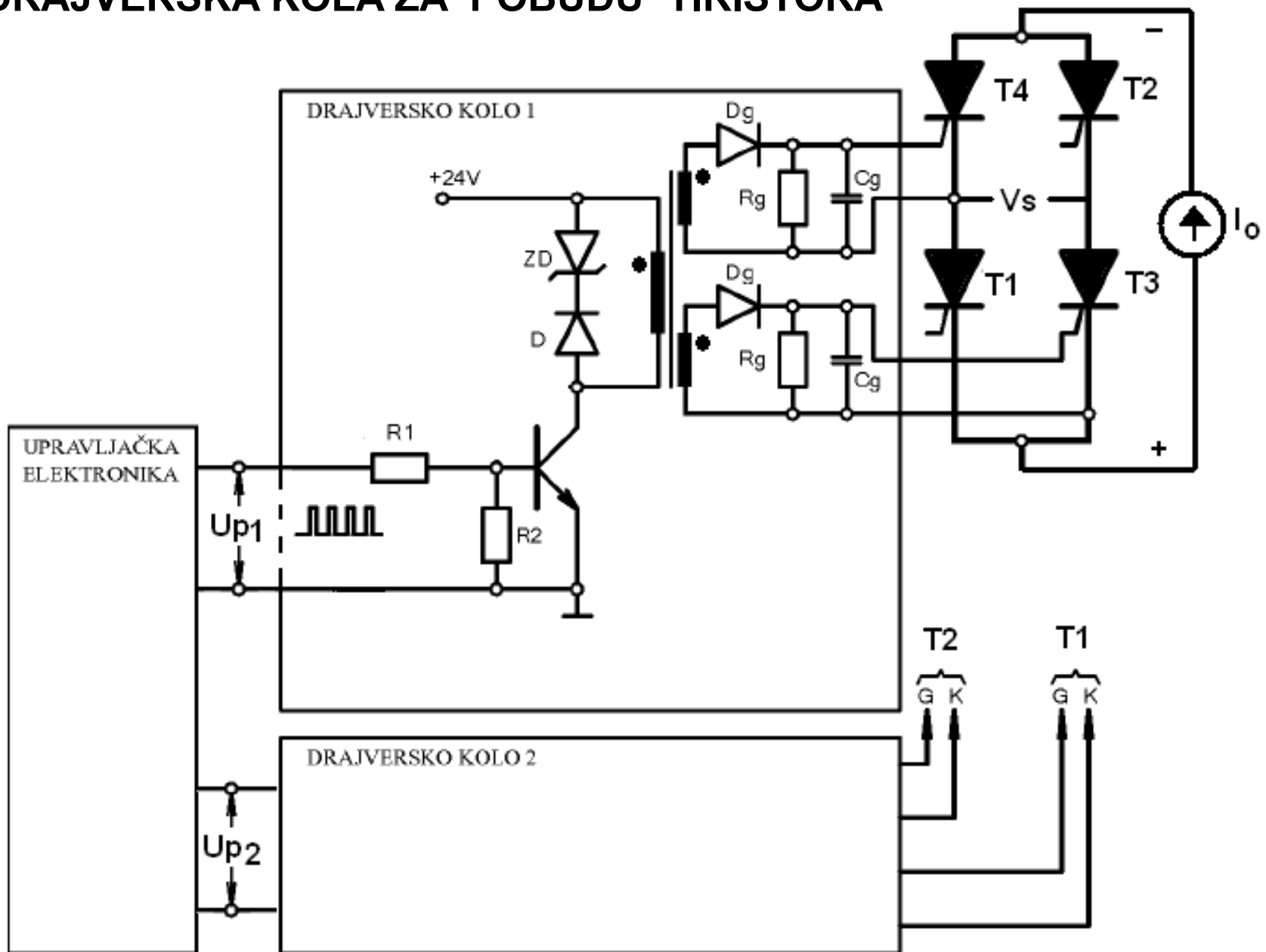


## FORMIRANJE “ČEŠLJA” IMPULSA

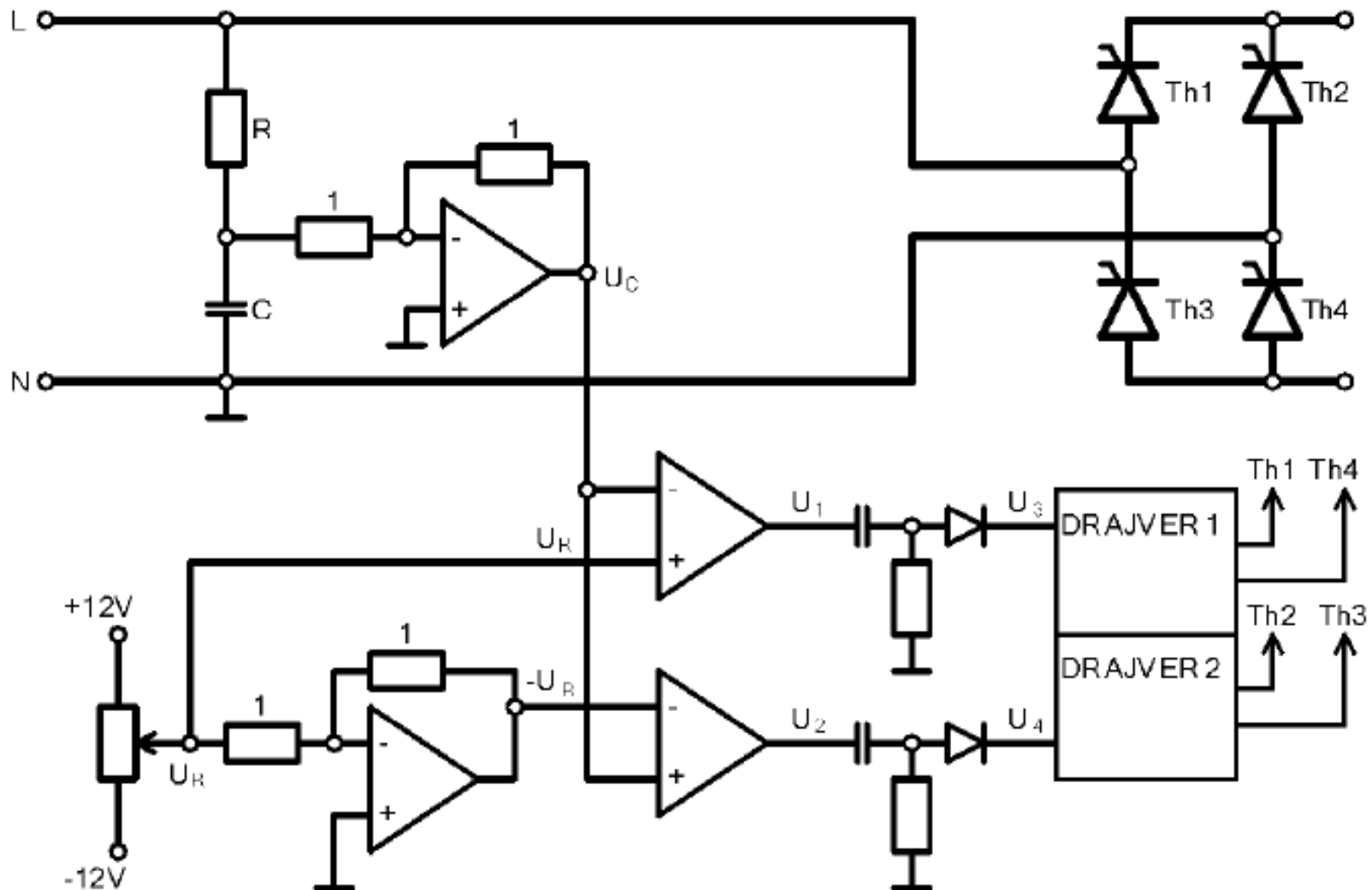
-uobličavanje  
pomoću  
“i” logičkih kola  
-VF generator  
određuje  
učestanost  
češlja  
(od 200Hz-1kHz)



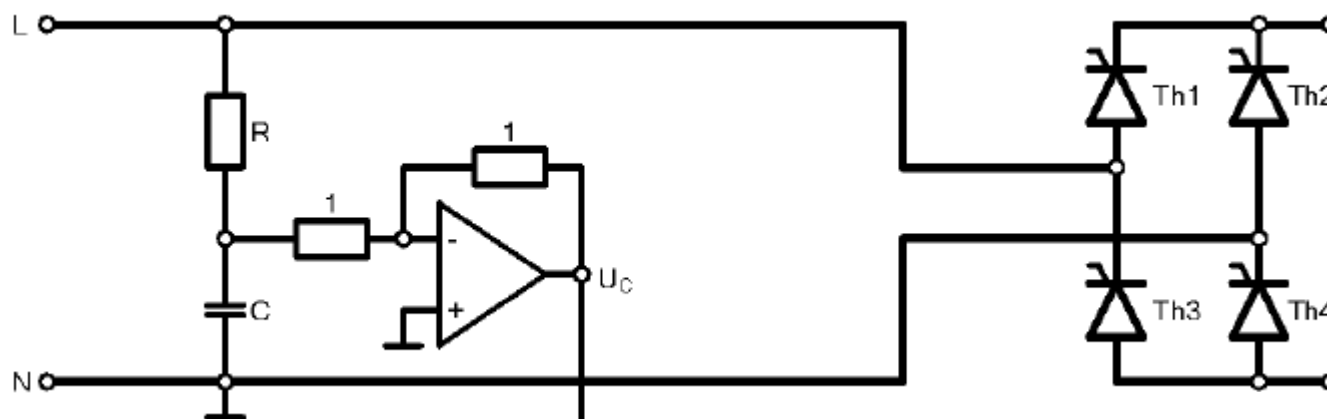
## DRAJVERSKA KOLA ZA POBUDU TIRISTORA



**PRIMER: FAZNA KONTROLA PUNOUPRAVLJIVOG TIRISTORSKOG MOSTA  
SA OPERACIONIM POJAČAVAČIMA I BEZ UPOTREBE SINHRONIZACIONOG  
TRANSFORMATORA**



## KOLO ZA INTEGRACIJU I INVERTOVANJE (da bi se dobio COS)



$$U_{SR} = U_0 \cos \alpha$$

$$U_0 = \frac{2\sqrt{2}U}{\pi}$$

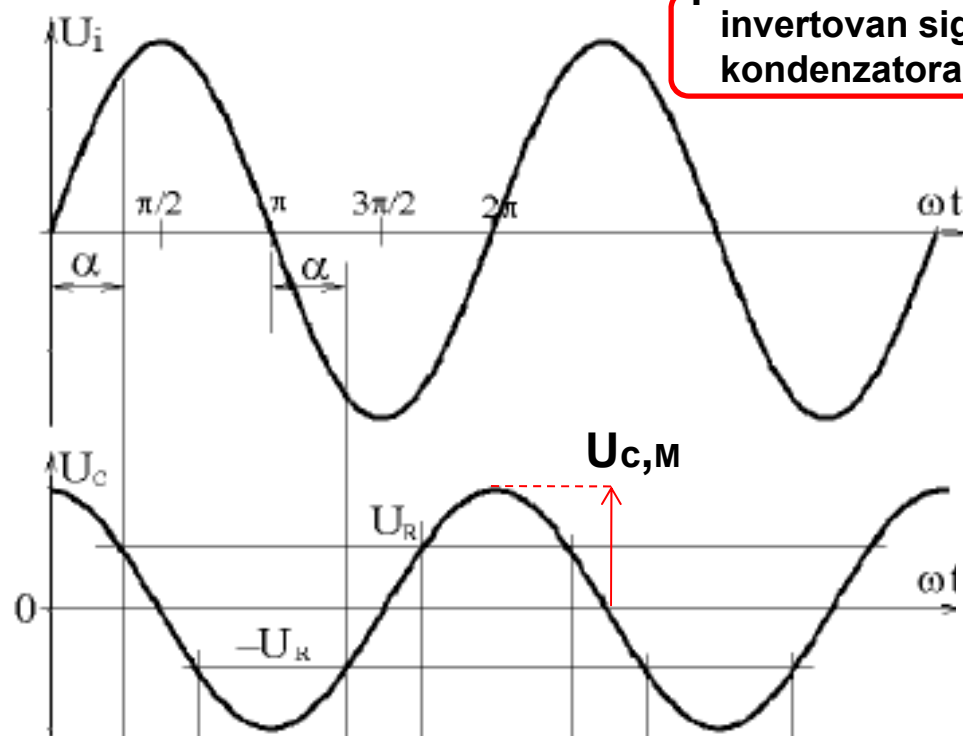
invertovan signal sa kondenzatora

$$\alpha = \arccos \frac{U_{SR}}{U_0}$$

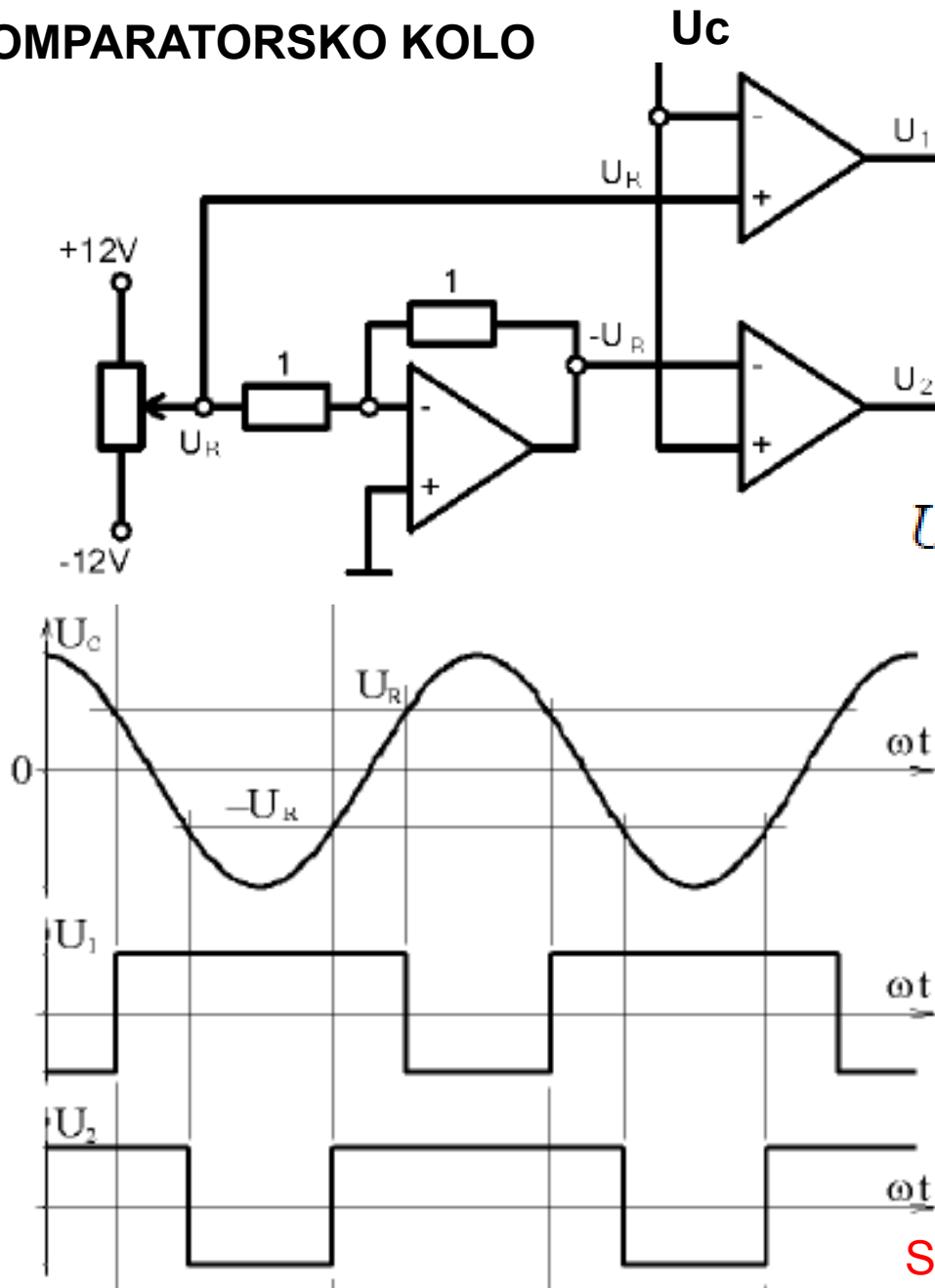
$$\frac{U_{SR}}{U_0} = \frac{k \cdot U_R}{k \cdot U_{C,M}}$$

$$\alpha = \arccos \frac{U_R}{U_{C,M}}$$

$$U_{C,M} = \frac{U\sqrt{2}}{\sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2}} \frac{1}{\omega C} = \frac{U\sqrt{2}}{\sqrt{1 + (\omega CR)^2}}$$



## KOMPARATORSKO KOLO



$$U_{C,M} \cos \alpha = U_R$$

$$U_{C,M} \cos \alpha = -U_R$$

$$U_{d,SR} = U_{d,0} \cos \alpha$$

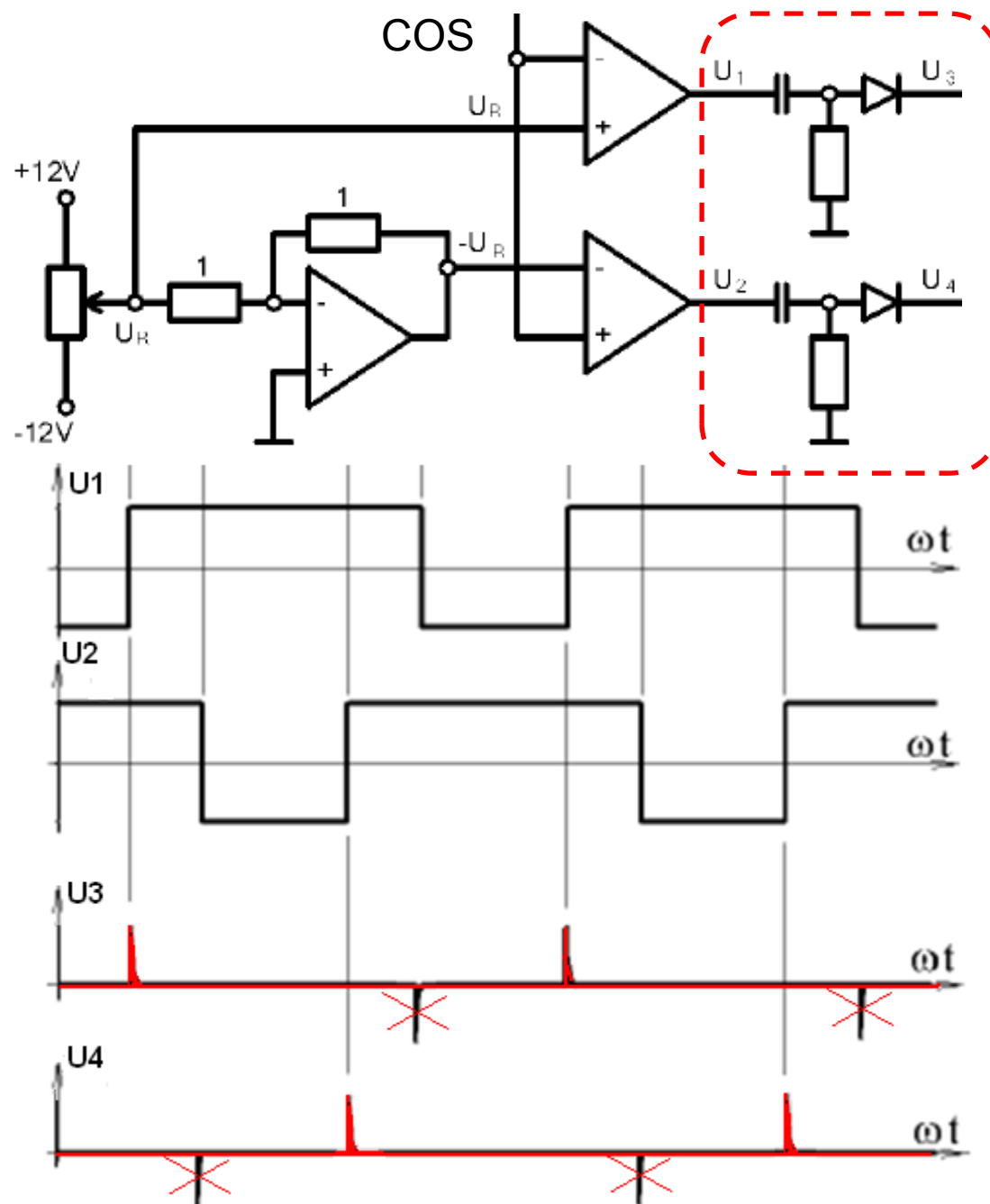
$$U_{d,SR} = U_0 \cos \left( \arccos \frac{U_R}{U_{C,M}} \right)$$

$$U_{d,SR} = U_{d,0} \frac{U_R}{U_{C,M}}$$

$$U_{d,SR} = U_{d,0} \frac{k \cdot U_R}{k \cdot U_{C,M}}$$

$$U_{d,SR} = k_1 \cdot U_R$$

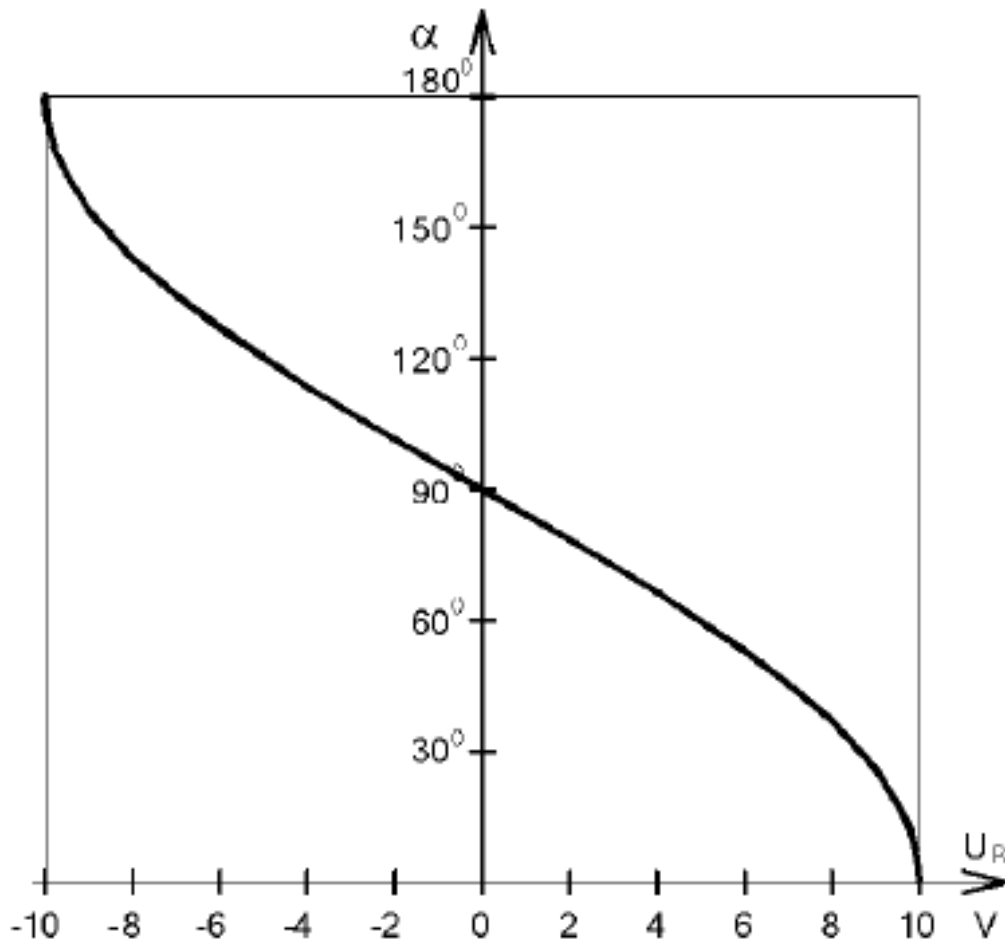
Srednja vrednost izlaznog napona  
je proporcionalna referentnoj!!!



