

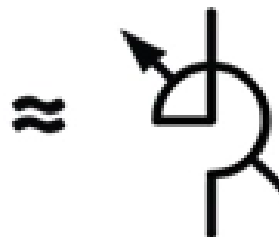
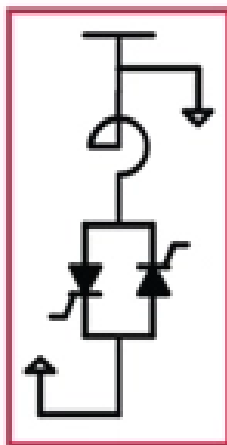
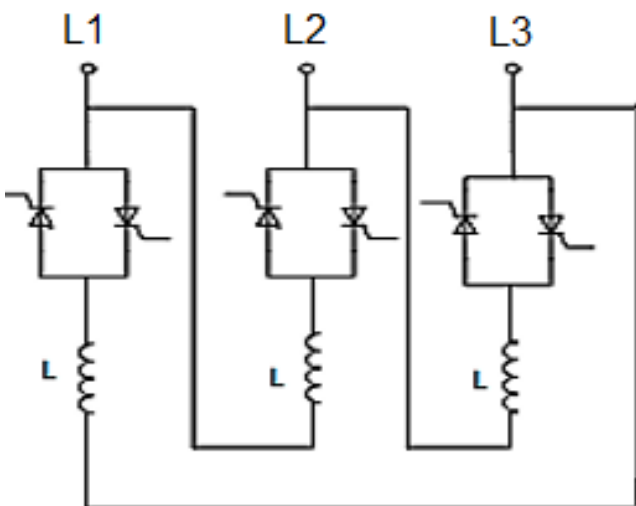
VISOKA ŠKOLA ELEKTROTEHNIKE I RAČUNARSTVA STRUKOVNIH STUDIJA-VIŠER,
BEOGRAD

STUDIJSKI PROGRAM: NET 2020/2021

PREDMET: ELEKTRIČNI PRETVARAČI SNAGE



NAPAJANJE INDUKTIVNOG POTROŠAČA SA NAIZMENIČNIM (AC/AC) PODEŠAVAČEM NAPONA

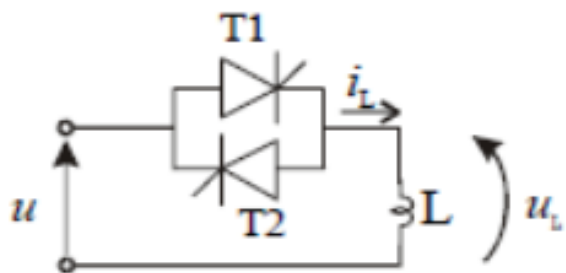


Predmetni profesor: Dr Željko Despotović

UVOD

- U ovom predavanju će biti reči o topologiji i nekim teorijskim razmatranjima AC/AC podešavača napona sa čisto induktivnim opterećenjem
- Ova topologija ima primenu u kontinualnim tiristorskim kompenzatorima reaktivne snage
- Pokazaće se da se ovom topologijom dobija ustvari kontinualno kontrolisana reaktansa
- U predavanju će biti date teorijske osnove za proračun jednog ovakvog tipa pretvarača
- Na kraju će biti dat konkretan praktični primer u formi zadatka