## RAD KOLA ZA DIFERENCIRANJE

Pravougaoni izlazi  $U_1$ ,  $U_2$  komparatora se dovode na kolo za diferenciranje. Pozitivni impulsi se propuštaju ka izlazu, dok se negativni blokiraju diodama. Na taj način se dobijaju pobudni impulsi  $U_3$ ,  $U_4$  kojima se pobuđuju tiristori

## ZAVISNOST UGLA UPRAVLJANJA U FUNKCIJI OD REFERENTNOG NAPONA



$$U_{C,M}=10 \text{ V}$$

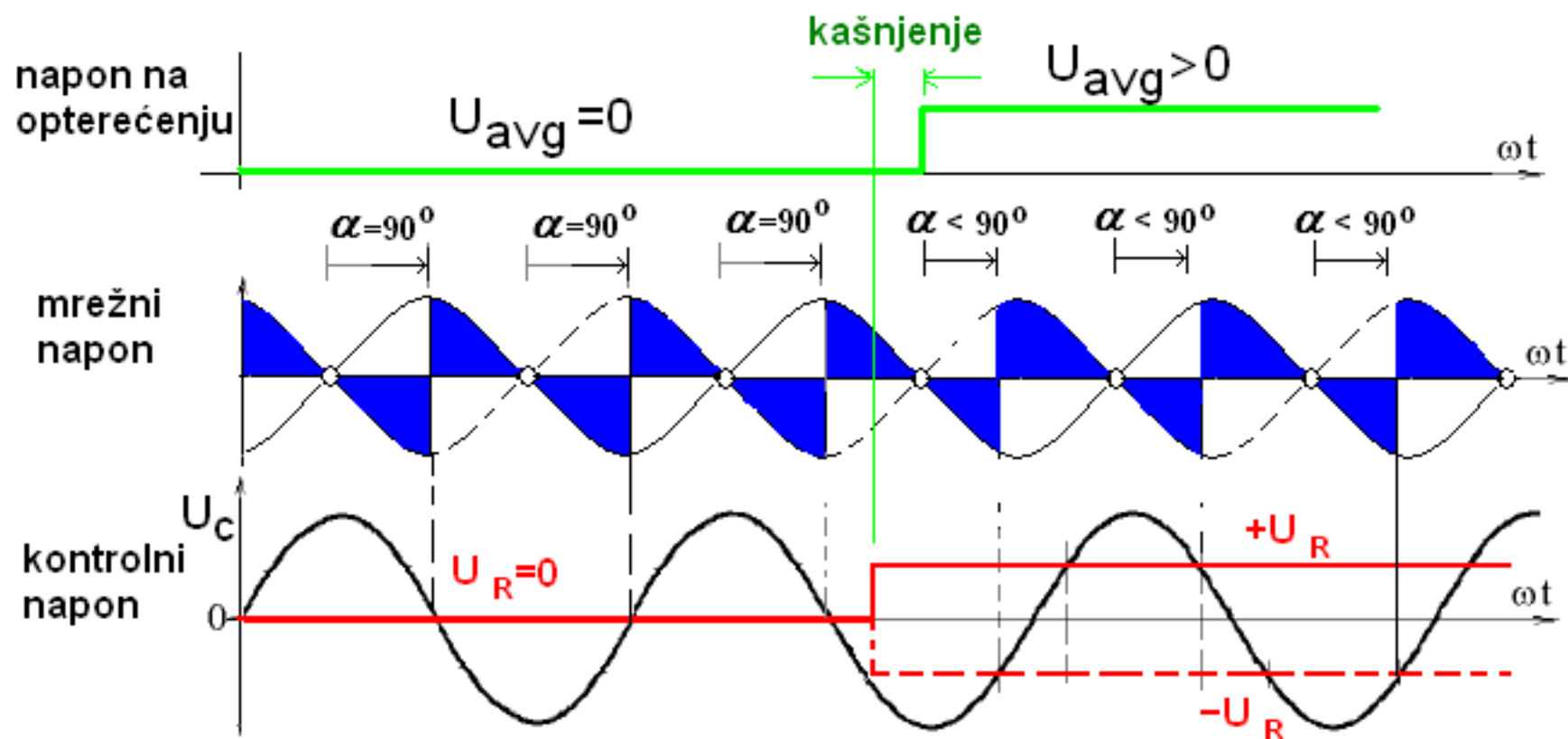
$$U_{d,SR} = k_1 \cdot U_R$$

Tiristorski ispravljač se ponaša kao pojačavač velike snage sa pojačanjem  $k$  za *upravljački (referentni) napon*  $U_R$ .

Odnos izlazne i ulazne veličine u kompleksnom domenu) predstavlja njegovu prenosnu funkciju ( $W(s)$ ). Ona je važana u analizi dinamičkih karakteristika pretvarača. Ovako dobijena prenosna funkcija je samo približna i važi za stacionarno stanje ili vrlo niske frekvencije.

Za brže promene, mora se uzeti u obzir i kašnjenje!!!.Koliko je ono?

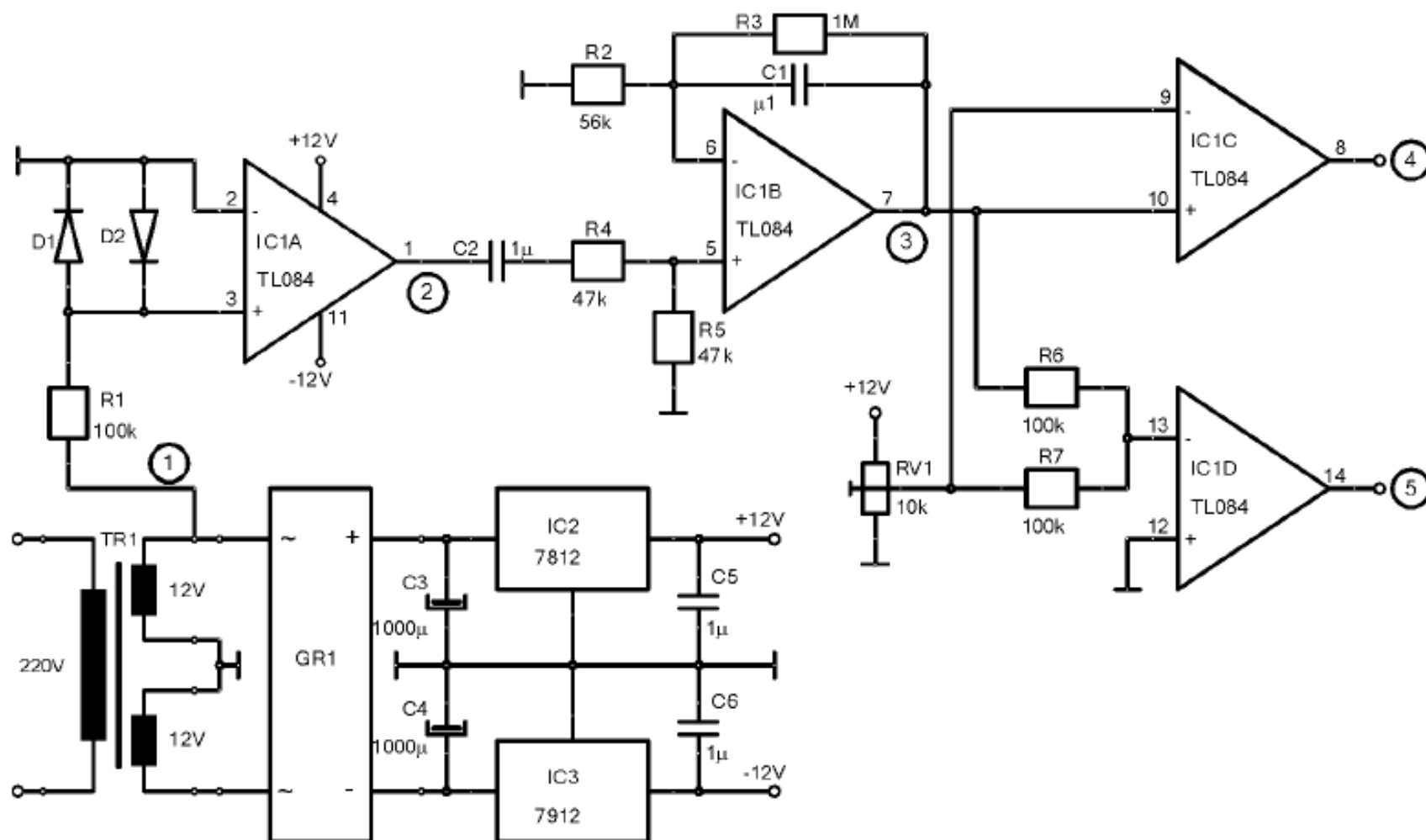




Zavisno od trenutka kada je upravljačka elektronika dala nalog da se izlazni napon promeni, potrebno je još neko vreme dok se to i ne ostvari. Kašnjenje unosi "mrtvo vreme" između dva uzastopna impulsa koje za ovaj slučaj (punoupravljivi tiristorski most) iznosi MAX polovinu vrednosti peiode  $T$ , što za 50 Hz iznosi 10ms. U praktičnom slučaju njegova vrednost ne prelazi 3-6ms, tako da se za prenosnu funkciju može pisati da je približno:

$$W(s) = \frac{U_{d,SR}}{U_R} \approx k \cdot e^{-0,5 \cdot T \cdot s}$$

## PRIMER: FAZNO UPRAVLJANJE SA KOMPARACIJOM REFERENTNOG SIGNALA I LINEARNE FUNKCIJE UMEMO KOSINUSNE



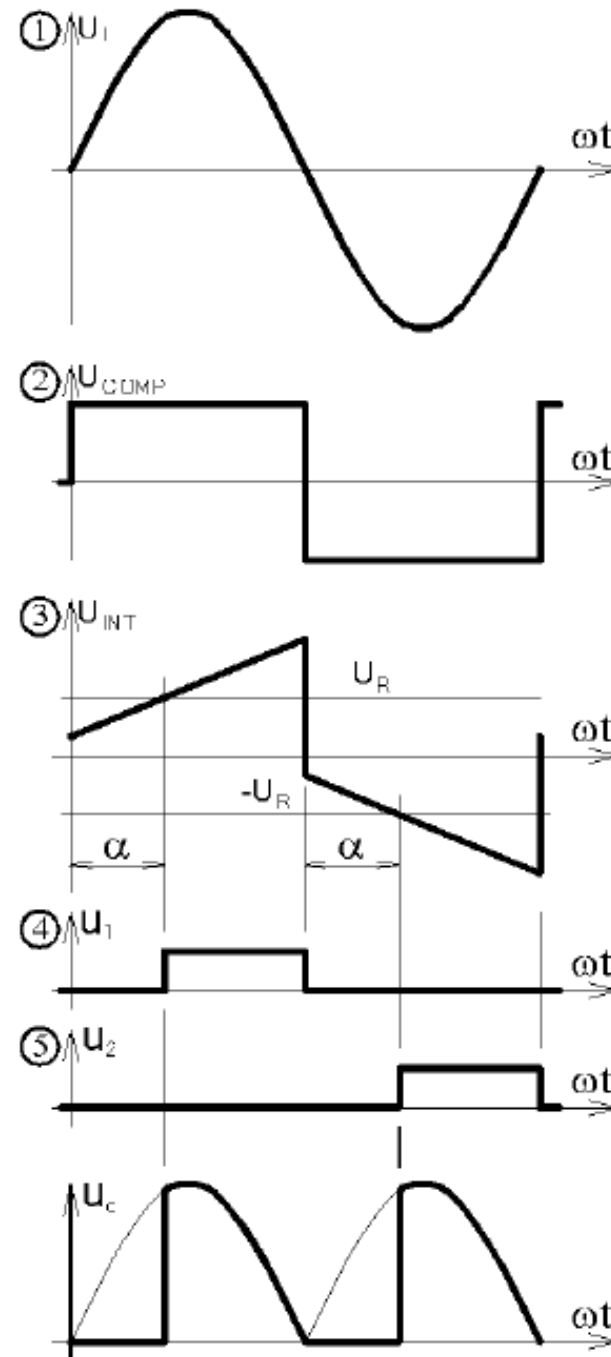
## Talasni oblici za električnu šemu sa prethodnog slajda

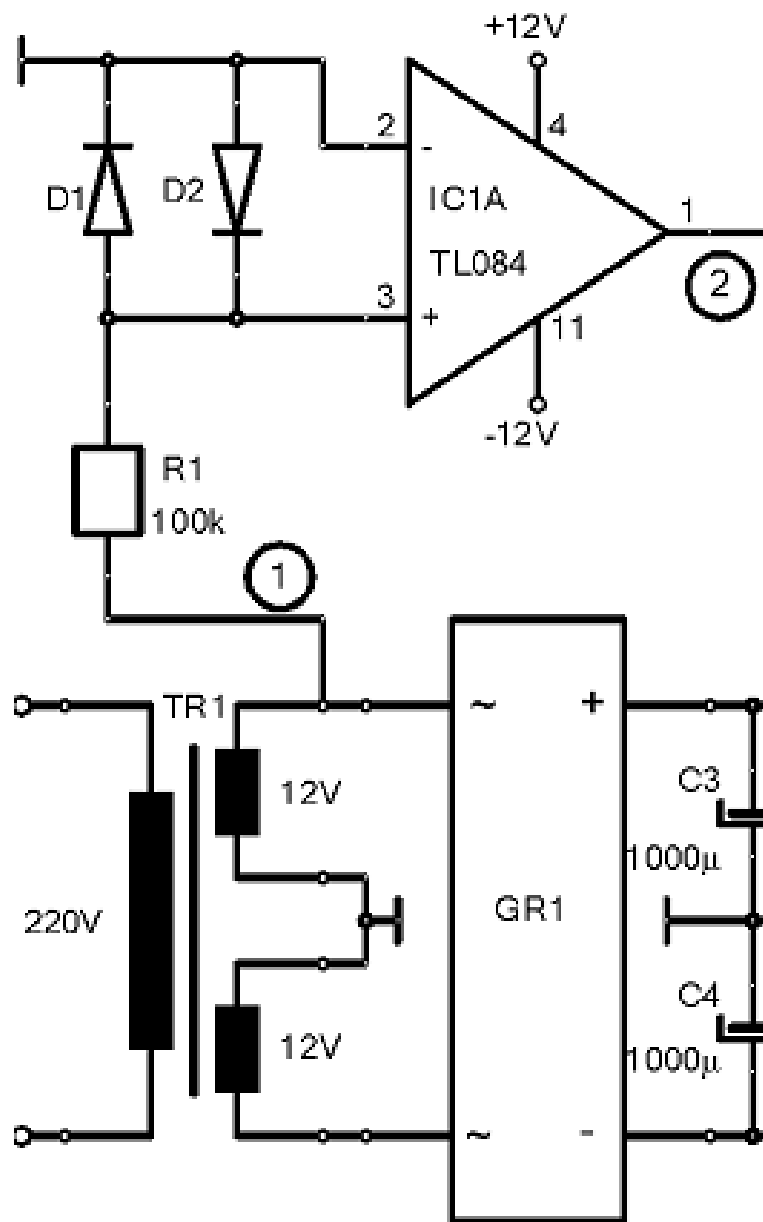
Rad električne šeme će biti objašnjen za svaki od pojedinačnih podsklopova

U okviru ove šeme se razlikuje nekoliko bitnih podsklopova:

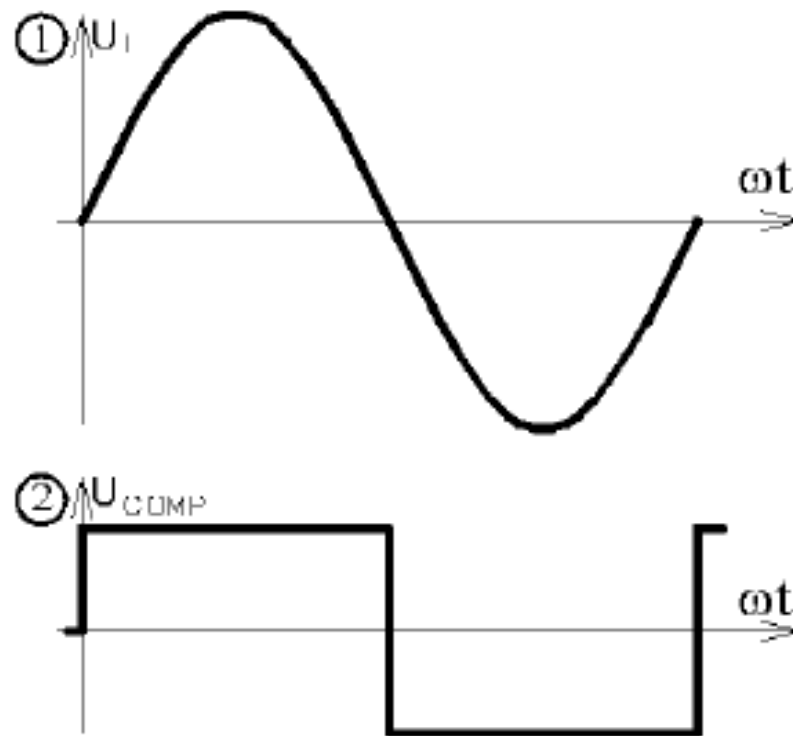
- sinhronizacioni sklop
- integrator
- zadavanje referentnog talasnog oblika
- komparatorski blok

DOBIJENI NAPON NA IZLAZU SE DALJE OBLIKUJE I PRILAGOĐAVA POBUDI TIRISTORA ("češalj impulsa")



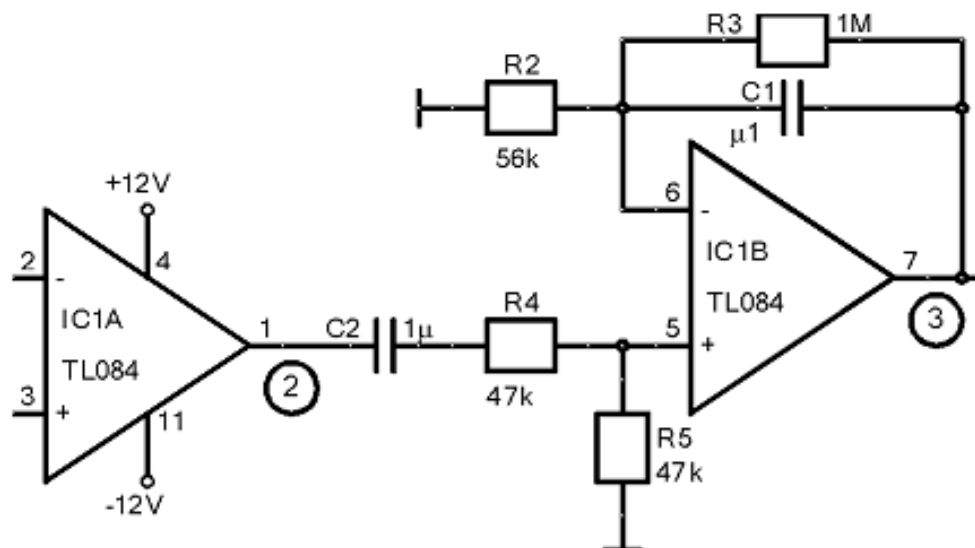


## SINHRONIZACIJA SA MREŽOM

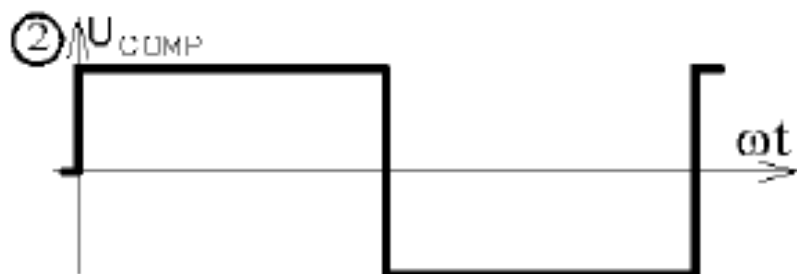


Izobličenja koja unosi punjenje kondenzatora C3 i C4, ne unose smetnje jer se punjenje ostvaruje u vršnim vrednostima napona sekundara TR1

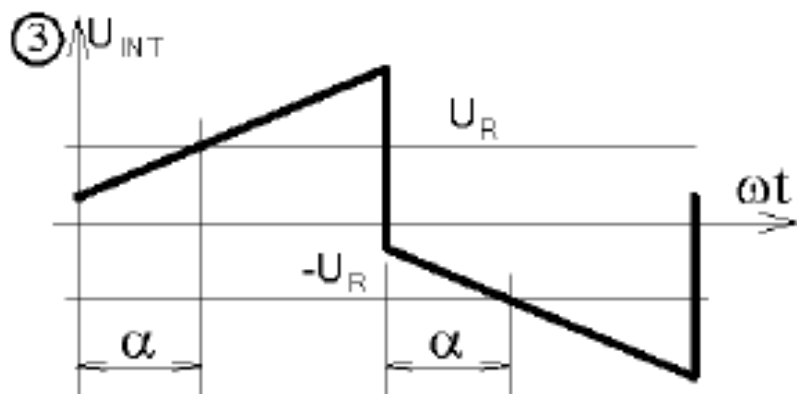
# INTEGRACIJA SINHRONIZACIONOG NAPONA



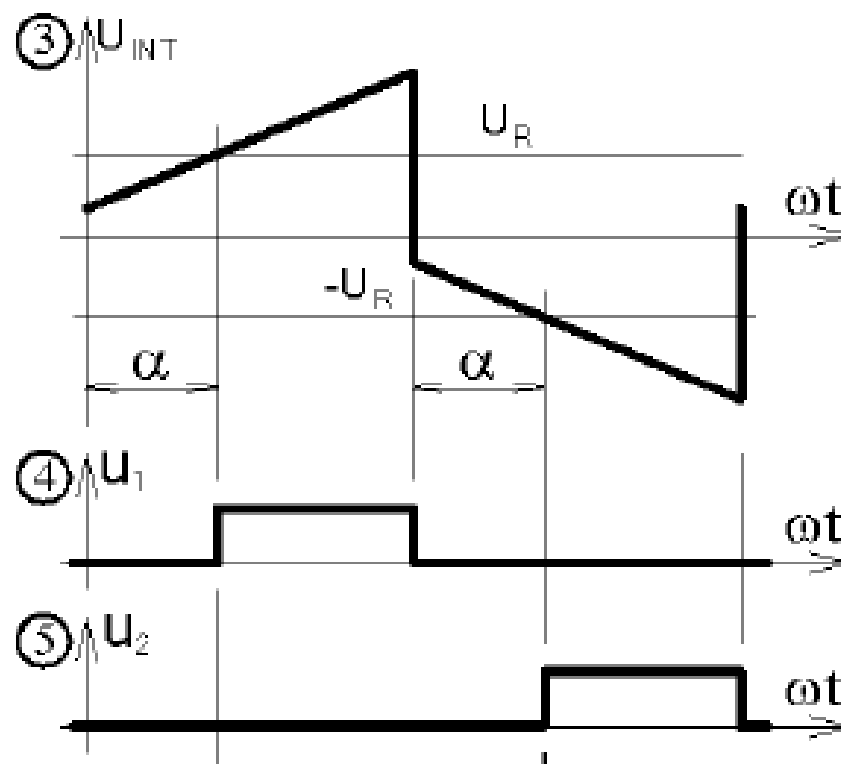
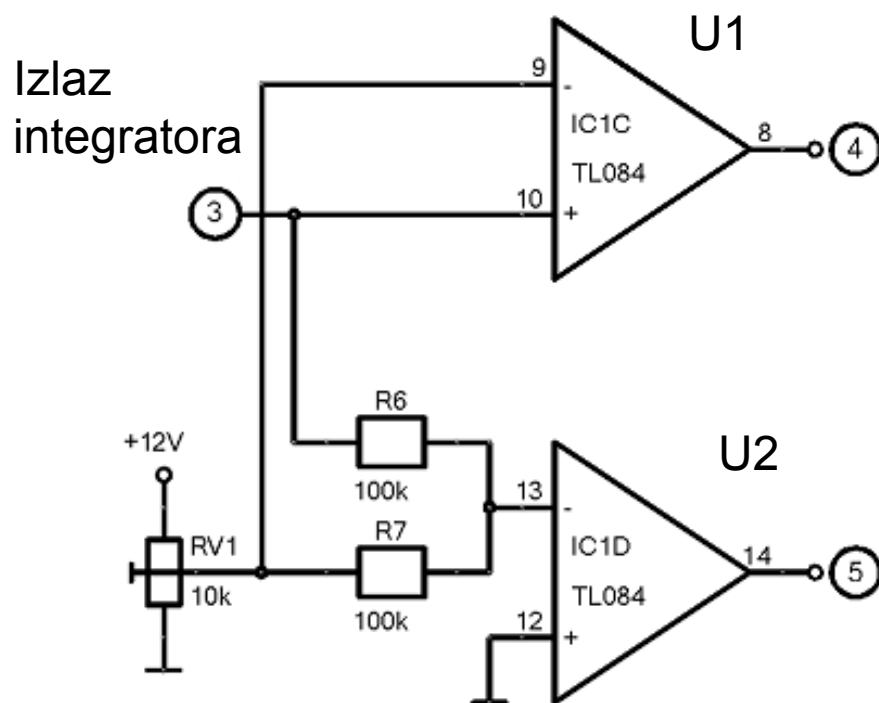
NAPON SINHRONIZOVAN  
SA MREŽOM



IZLAZ  
INTEGRATORA



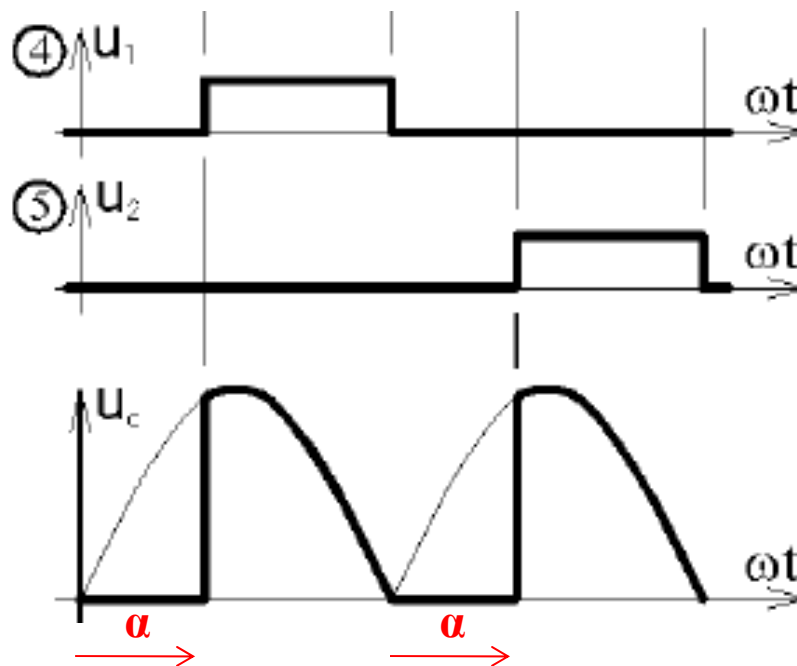
## KOMPARACIJA REFERENTNOG UPRAVLJAČKOG SIGNALA I IZLAZNOG NAPONA INTEGRATORA



Pravougaoni impulsi se dalje prilagođavaju drajverskom kolu (formira se “češalj impulsa”).

U kakvom su odnosu ovi impulsi  $U_1$ ,  $U_2$  sa izlaznim naponom poluupravljivog ispravljača?

Upravljački signali  
drajverskih kola  
tiristora

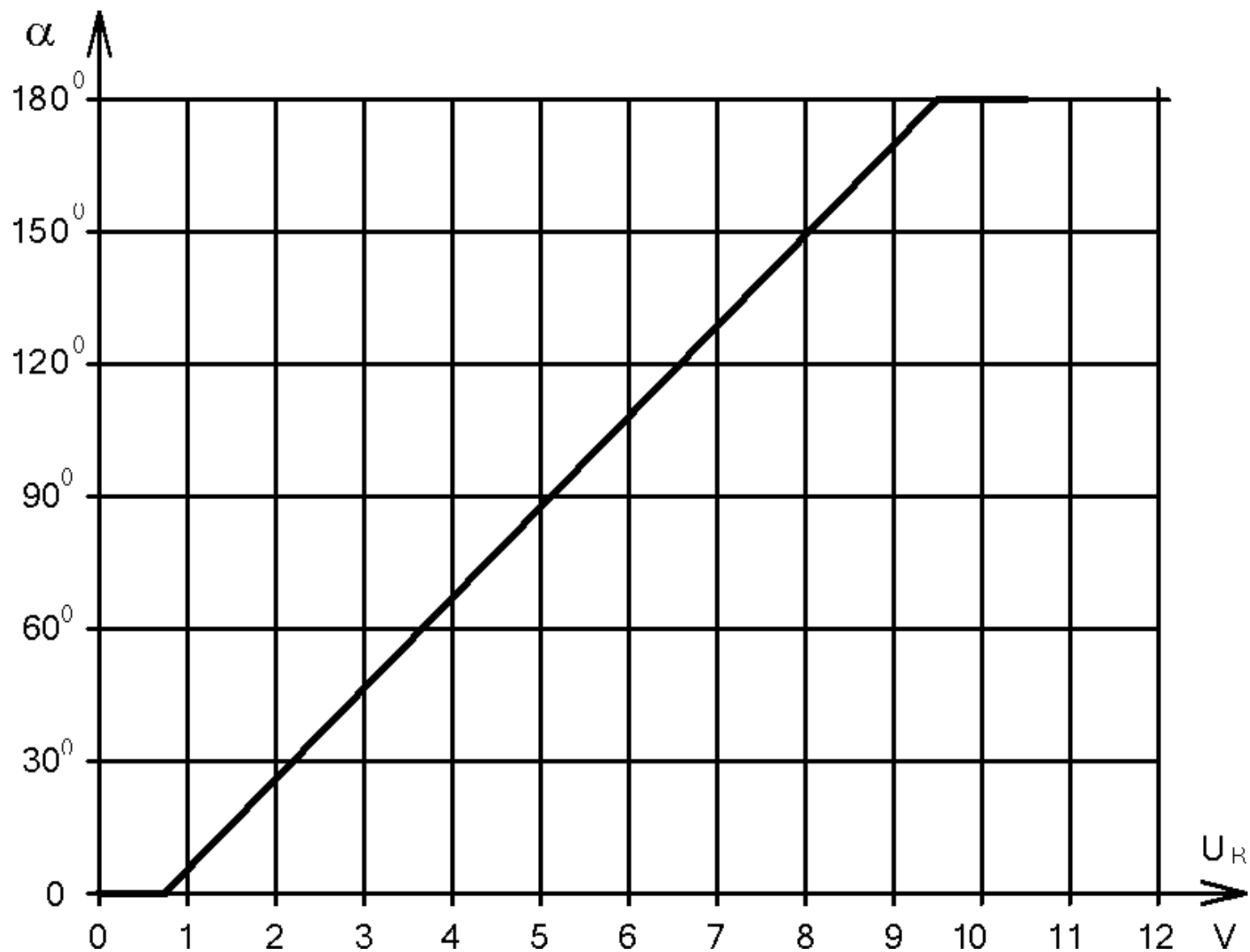


Napon na  
opterećenju

Opseg regulacije od  $\alpha_{\text{MIN}}=0$  do  $\alpha_{\text{MAX}}=180^\circ$ , postignut je promenom upravljačkog (referentnog) napona u opsegu od 0 do 10 V.

**ZAVISNOST UGLA UPRAVLJANJA  $\alpha$  OD UPRAVLJAČKOG (REF) NAPONA?**

## ZAVISNOST UGLA UPRAVLJANJA OD REFERENTNOG NAPONA





**SREDNJA VREDNOST PUNOUPRAVLJIVOG MOSNOG  
TIRISTORSKOG ISPRAVLJAČA:**

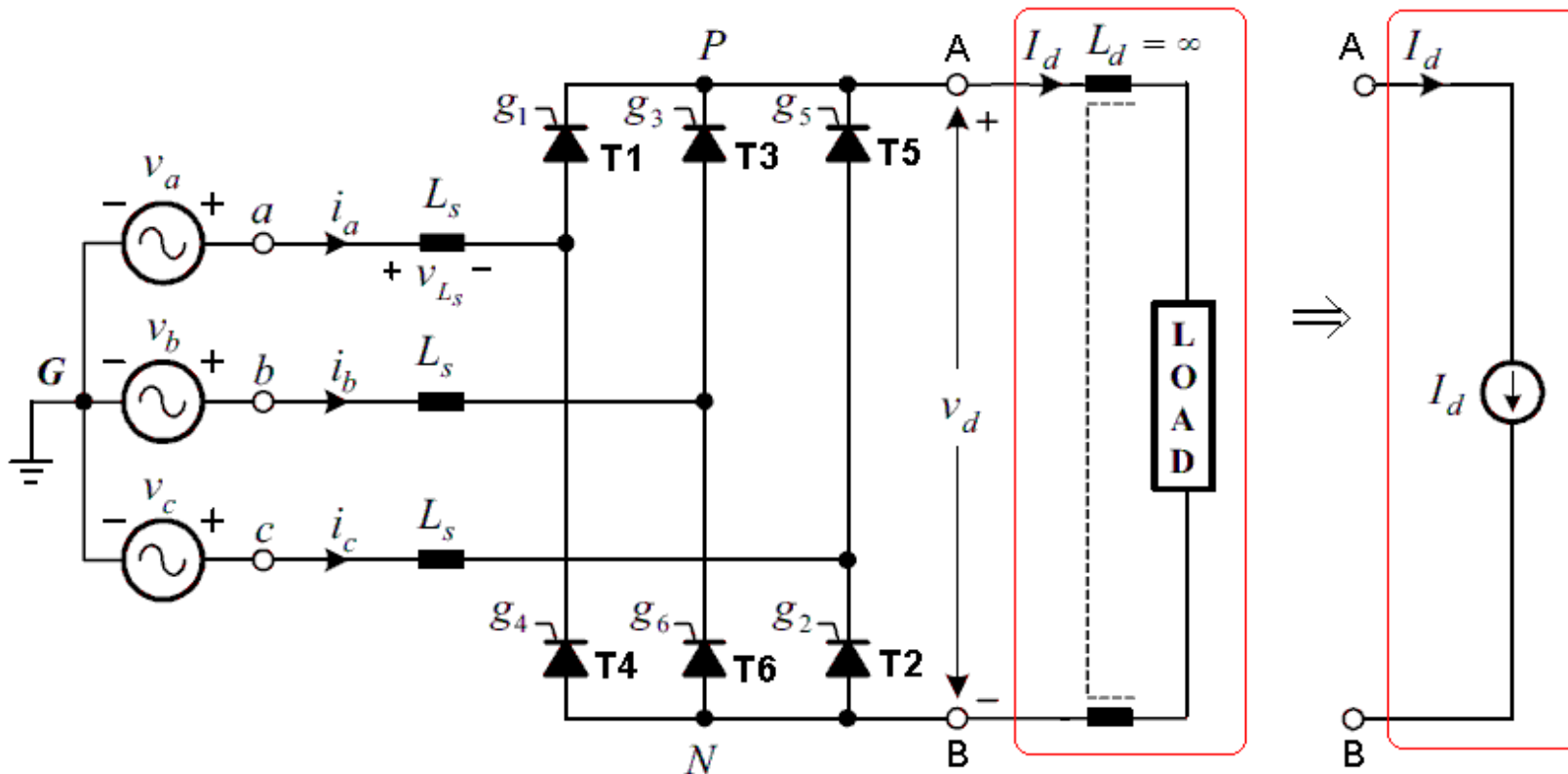
$$U_{d,SR} = U_{d,0} \cos \alpha = U_{d,0} \cos \frac{\pi(U_R - U_{R,MIN})}{U_{R,MAX} - U_{R,MIN}}$$

**SREDNJA VREDNOST POLUUPRAVLJIVOG MOSNOG  
TIRISTORSKOG ISPRAVLJAČA:**

$$U_{d,SR} = U_{d,0} \frac{1 + \cos \alpha}{2} = U_{d,0} \frac{1 + \cos \frac{\pi(U_R - U_{R,MIN})}{U_{R,MAX} - U_{R,MIN}}}{2}$$

# TROFAZNI MOSNI ISPRAVLJAČ (PUN MOST- 6 TIRISTORA)

## TOPOLOGIJA



P- katodna grupa tiristora (T1, T3, T5)  
N-anodna grupa tiristora (T2, T4, T6)

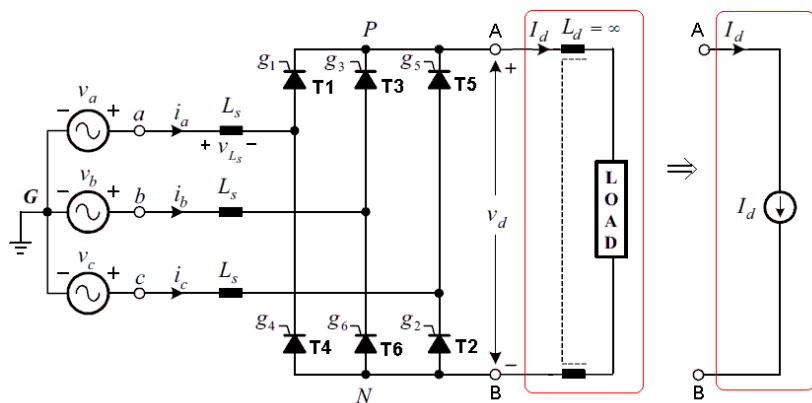
Opterećenje  
STRUJNI PONOR

## ANALIZA TALASNIH OBLIKA

$$v_a = E\sqrt{2} \cdot \sin \omega t$$

$$v_b = E\sqrt{2} \cdot \sin(\omega t - 120^\circ)$$

$$v_c = E\sqrt{2} \cdot \sin(\omega t - 240^\circ)$$

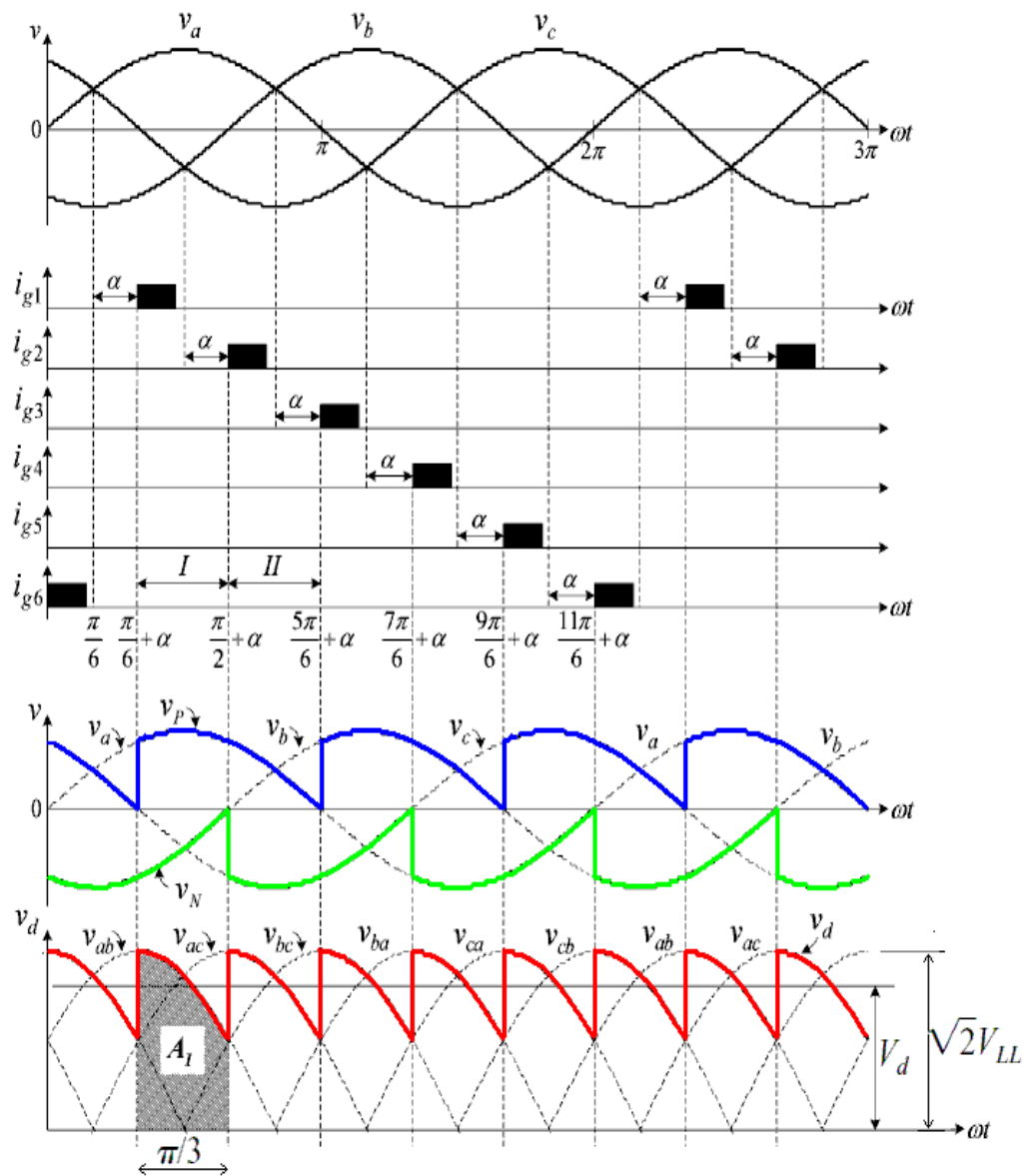


Srednja vrednost izlaznog napona

$$V_d = \frac{3\sqrt{2}}{\pi} \cdot V_{LL} \cdot \cos \alpha$$

$$V_{LL} = \sqrt{3}E$$

$$V_d = \frac{3\sqrt{6}}{\pi} \cdot E \cdot \cos \alpha$$



$$V_d = \frac{\text{POVRŠINA } A_1}{\pi/3} = \frac{1}{\pi/3} \int_{\pi/6+\alpha}^{\pi/2+\alpha} v_{ab} d(\omega t) = \frac{3\sqrt{2}}{\pi} V_{LL} \cos \alpha = 1.35 V_{LL} \cos \alpha$$

$$v_{ab} = \sqrt{2} V_{LL} \sin(\omega t + \pi/6)$$

# Spektar linijske struje

Furijeov red viših harmonika:

$$i_a = \frac{2\sqrt{3}}{\pi} I_d \left( \sin(\omega t - \phi_1) - \frac{1}{5} \sin 5(\omega t - \phi_1) - \frac{1}{7} \sin 7(\omega t - \phi_1) + \frac{1}{11} \sin 11(\omega t - \phi_1) \right. \\ \left. + \frac{1}{13} \sin 13(\omega t - \phi_1) - \frac{1}{17} \sin 17(\omega t - \phi_1) - \frac{1}{19} \sin 19(\omega t - \phi_1) + \dots \right)$$