TEORIJSKE JEDNAČINE



$$u = \sqrt{2} \cdot U \cdot \sin \omega t$$

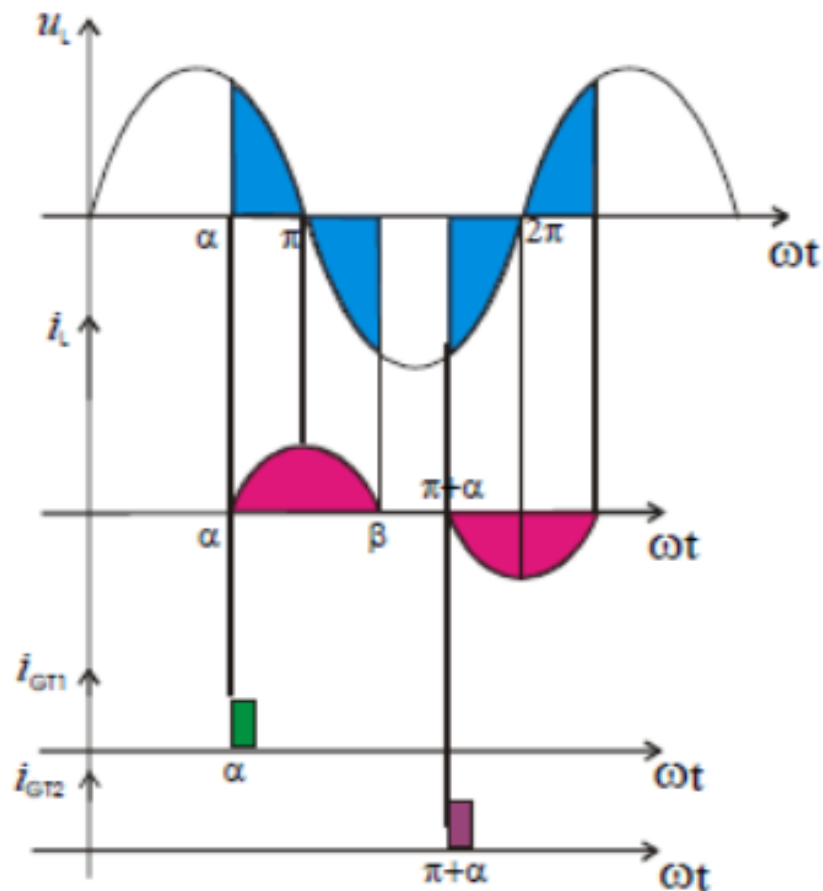
$$u_L = L \cdot \frac{di_L}{dt}$$



integracijom

$$i_L(t) = \frac{1}{L} \cdot \int_{\alpha/\omega}^t u_L(t) \cdot dt$$

$$i_L(t) = \frac{1}{L} \cdot \int_{\alpha/\omega}^t \sqrt{2} \cdot U \cdot \sin \omega t \cdot dt$$



REŠAVANJE INTEGRALA

$$i_L(t) = \frac{1}{L} \cdot \int_{\alpha/\omega}^t \sqrt{2} \cdot U \cdot \sin \omega t \cdot dt \quad \text{uvodeći smenu} \quad \omega t = x$$

$$i_L = \frac{1}{\omega L} \cdot \int_{\alpha}^x \sqrt{2} \cdot U \cdot \sin x \cdot dx$$



rešenje integrala

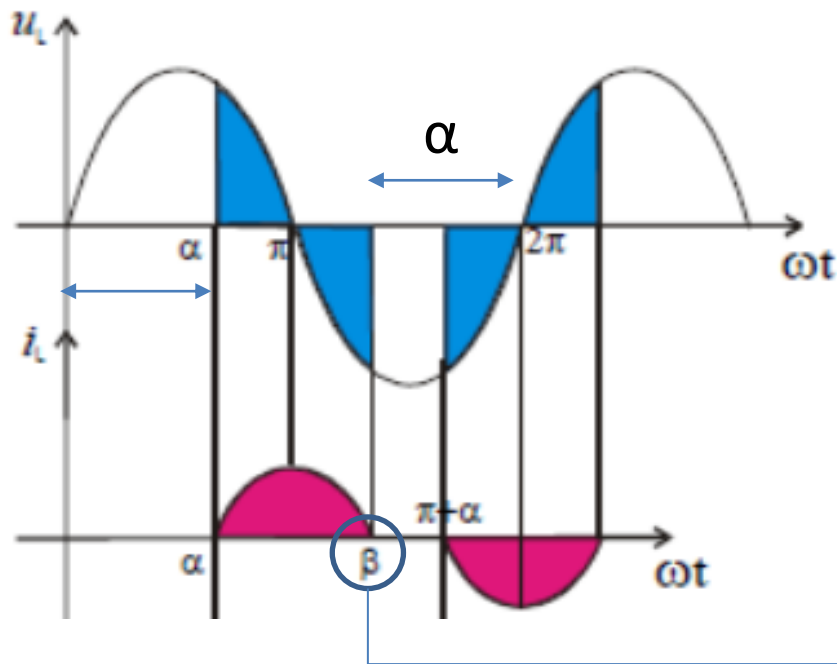
$$i_L = \frac{1}{\omega L} \cdot \int_{\alpha}^x \sqrt{2} \cdot U \cdot \sin x \cdot dx = \frac{1}{\omega L} \sqrt{2} \cdot U (-\cos x)_{\alpha}^x = \frac{1}{\omega L} \sqrt{2} \cdot U (\cos \alpha - \cos x)$$