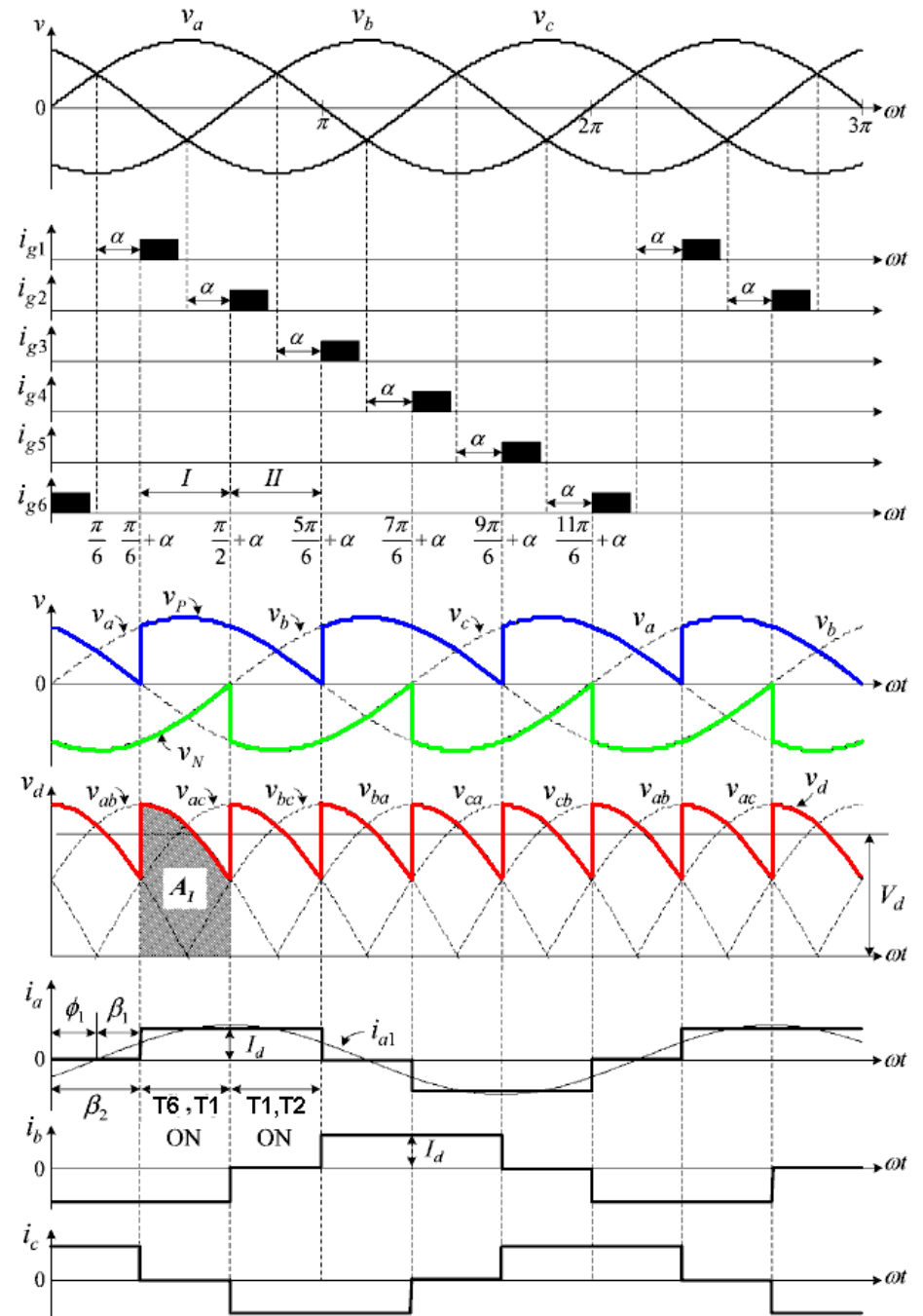
Efektivna vrednost linijske struje:

$$I_a = \left( \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} (i_a)^2 d(\omega t) \right)^{1/2} = \left( \frac{1}{2\pi} \left( \int_{\frac{\pi}{6}+\alpha}^{\frac{5\pi}{6}+\alpha} (I_d)^2 d(\omega t) + \int_{\frac{7\pi}{6}+\alpha}^{\frac{11\pi}{6}+\alpha} (-I_d)^2 d(\omega t) \right) \right)^{1/2} \\ = \sqrt{\frac{2}{3}} I_d = 0.816 I_d$$

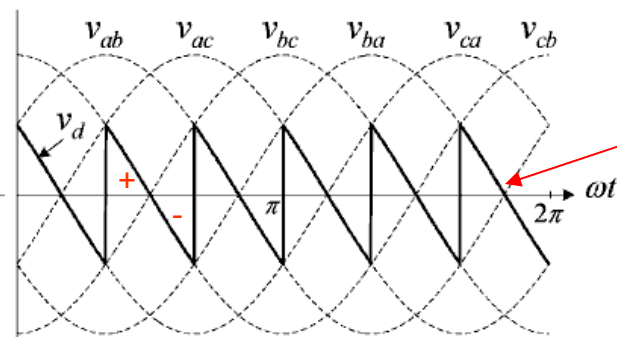
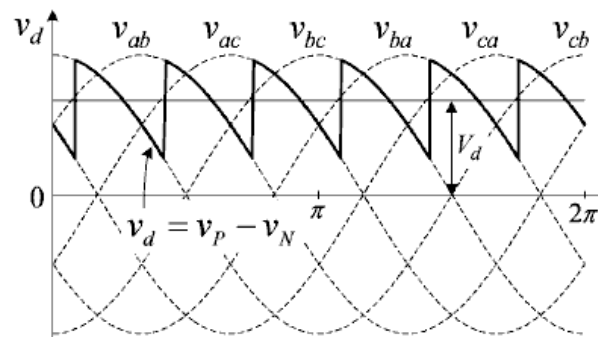
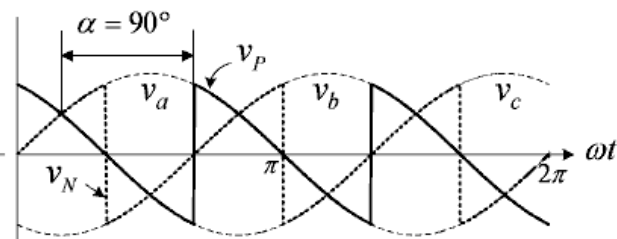
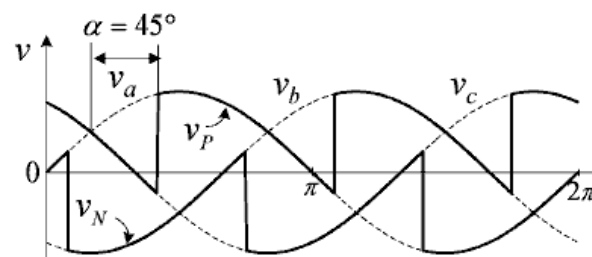
$$I_a = I_b = I_c$$

Ukupno harmonijsko izobličenje:

$$\text{THD} = \frac{\sqrt{I_a^2 - I_{a1}^2}}{I_{a1}} = \frac{\sqrt{(0.816I_d)^2 - (0.78I_d)^2}}{0.78I_d} = 0.311$$

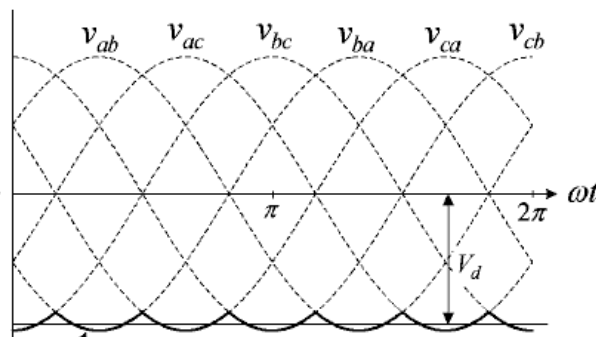
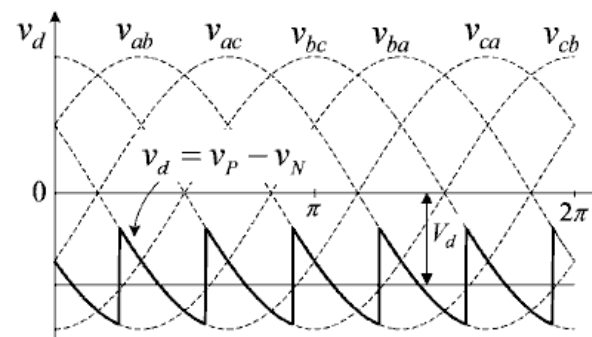
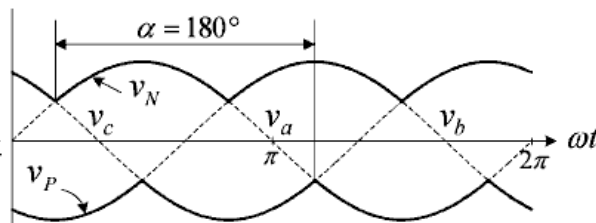
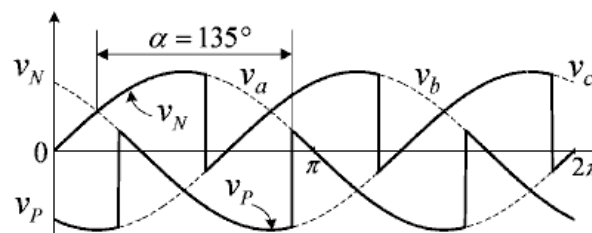


$V_d > 0$



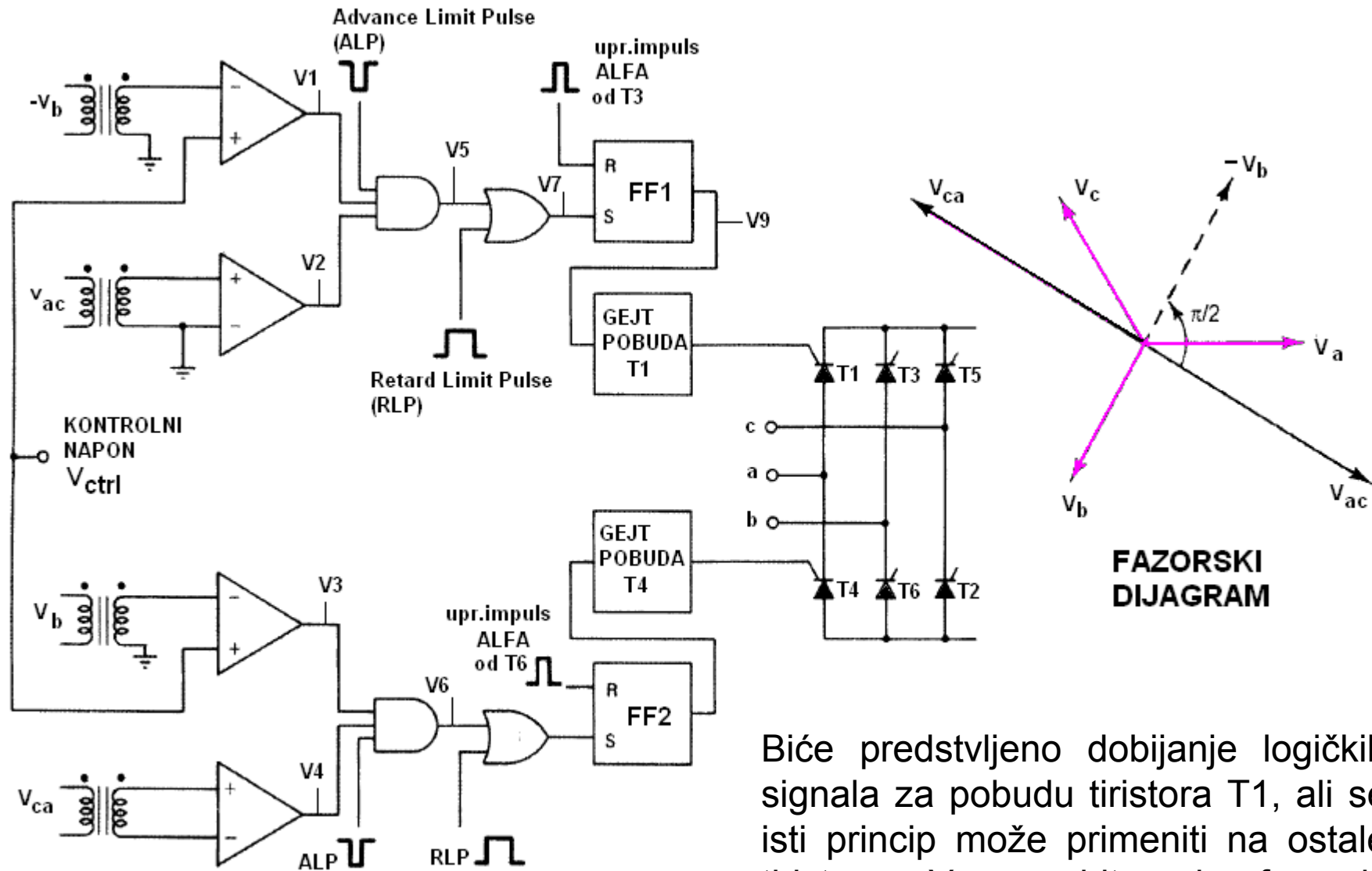
$V_d = 0$

Talasni oblici  
izlaznog napona  
za različite  
vrednosti ugla  
upravljanja  $\alpha$



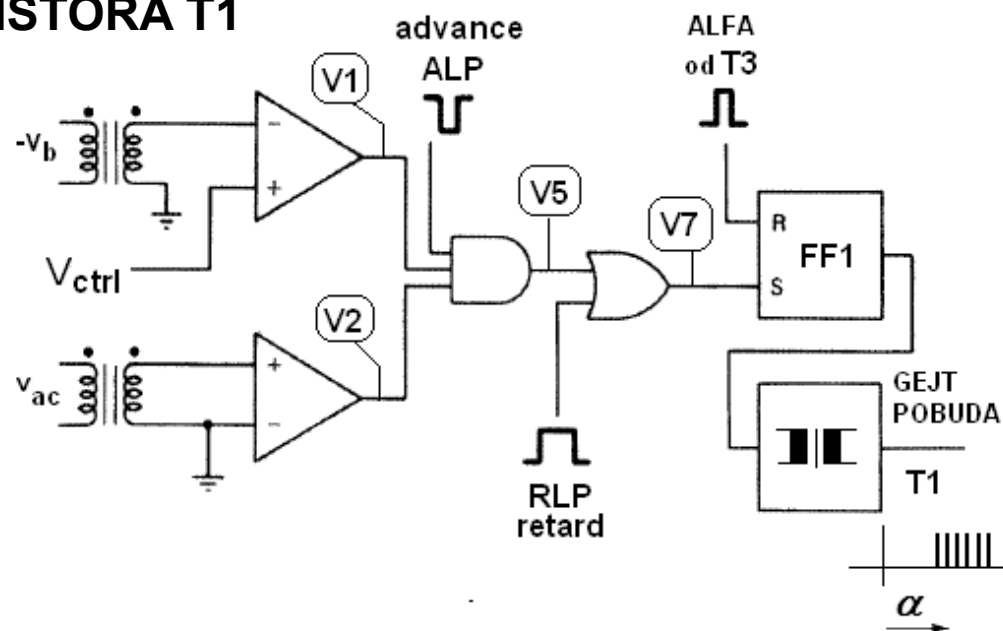
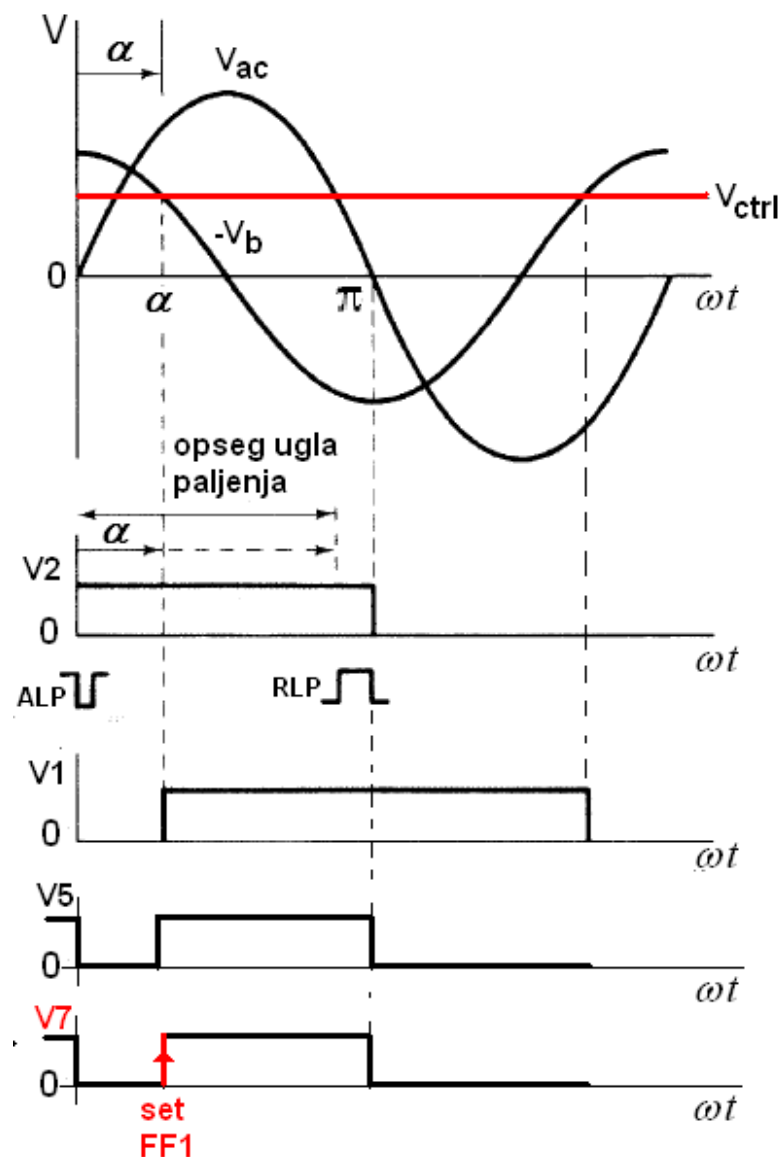
$V_d < 0$

# KOSINUSNA METODA KONTROLE TROFAZNOG TIRISTORSKOG PUNOUPRAVLJIVOG ISPRAVLJAČA



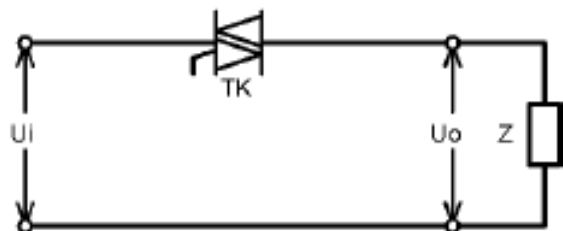
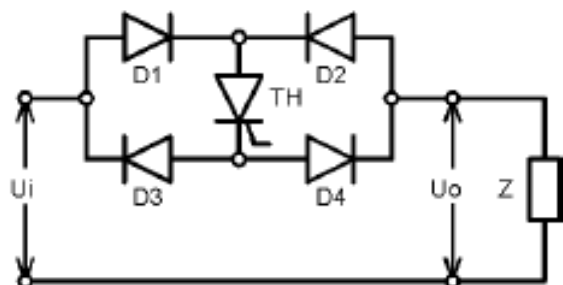
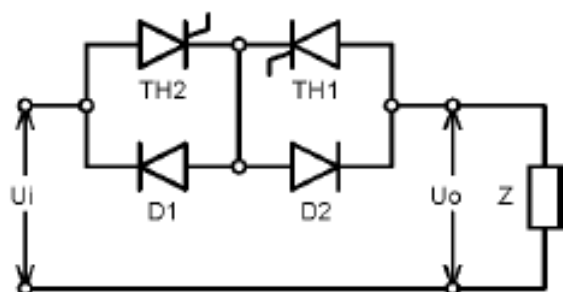
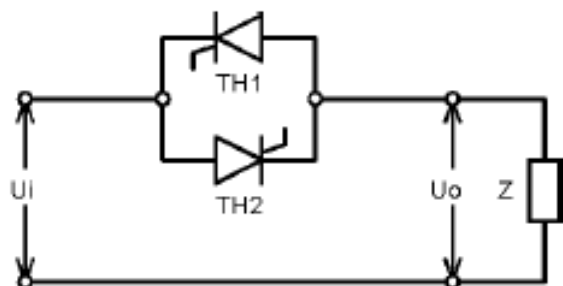
Biće predstavljeno dobijanje logičkih signala za pobudu tiristora T1, ali se isti princip može primeniti na ostale tiristore. Veoma bitan je fazorski dijagram napona dat na slici.

## LOGIČKI SIGNALI ZA POBUDU TIRISTORA T1

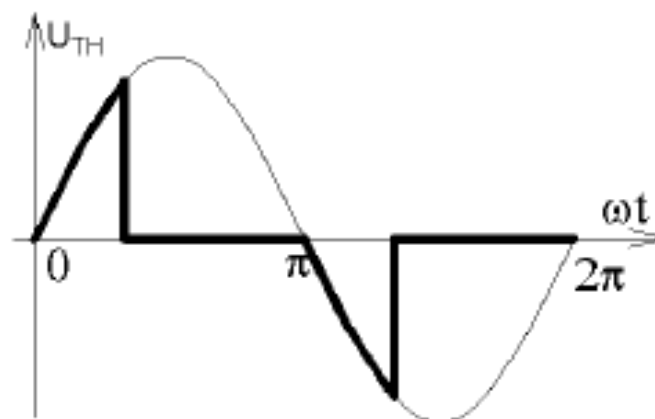
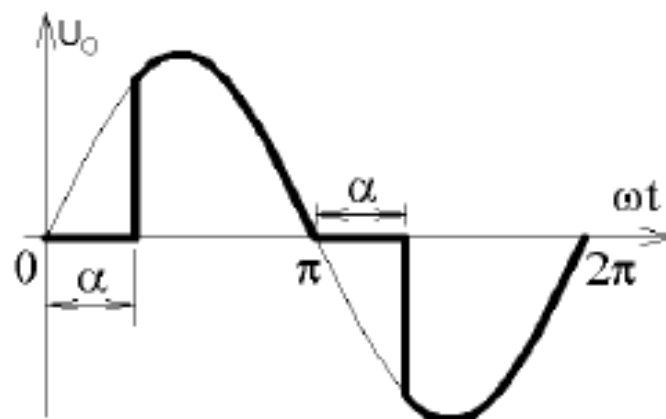


Linijski napon  $V_{ac}$  je referentni talasni oblik koji određuje opseg  $0-\pi$ , odnosno opseg ugla paljenja  $T1$ . Fazni napon  $-V_b$  koji "prednjači" naponu  $V_{ac}$  ustvari predstavlja COS referencu za  $T1$ . Kontrolni napon  $V_{ctrl}$  u preseku sa COS referencom ( $-V_b$ ) i komparatorskim kolom -1 određuje ugao faznog kašnjenja  $\alpha$ . Signali  $V1$  i  $V2$  se zajedno sa signalom  $ALP$  vode u logičko "I" kolo te se dobija upravljački signal  $V6$ , koji se logički sabira sa signalom  $RLP$  i na taj način se formira signal  $V7$ . Prednja ivica tog signala setuje flip-flop  $FF1$ , dok se  $FF1$  resetuje upravljačkim signalom za paljenje tiristora  $T3$ .

# UPRAVLJAČKA KOLA PODEŠAVAČA NAPONA



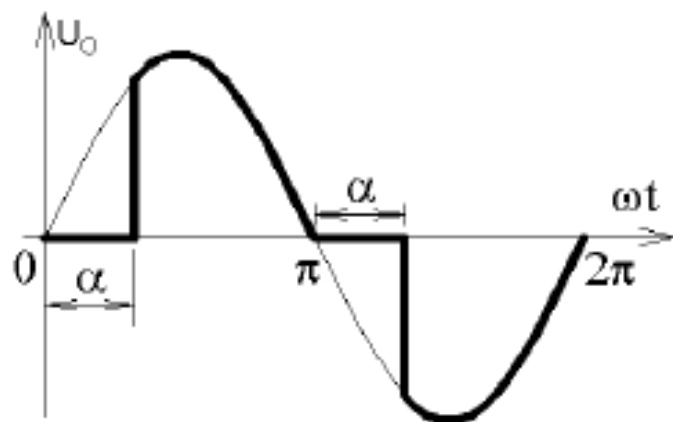
( $Z=R$ ) omski potrošač



Ova upravljačka kola su takođe bazirana na faznoj kontroli. Odnose se na topologije sa tiristorima i diodama, odnosno trijacima. Primene su uglavnom na monofazne potrošače.



## IZRAČUNAVANJE SREDNJE I EFEKTIVNE VREDNOSTI I KOEFICIJENTA OBLIKA

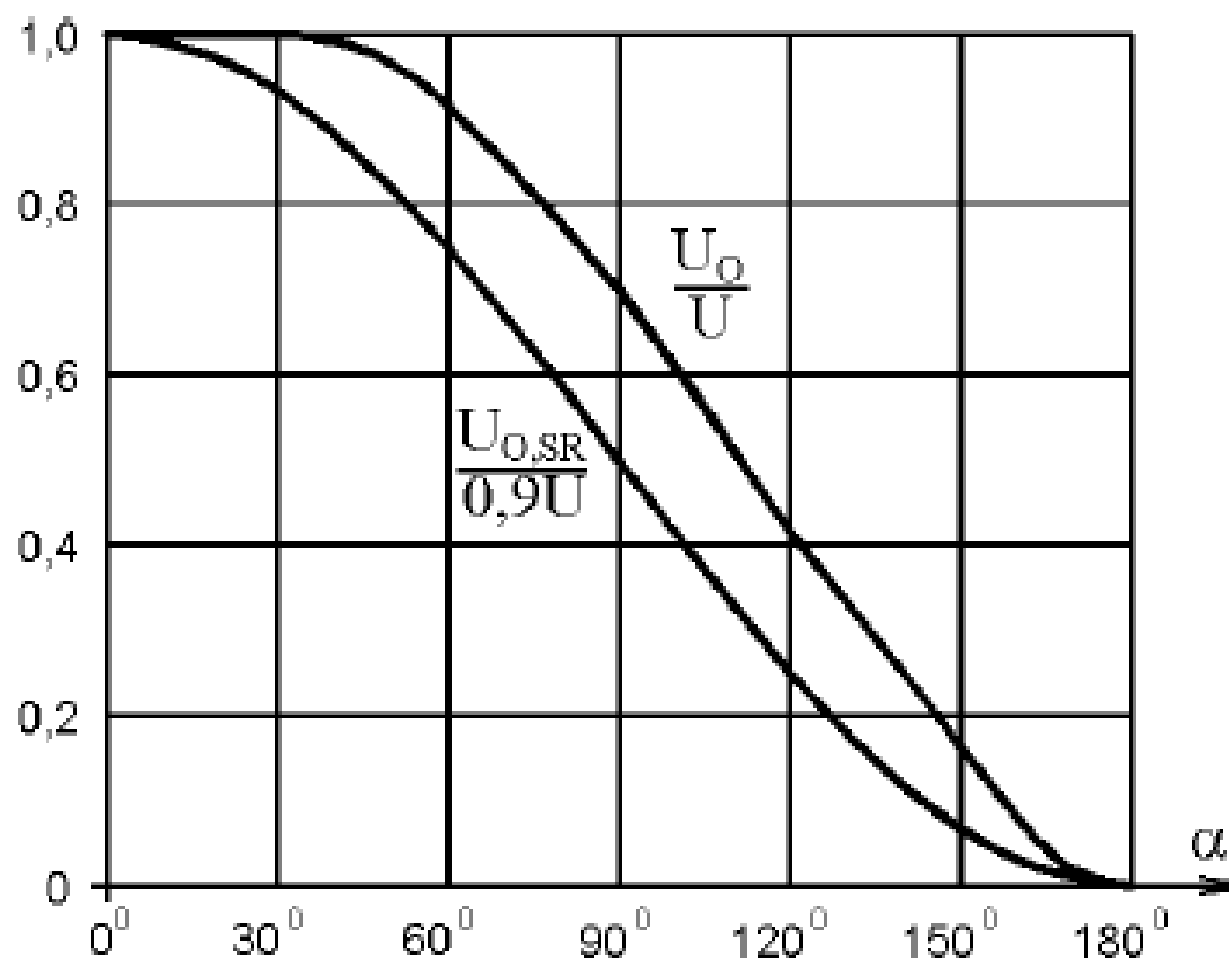


$$U_{O,SR} = \frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi} \sqrt{2}U \sin \omega t d(\omega t) = \frac{\sqrt{2}U}{\pi} (1 + \cos \alpha) \quad \text{srednja vrednost}$$

$$U_o = \sqrt{\frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi} 2U^2 \sin^2 \omega t d(\omega t)} = U \sqrt{1 - \frac{\alpha}{\pi} + \frac{\sin 2\alpha}{2\pi}} \quad \text{efektivna vrednost}$$

$$k_{f,U} = \frac{U_o}{U_{O,SR}} = \frac{\sqrt{\pi(2\pi - 2\alpha + \sin 2\alpha)}}{2(1 + \cos \alpha)} \quad \begin{array}{l} \text{koeficijent} \\ \text{oblika} \end{array}$$

## ZAVISNOST SREDNJE I EFEKTIVNE VREDNOSTI IZLAZNOG NAPONA OD UPRAVLJAČKOG UGLA



U opsegu uglova upravljanja 60-150° zavisnost je približno linearna

## OSNOVNE RELACIJE ZA STRUJE I SNAGE

$$I_O = \frac{U_O}{R} = \frac{U}{R} \sqrt{1 - \frac{\alpha}{\pi} + \frac{\sin 2\alpha}{2\pi}}$$

struja opterećenja

$$I_{SR} = \frac{\sqrt{2} \cdot U}{\pi \cdot R} (1 + \cos \alpha)$$

srednja vrednost struje tiristora

$$P = R \cdot I^2 = \frac{U^2}{R} \left( 1 - \frac{\alpha}{\pi} + \frac{\sin 2\alpha}{2\pi} \right)$$

snaga opterećenja

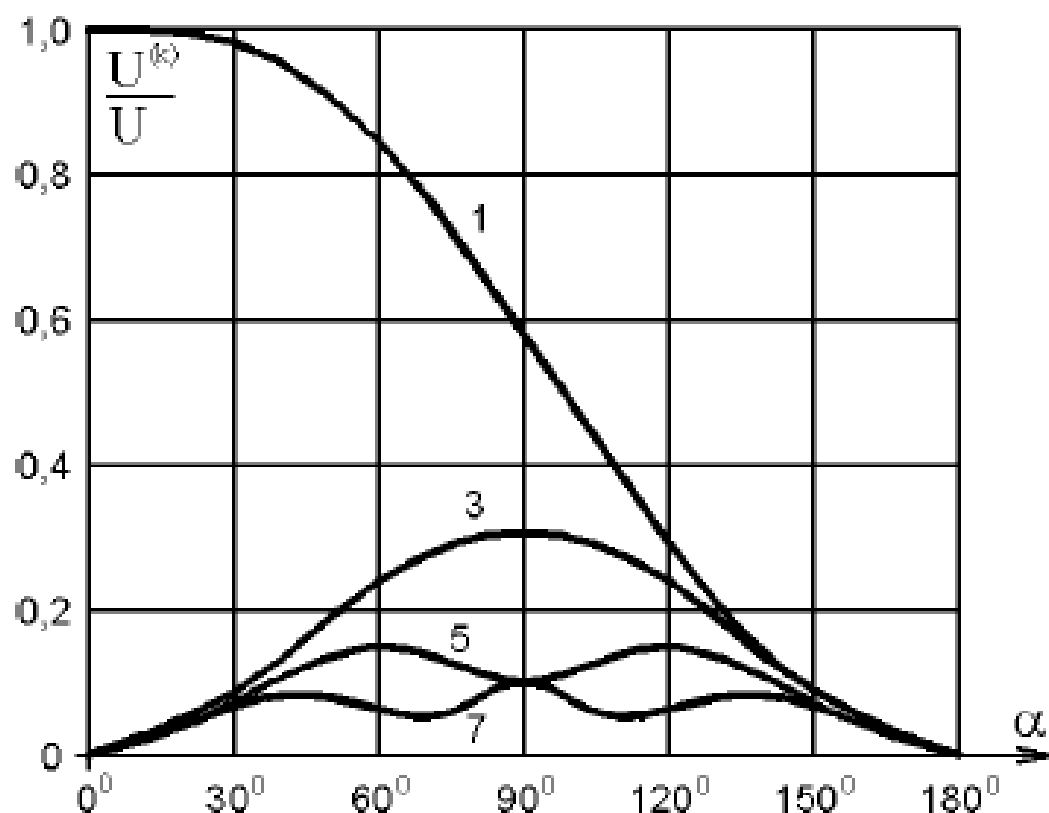
$$S = U \cdot I = \frac{U^2}{R} \sqrt{1 - \frac{\alpha}{\pi} + \frac{\sin 2\alpha}{2\pi}}$$

snaga kojom je opterećena  
napojna mreža

$$\lambda = \frac{P}{S} = 1 - \frac{\alpha}{\pi} + \frac{\sin 2\alpha}{2\pi}$$

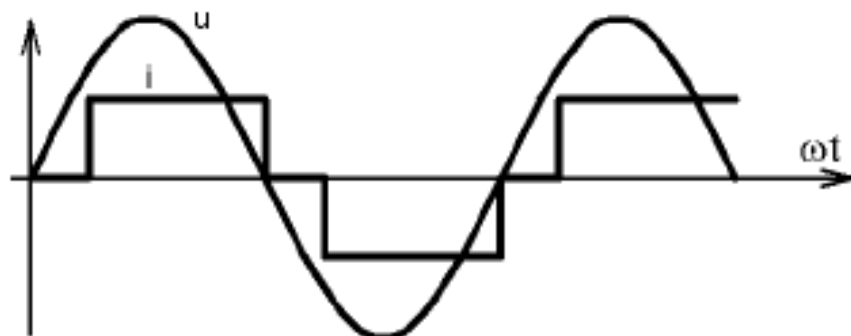
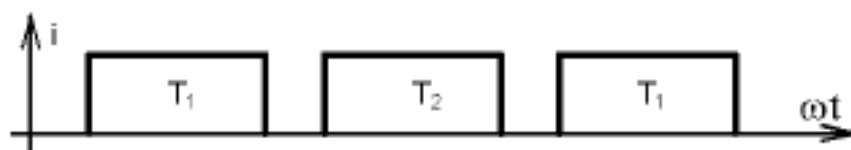
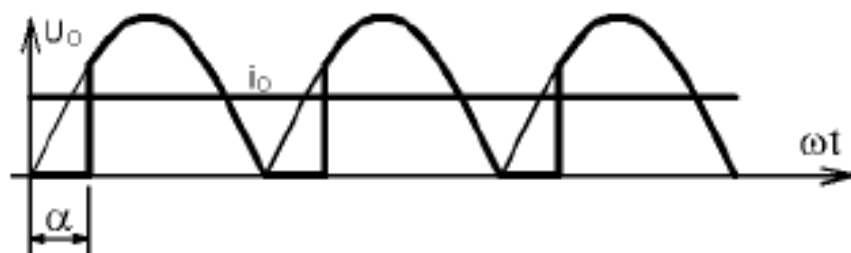
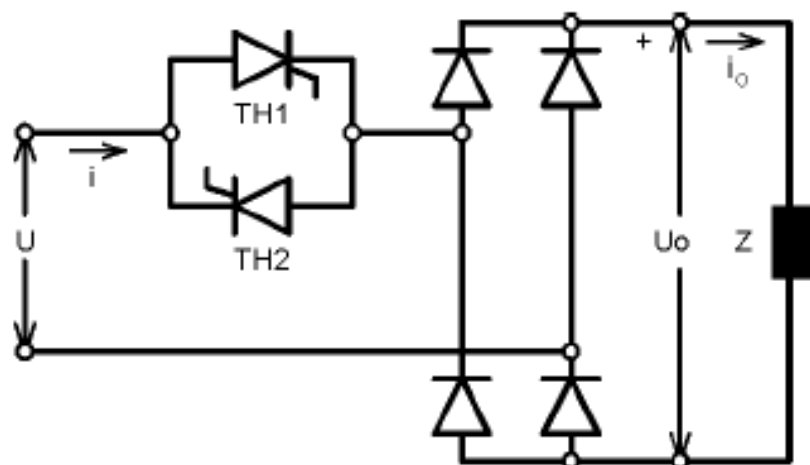
faktor snage

## SADRŽAJ OSNOVNOG I VIŠIH HARMONIKA U ZAVISNOSTI OD UPRAVLJAČKOG UGLA



Iako se radi o čisto omskom opterećenju, zbog ugla upravljanja mreža je ustvari opterećena i reaktivnom snagom.

Ovaj faktor snage ( $\lambda$ ), rezultat je faznog pomeraja osnovnog harmonika struje u odnosu na napon ( $\cos\varphi_1$ ) i prisustva viših harmonika ( $n$ ), koji povećavaju efektivnu vrednost struje ali ne prenose aktivnu snagu.



## REGULATOR JEDNOSMERNOG NAPONA

Na izlazu se dobija jednosmerni napon koji je po obliku isti kao da je dobijen iz tiristorskog regulisanog ispravljača (na primer mosnog) sa zamajnom diodom.

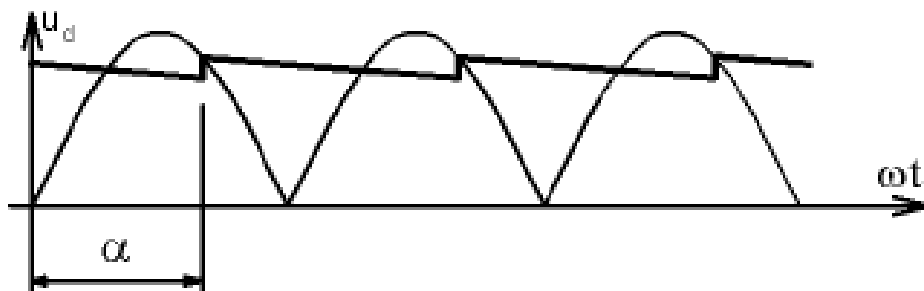
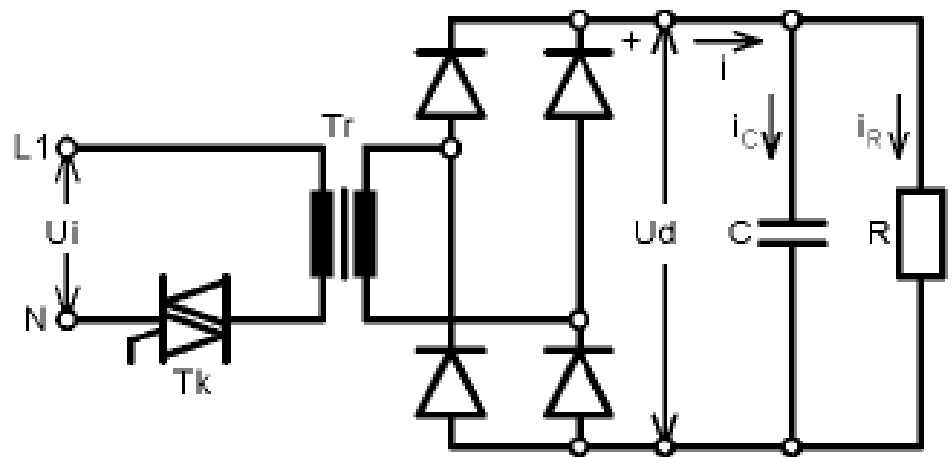
Ovakva šema je jednostavnija za upravljanje, pogotovu ako se umesto dva tiristora radi sa trijakom.

Sa aspekta gubitaka ona je nepovoljnija jer sada struja prolazi kroz tri elementa koji stvaraju svoje padove napona i gubitke.

Srednja vrednost izlaznog napona:

$$U_{O,SR} = \frac{2\sqrt{2}U}{\pi} \frac{1 + \cos\alpha}{2}$$

## REGULATOR JEDNOSMERNOG NAPONA SA RC-FILTROM



Često je potrebno da se ima promenljivi jednosmerni napon sa malom valovitošću.

Tada se paralelno ispravljaču dodaje kondenzator velikog kapaciteta (elektrolit).

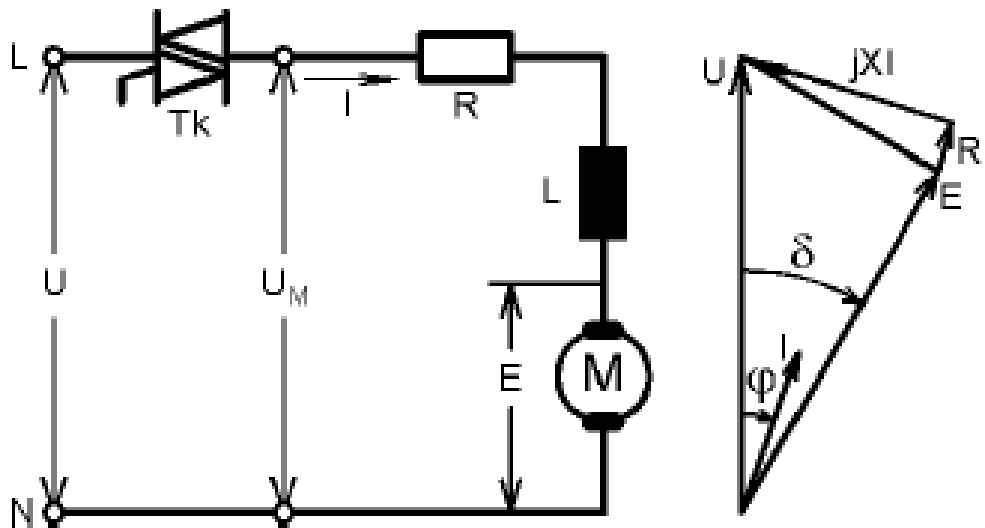
Struja kondenzatora proporcionalna je izvodu napona. Pri uključenju tiristora (trijaka) porast napona je jako veliki, ali i sama struja uključenja.

Ovim kolom se mogu napajati samo kola sa relativno malim kapacitetom.

Razne otpornosti namota transformatora, spojnih veza i njihove induktivnosti ovde dobro dođu tako da je strujni impuls pri uključenju znatno manji. Takođe i pri izboru tiristora treba uzeti značajnu strujnu rezervu. Kondenzatori velikog kapaciteta u kombinaciji sa tiristorima zahtevaju i dodatne prigušnice.

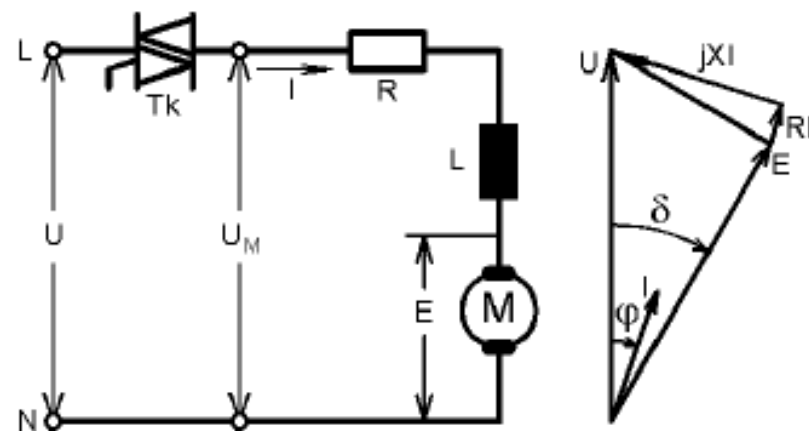
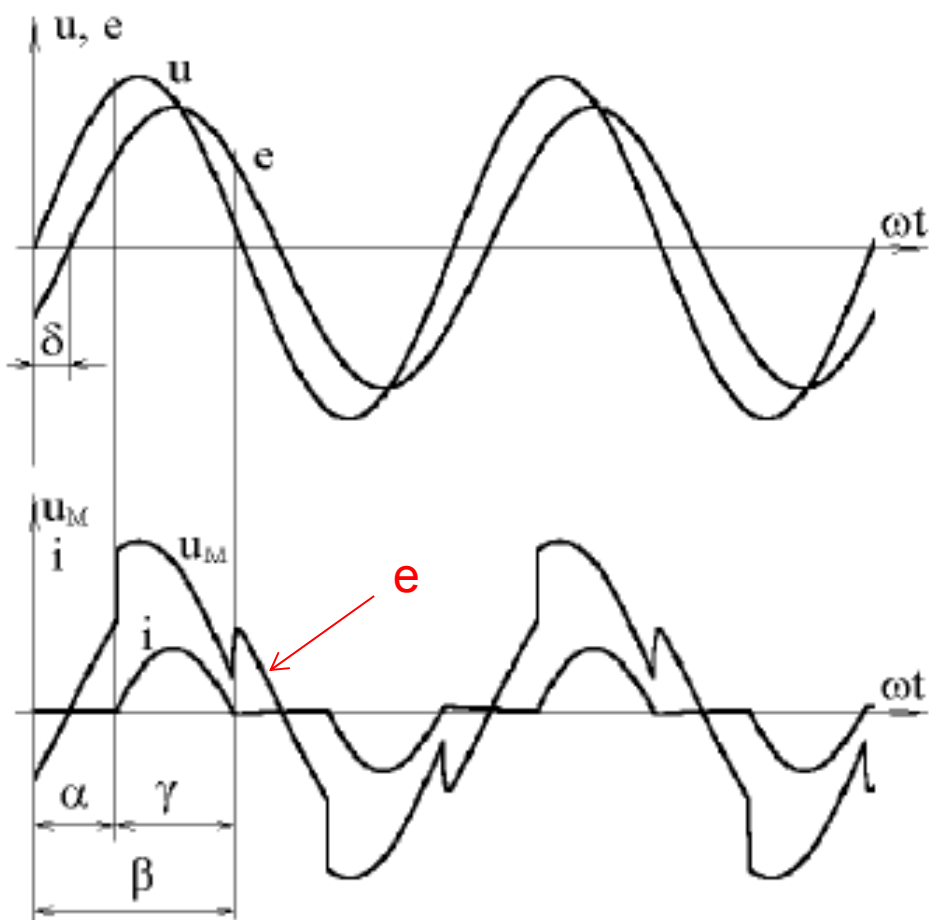
Regulacija izlaznog napona se postiže pri:  $\pi/2 < \alpha < \pi$

## REGULACIJA BRZINE UNIVERZALNOG MOTORA



- **UNIVERZALNI MOTOR-** NAZIVA SE TAKO POŠTO MOŽE RADITI I SA JEDNOSMERNOM I NAIZMENIČNOM STRUJOM I PODJEDNAKO DOBRO GENERISATI OBRTNI MOMENAT
- MOTOR JE REDNI (redno vezani pobudni namotaj i namotaj na rotoru)

- Razvijeni momenat je jednak  $M=K\Phi I$ , tako da se u obe poluperiode struje razvija momenat istog znaka (jedina mana je što je on pulsirajući).
- Stator mu je napravljen od dinamo limova
- Ekvivalentno kolo je predstavljeno induktivnošću i otpornošću namotaja kao i Kontra-Ekto Motornom Silom (KEMS) čija je brojna vrednost E.
- Kako izgledaju karakteristični talasni oblici regulatora brzine za topologiju datu na slici?



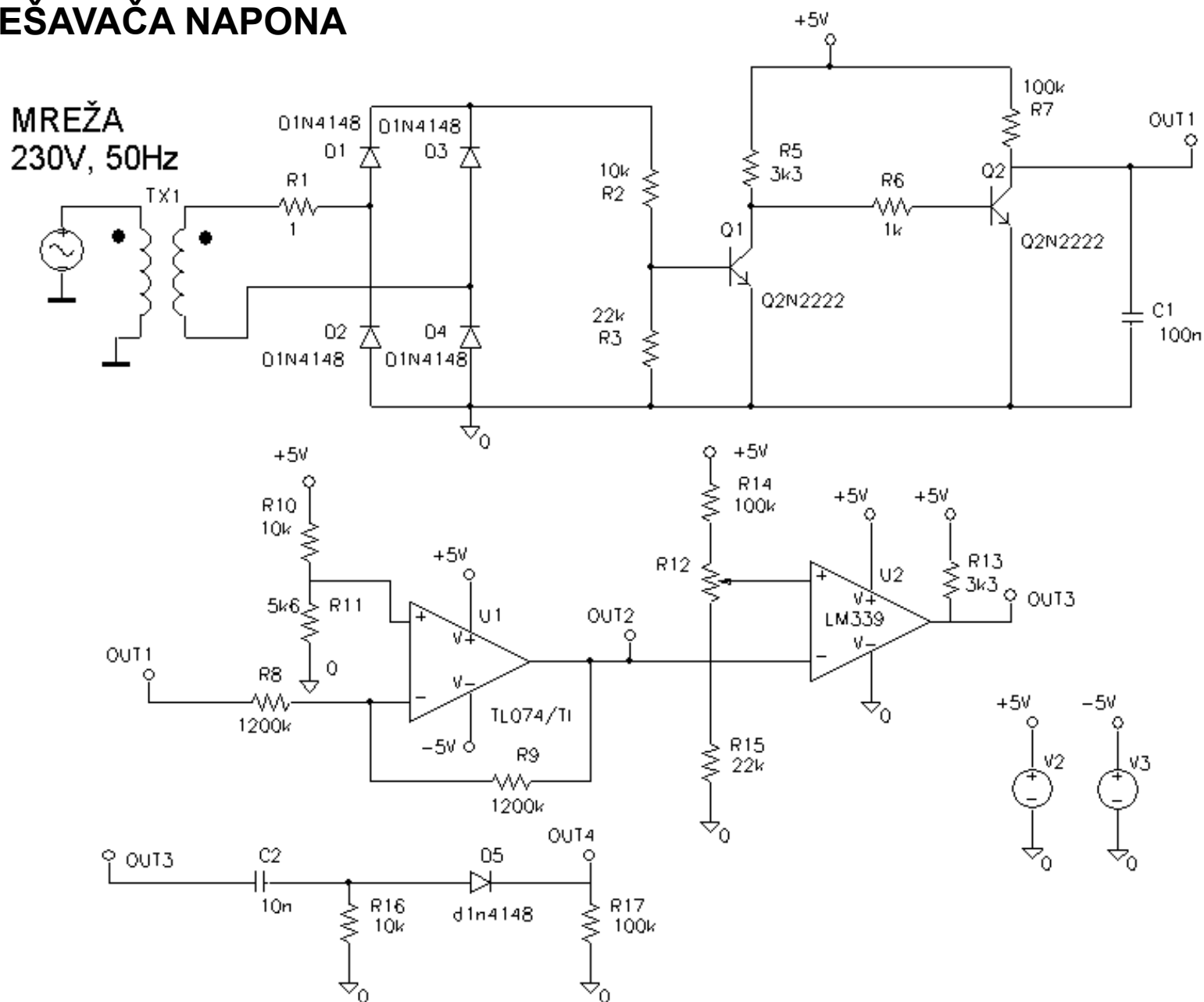
Ako je ugao upravljanja  $\alpha > \varphi$ , onda trijak ima uslove za uključenje i uključuje se. Dok je trijak uključen, napon na motoru jednak je ulaznom (mrežnom) naponu. Struja motora traje do ugla  $\omega t = \beta$ .

$\alpha < \varphi$  neupravljiva oblast  
 $\varphi < \alpha < \pi$  upravljiva oblast

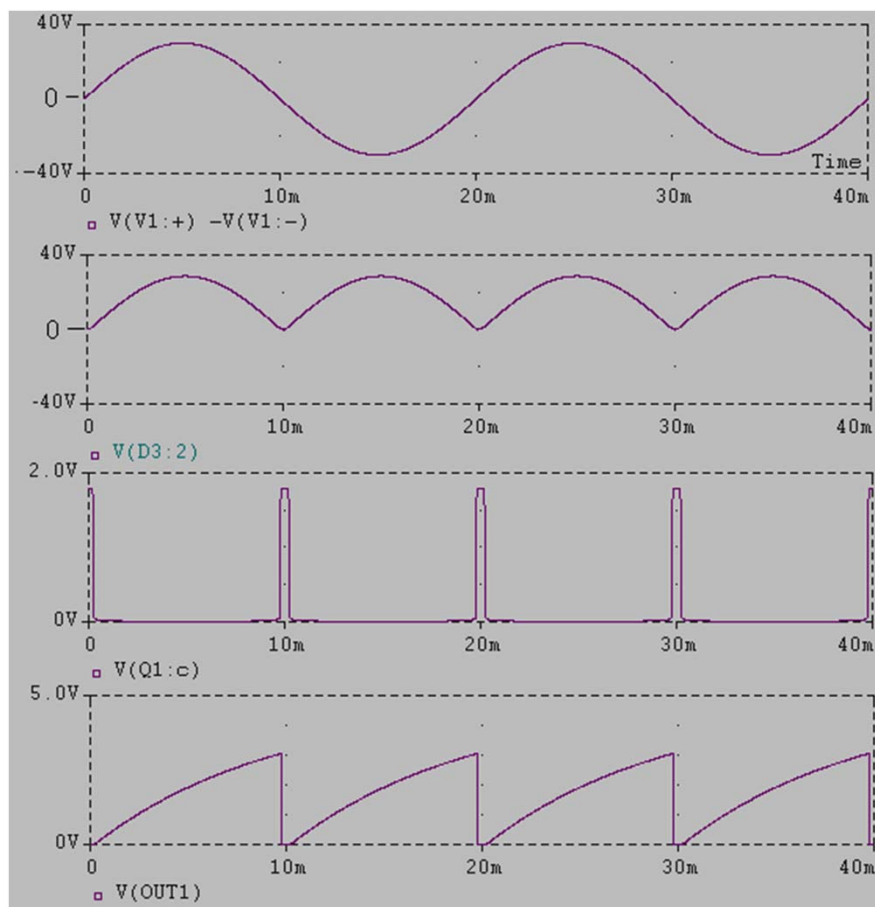
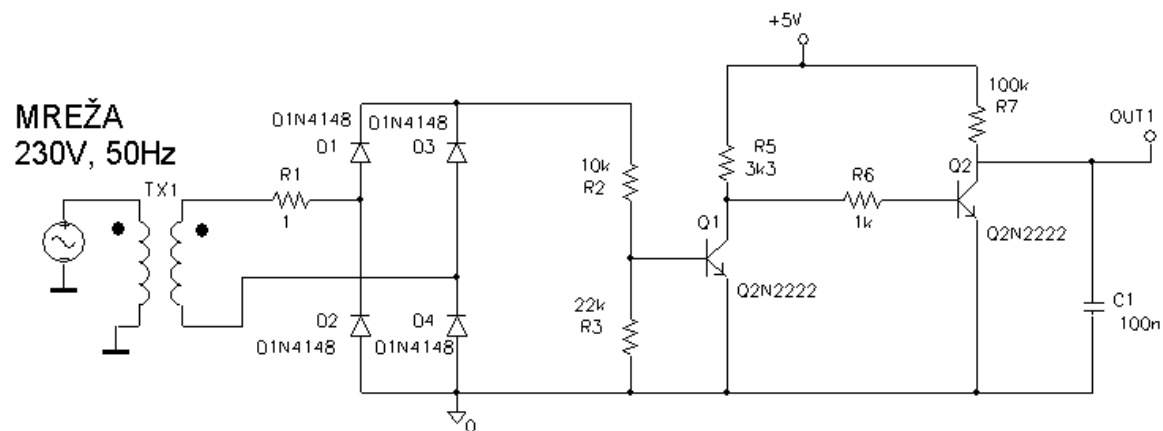
Zbog pauze u vođenju trijaka, efektivna vrednost napona motora (a samim tim i veličina osnovnog harmonika) je manja od mrežnog napona. Pri konstantnom momentu opterećenja (konstantnoj struji) i pad napona na impedansi motora je konstantan, tako da se smanjuje i indukovana elektromotorna sila koja je proporcionalna brzini obrtanja. Sa smanjenjem KEMS rotora smanjuje se njegova brzina obrtanja.



# PRIMER JEDNOG TIPIČNOG UPRAVLJAČKOG KOLA MONOFAZNIH PODEŠAVAČA NAPONA



# **RAD KOLA ZA SINHRONIZACIJU I KARAKTERIST. TALASNI OBLICI**

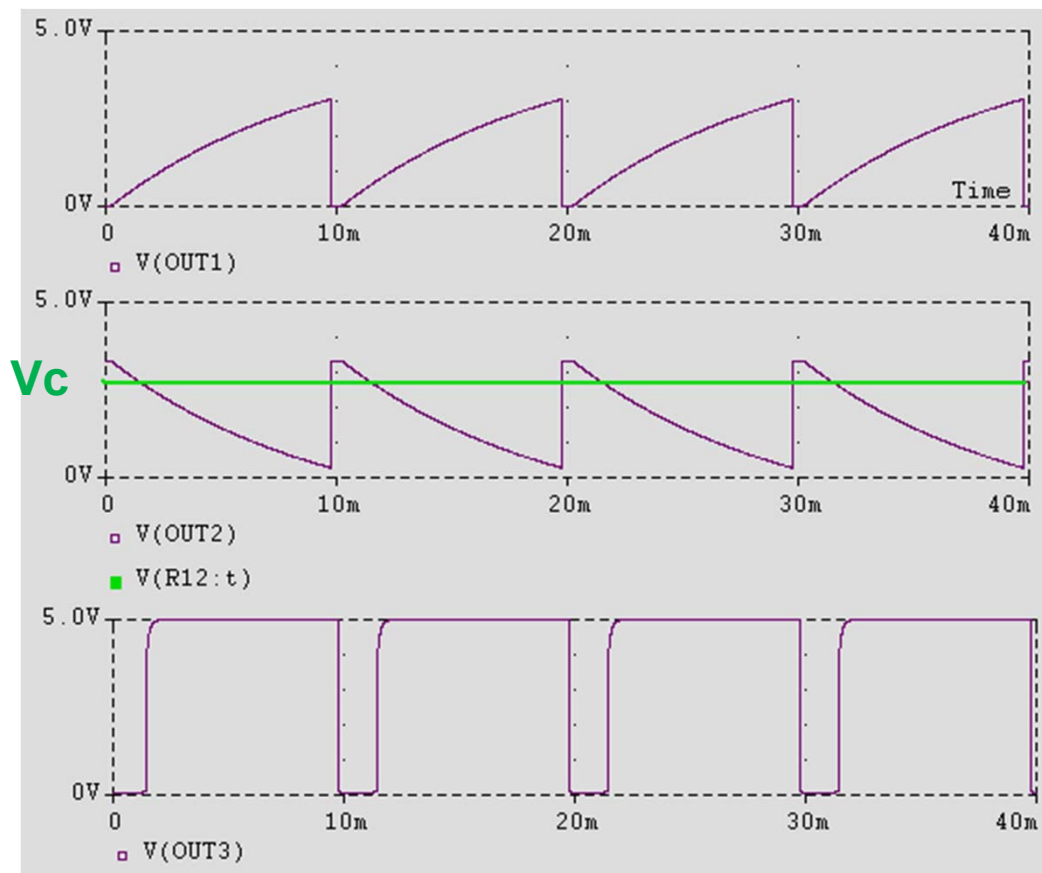
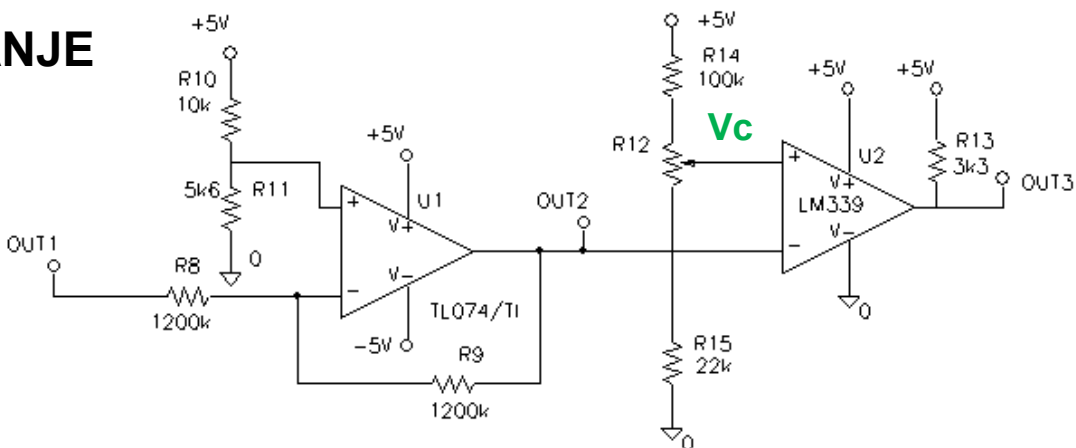


## RAD KOLA ZA UOBLIČAVANJE IMPULSA

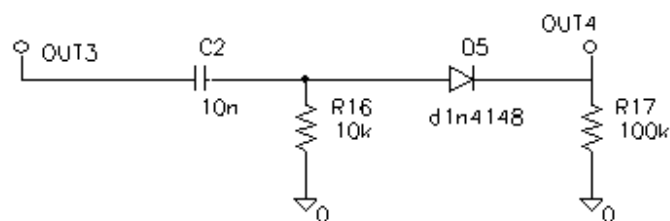
U slučaju omskog opterećenja kontrolni napon  $V_c$  je u opsegu 0-5V

U slučaju induktivnog opterećenja R-L kontrolni napon  $V_c$  mora biti dodatno ograničen kako bi se obezbedio upravljački opseg faznog ugla

$$\varphi < \alpha < \pi$$



## Kolo za diferenciranje i formiranje pobudnih kratkotrajnih impulsa

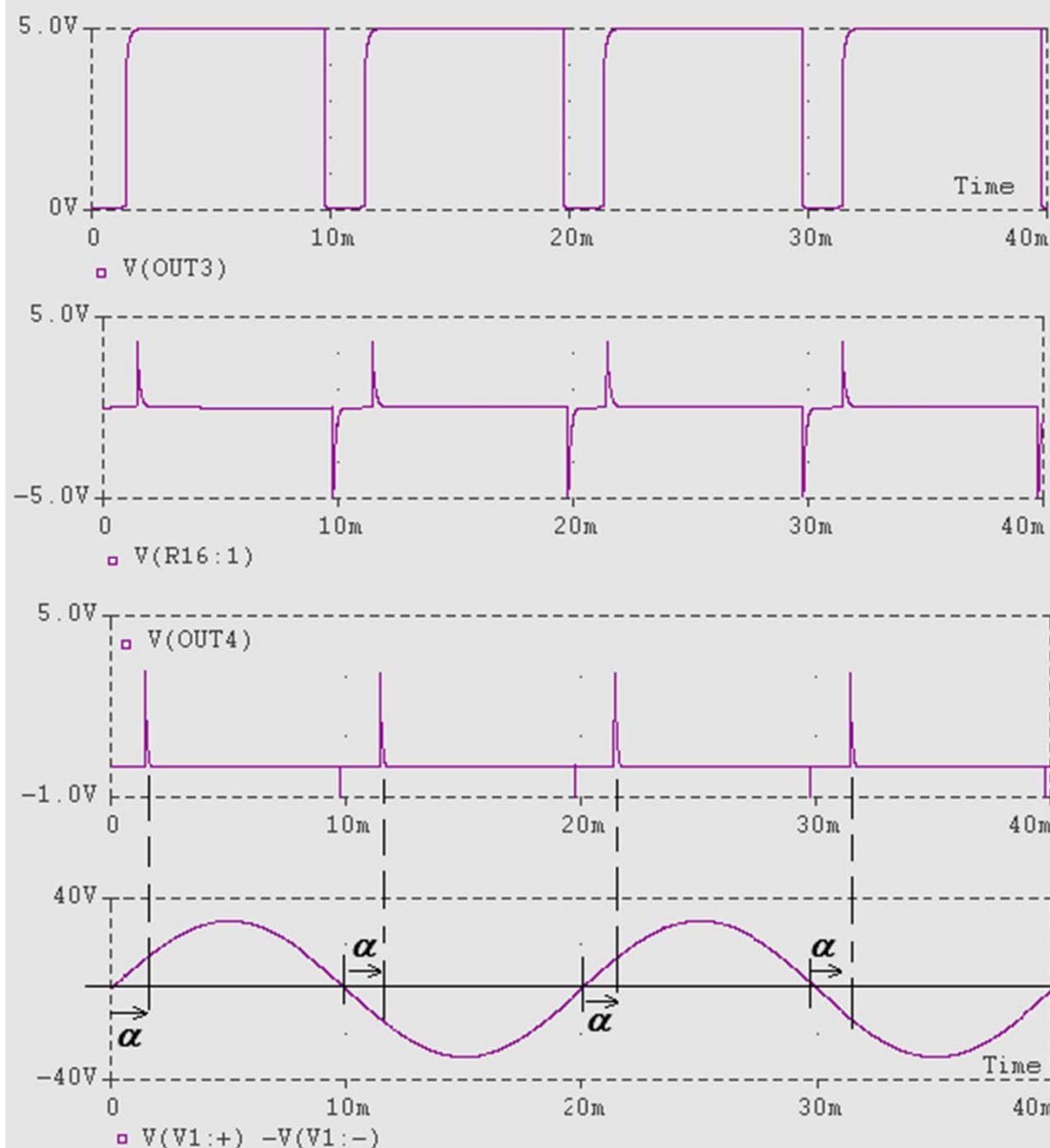


C2-R16 kolo služi za diferenciranje impulsa OUT3.

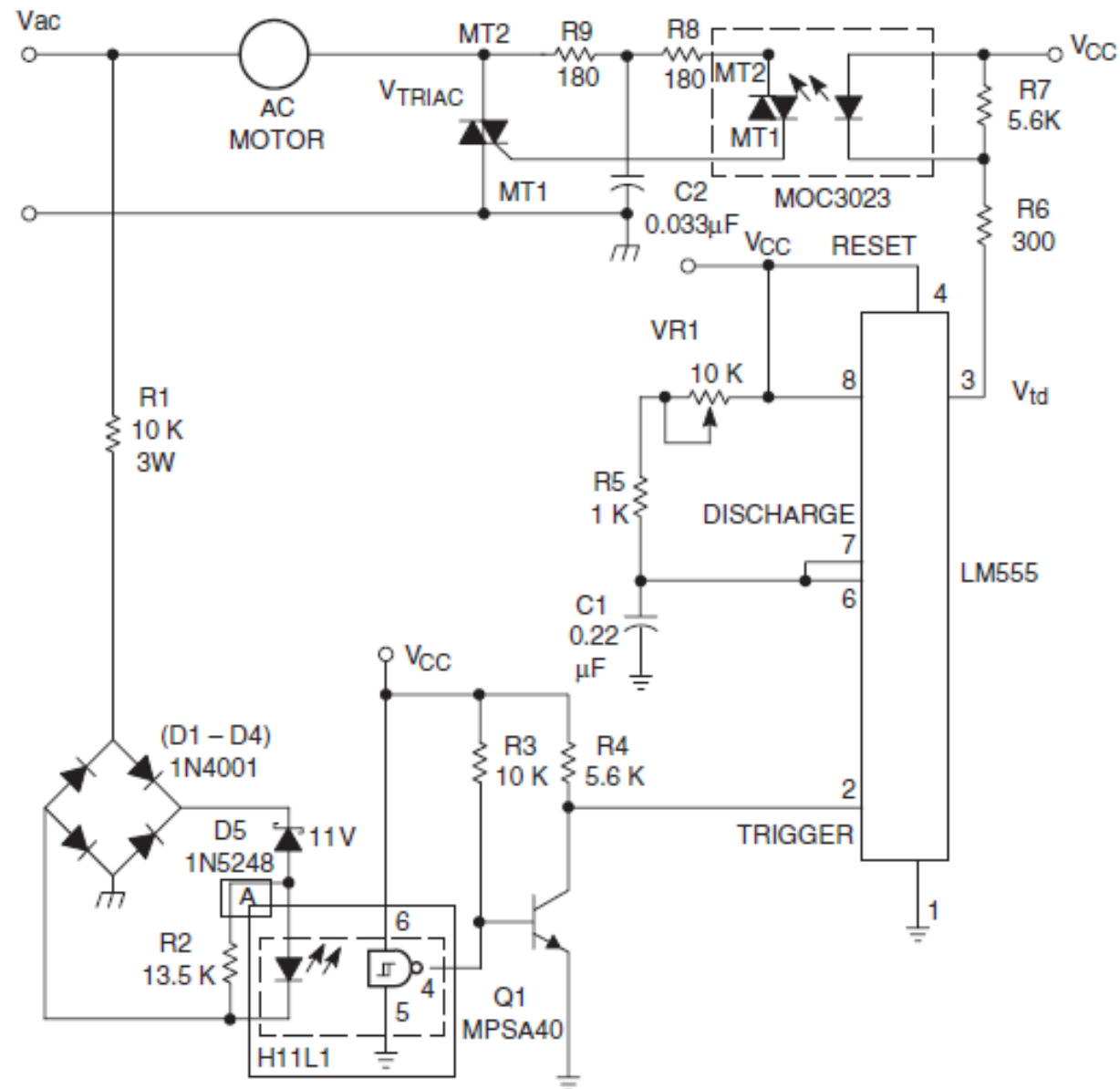
Na otporniku R16 se dobijaju kratkotrajni impulsi (+) i (-) znaka.

Za nas su od interesa (+) impulsi koje dobijamo koristeći diodu D5.

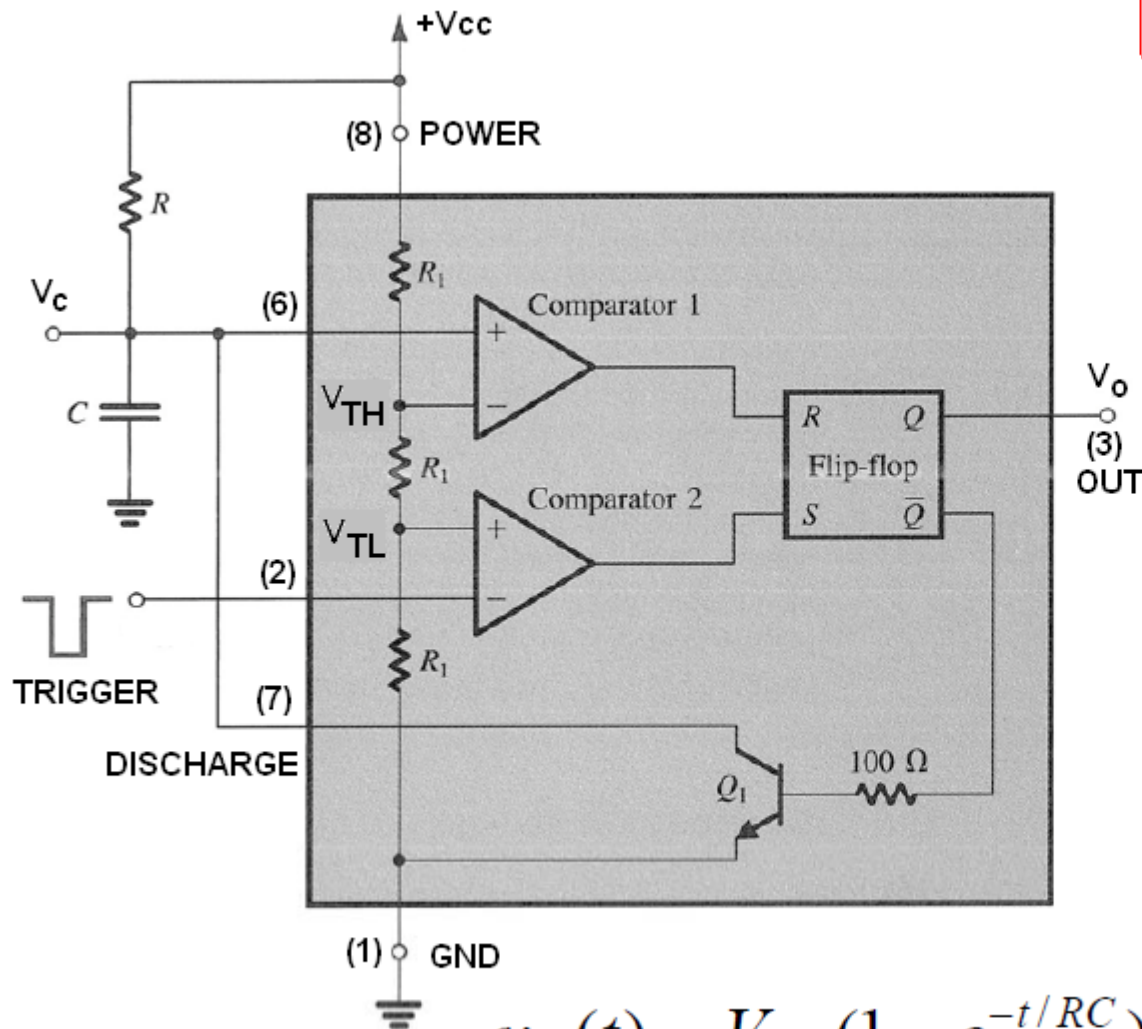
Dobijeni izlazni impulsi OUT4 se vode u drajversko kolo tiristora (trijaka)



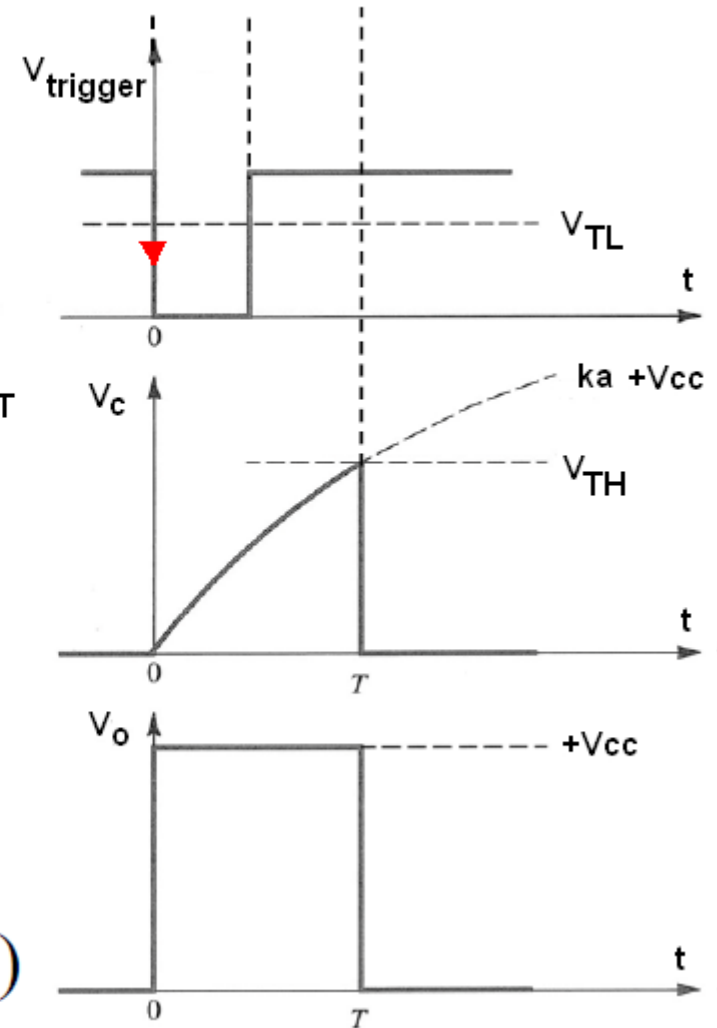
## PRIMER: FAZNA KONTROLA UNIVERZALNOG MOTORA SA KOLOM NE555 I OPTO IZOLOVANIM DRAJVEROM



## TAJMER NE555 (kao monostabilni multivibrator)



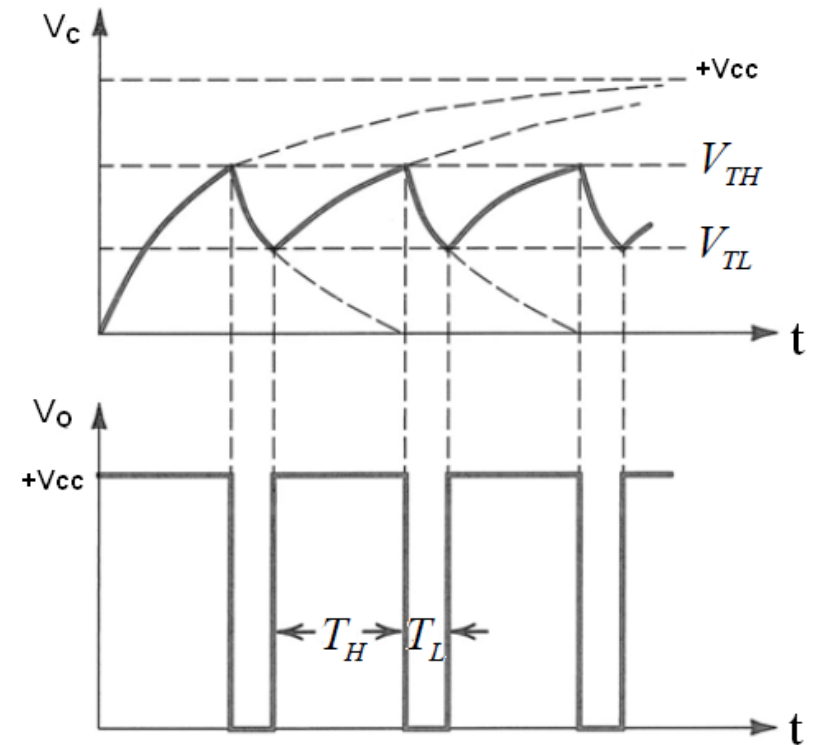
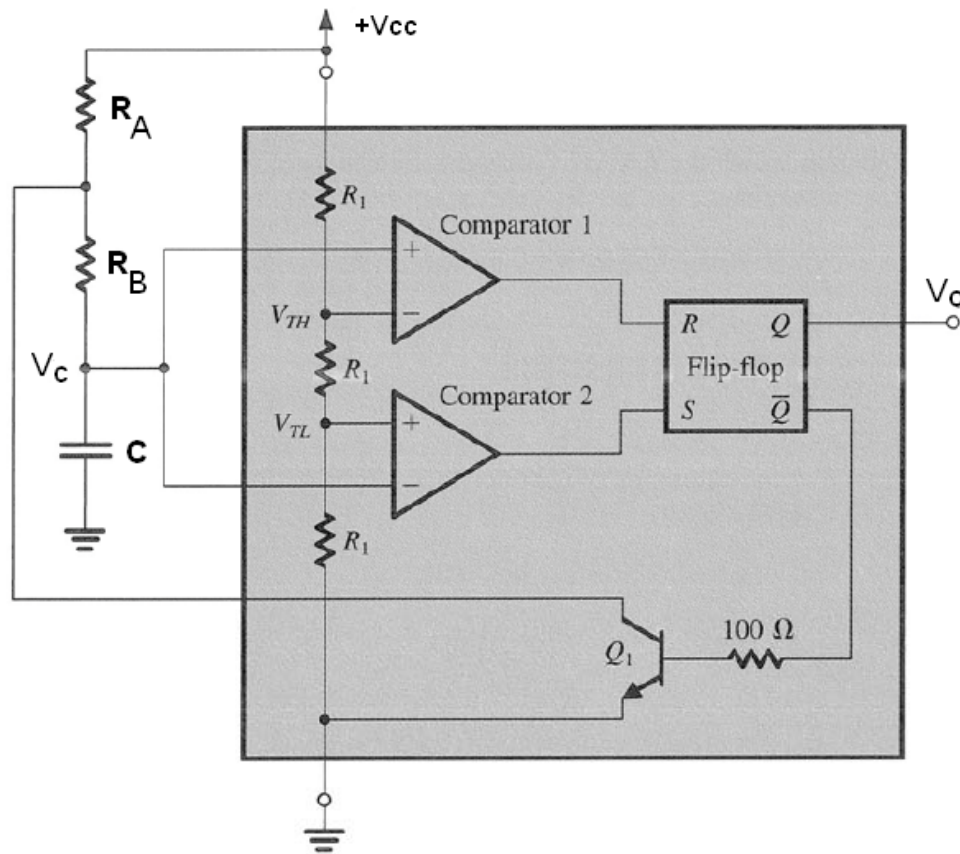
|     |   |   |   |       |
|-----|---|---|---|-------|
| $S$ | 0 | 1 | 0 | 0 → 0 |
| $R$ | 0 | 0 | 0 | 1 → 0 |



$$v_c(t) = V_{cc}(1 - e^{-t/RC})$$

$$T = RC \ln 3 \approx 1.1RC$$

## TAJMER NE555 (kao astabilni multivibrator)



$$v_c(t) = V_{cc} - (V_{cc} - V_{TL})e^{-t/C(R_A + R_B)}$$

$$T_H = C(R_A + R_B) \ln 2 \approx 0.69C(R_A + R_B)$$

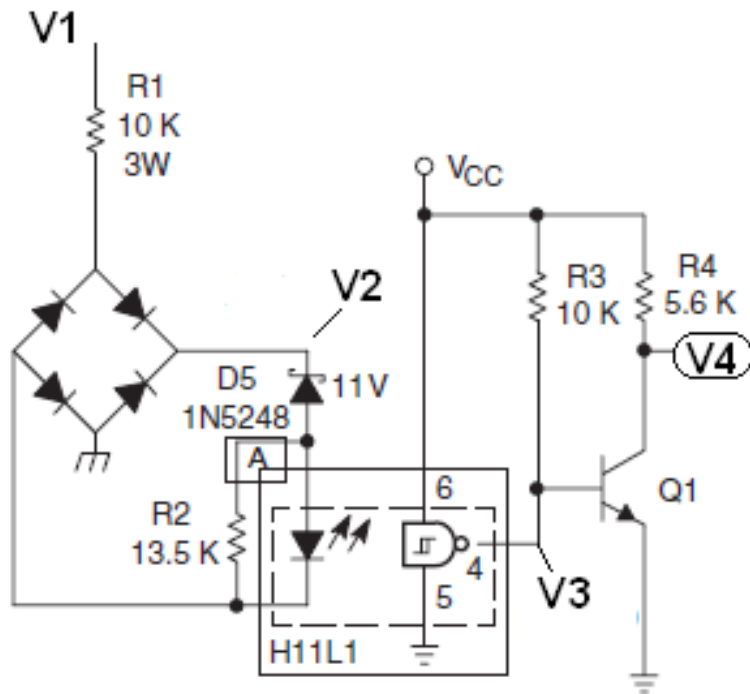
$$v_c = V_{TH}e^{-t/CR_B}$$

$$T_L = CR_B \ln 3 \approx 0.69CR_B$$

$$T = T_H + T_L = 0.69CR_B$$

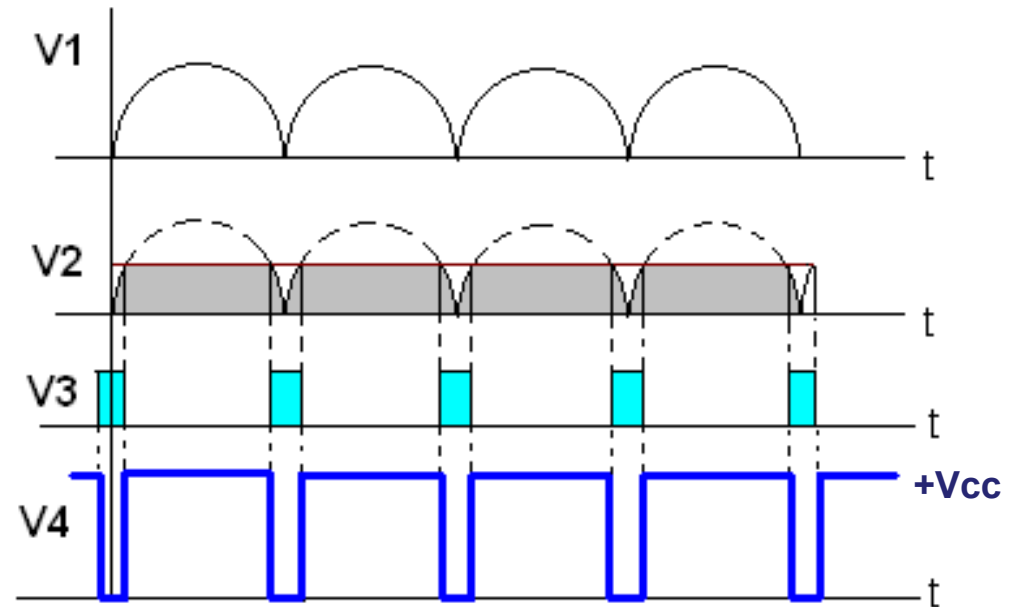
$$D \equiv \frac{T_H}{T_H + T_L} = \frac{R_A + R_B}{R_A + 2R_B}$$

## RAD KOLA ZA SINHRONIZACIJU I GENERISANJE TRIGER IMPULSA



|        |   |   |
|--------|---|---|
| input  | H | L |
| output | L | H |

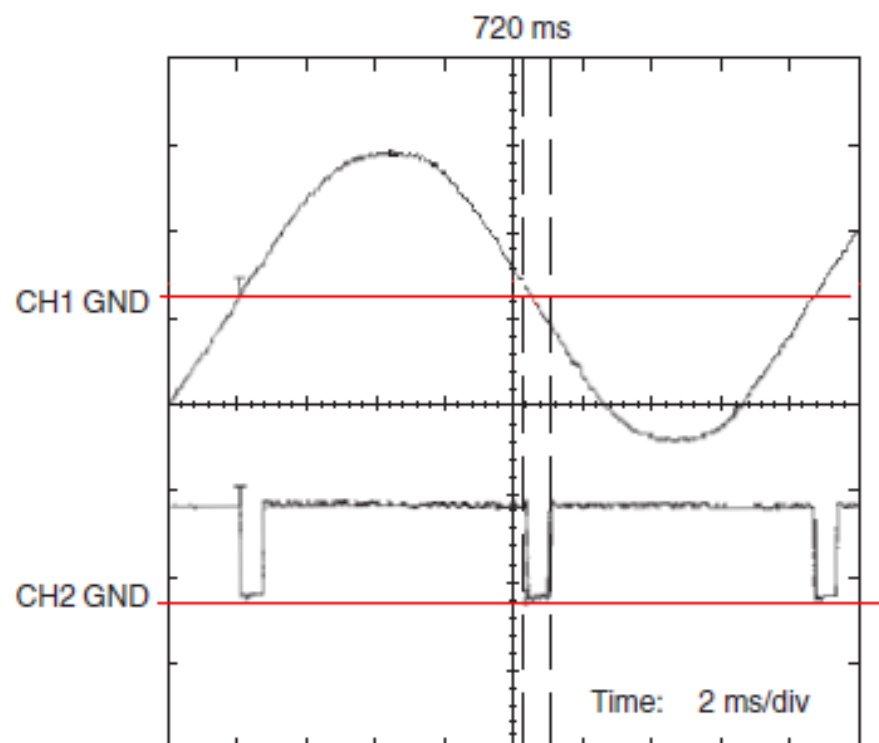
Tabela istinitosti optokaplera



Izlazni napon V4 se dalje vodi na TRIGGER ulaz kola NE 555.



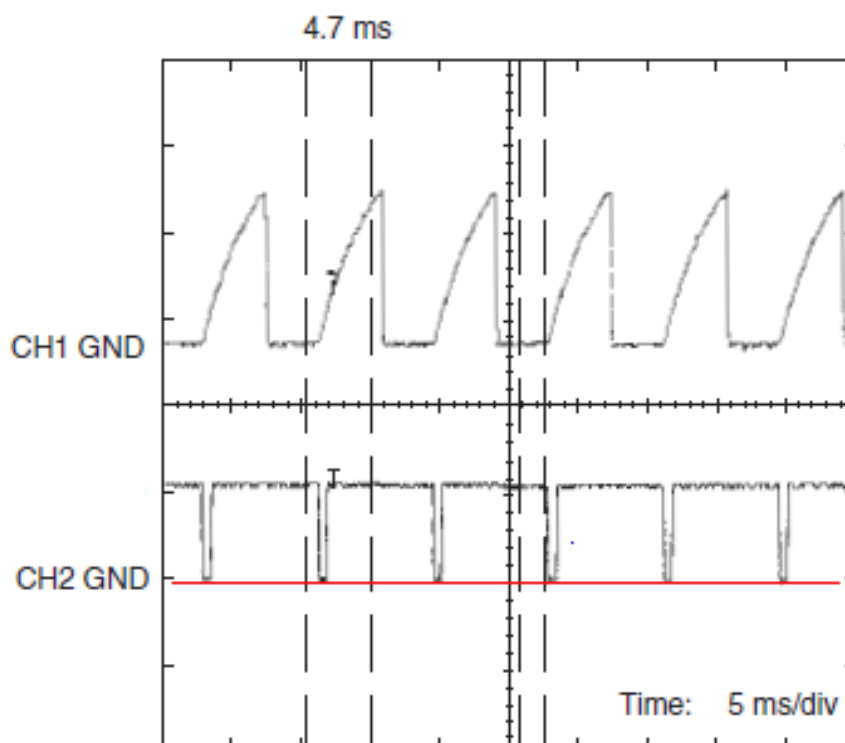
## KARAKTERISTIČNI TALASNI OBLICI SIGNALA: trigger i discharge



CH1- mrežni napon (100V/c)

CH2- pin 2 od LM555 (trigger signal)

DETEKCIJA PROLASKA KROZ NULU  
MREŽNOG NAPONA

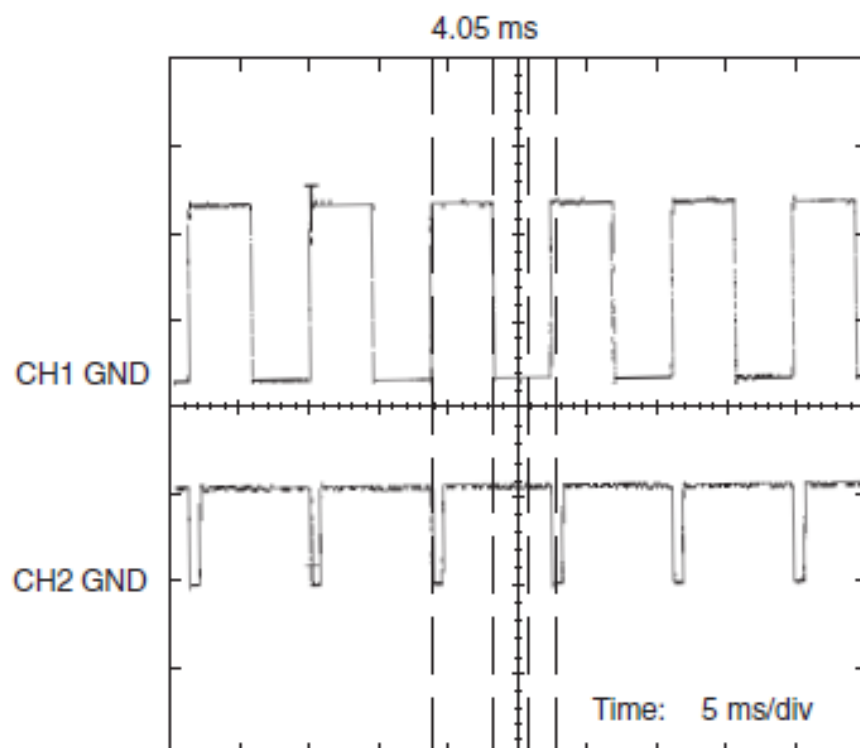


CH1- napon na C1 (2V/c)

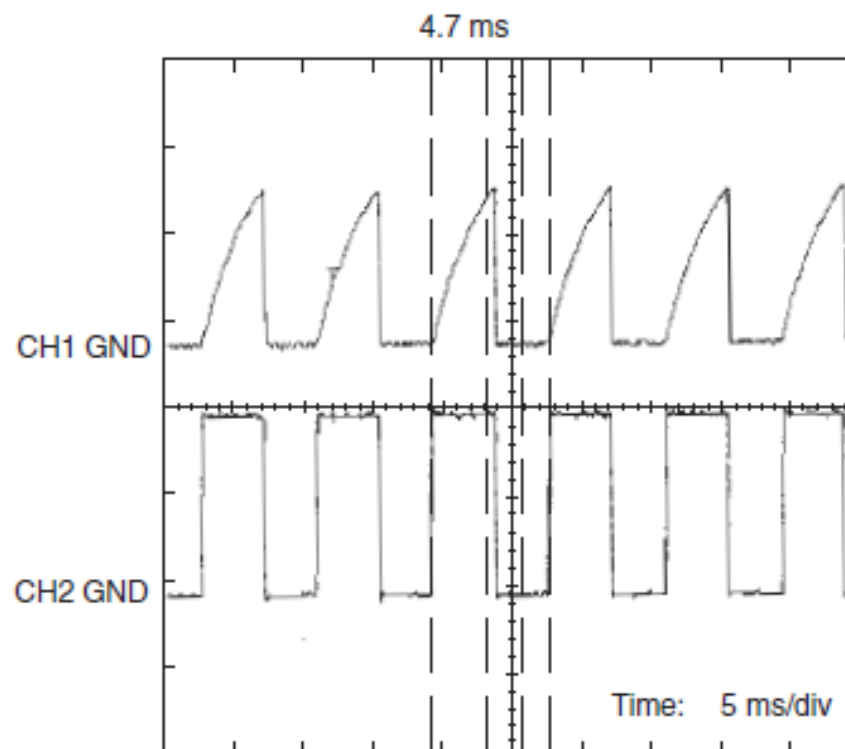
CH2- pin 2 od LM555 (trigger signal) (5V/c)

POČETAK PUNJENJA C1 NA OPADAJUĆU  
IVICU TRIGER SIGNALA sa VREMENSKOM  
KONSTANTOM  $1.1R_5 C_1$

## KARAKTERISTIČNI TALASNI OBLICI SIGNALA: out i discharge



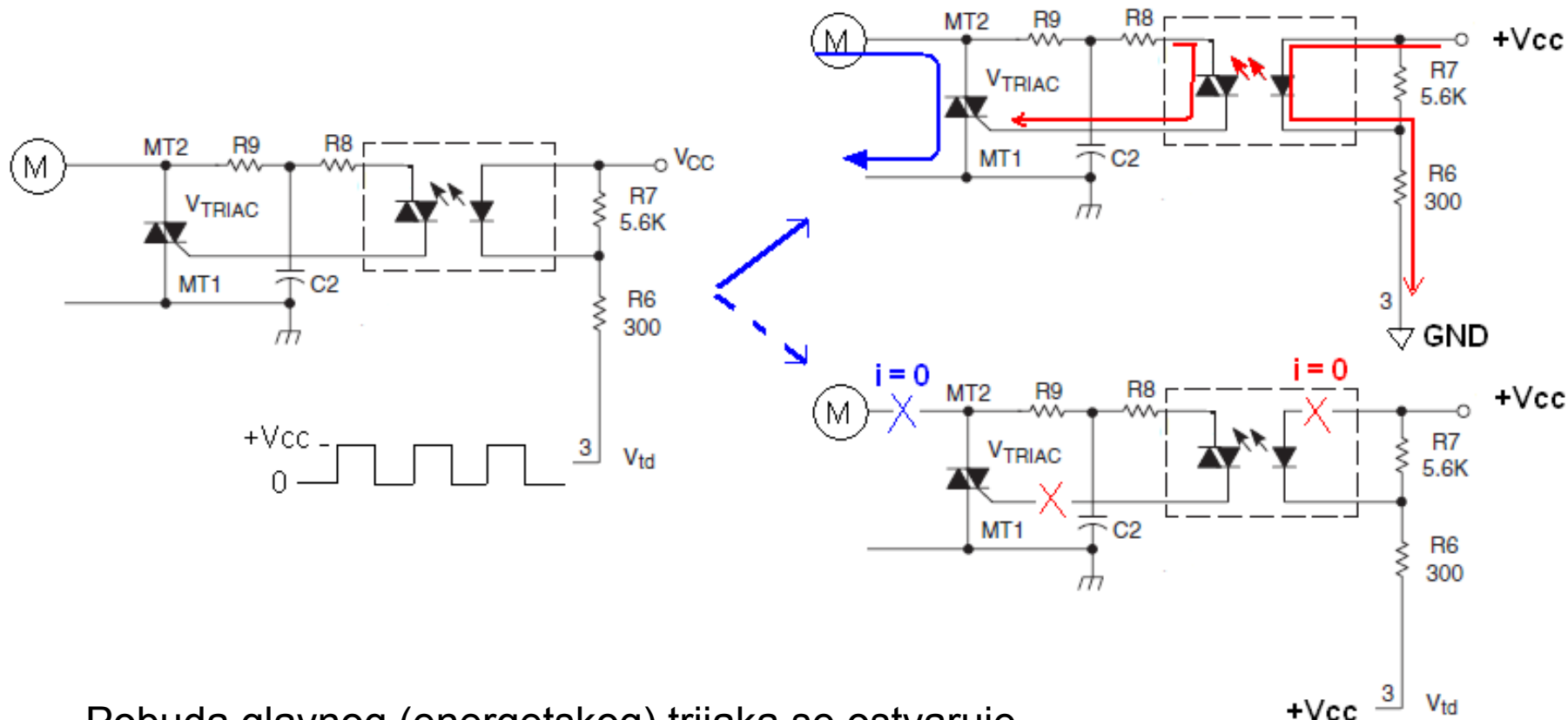
CH1- izlazni signal na pinu-3 LM555  
CH2- pin 2 od LM555 (triger signal)  
Širina impulsa 4.2ms za pobudu  
trijaka



CH1- C1 počinje da se prazni kada  
napon na njemu dostigne  $\frac{2}{3}V_{cc}$  (2V/c)  
CH2- izlazni signal na pinu-3 LM555 (2V/c)  
Vtd (2V/c)

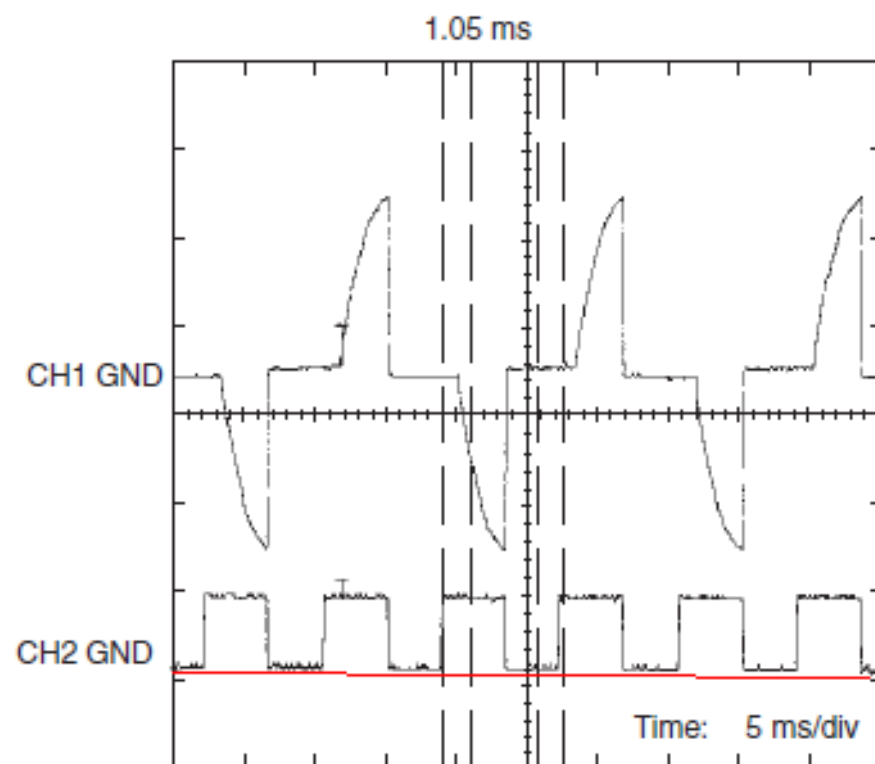
Napon na C1 u odnosu na gejt  
triger signal trijaka

## POBUDA ENERGETSKOG TRIJAKA



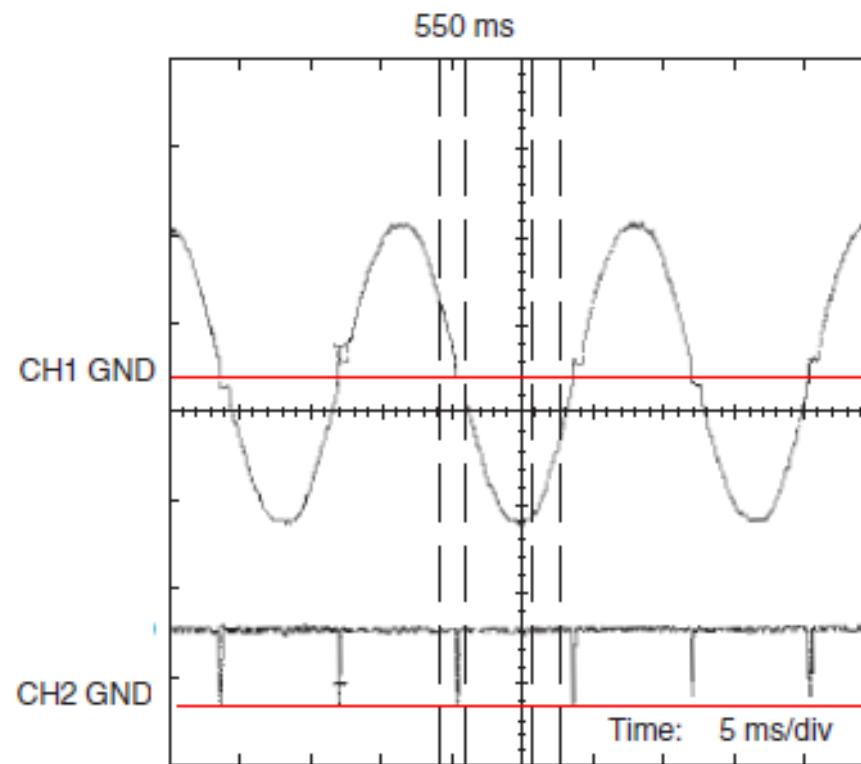
- Pobuda glavnog (energetskog) trijaka se ostvaruje preko pomoćnog optotrijaka .
- Pomoćni optotrijak se pobuđuje impulsima na pinu-3 kola NE 555. Ovaj izlaz se menja od 0- $V_{cc}$ .
- Kada je  $V_{td} = "0"$  provodi LED i on pobuđuje optotrijak.
- Kada je  $V_{td} = V_{cc}$ , LED ne provodi, te stoga ne vodi ni optotrijak

## TALASNI OBLICI NAPONA NA TRIJAKU I NAPONA POBUDNOG KOLA



CH1: napon na energetskom trijaku  
 $V_{\text{triac}}$  (100V/div)

CH2: gejt triger signal  $V_{\text{td}}$  (5V/div)



CH1: napon na energetskom trijaku  
 $V_{\text{triac}}$  (100V/div)

CH2: gejt triger signal  $V_{\text{td}}$  (5V/div)

MINIMALNO OPTEREĆENJE  
 $P_{\text{out}} \sim 0$

## LITERATURA:

- B.Bose, *MODERN POWER ELECTRONICS and AC DRIVES*, Prentice Hall, 2002,
- M. Nedeljković, *MREŽOM VOĐENI PRETVARAČI* , Akademska misao, 2007
- R.Radetić, . Радетић, *TIRISTORSKI PRETVARČI*, Nauka, 2004
- T. Brodić, *ENERGETSKA ELEKTRONIKA* Naučna knjiga , Beograd, 1990.



**HVALA  
NA PAŽNJI!!!**

**PITANJA??**

**DECEMBAR 2013**