Odnosno vremenska promena struje opterećenja je data jednačinom :

$$i_L(t) = \frac{1}{\omega L} \sqrt{2} \cdot U \cdot (\cos \alpha - \cos \omega t)$$

pri uslovu:

$$2\pi - \alpha \geq \omega t \geq \alpha$$



$$i_L(t) = \frac{1}{\omega L} \sqrt{2} \cdot U \cdot (\cos \alpha - \cos \omega t)$$

$$2\pi - \alpha \geq \omega t \geq \alpha$$

β

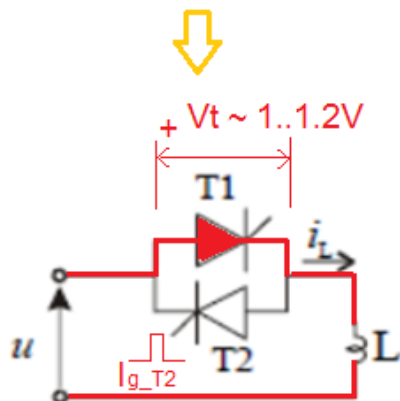
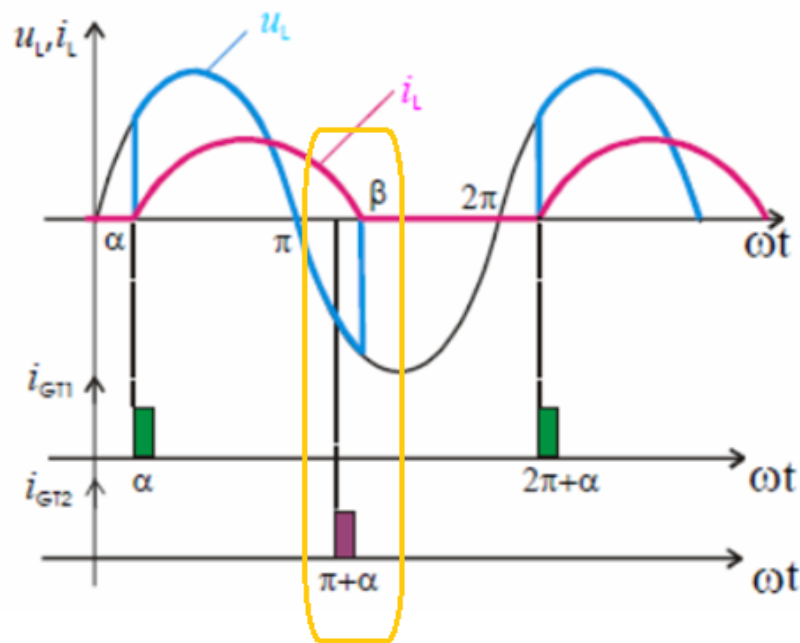
$\pi \geq \alpha \geq \pi/2$ Interval koji predstavlja **upravljivu oblast pretvarača**

$0 \leq \alpha \leq \pi/2$ U ovom intervalu nije moguće upravljati pretvaračem tako da se ovaj interval naziva **neupravljiva oblast pretvarača**

Ovo prethodno rečeno važi samo u slučaju induktivnog opterećenja!!!!

OBJAŠNJENJE (NE) UPRAVLJIVOSTI PRETVARAČA

- Kod induktivnog opterećenja vremenski porast struje traje koliko i vremenski pad struje.
- Vreme punjenja induktivnosti energijom je jednako vremenu pražnjenja induktivnosti, kao što se vidi na slici.
- Pretpostavićemo da je ugao upravljanja manji od $\pi/2=90^\circ$, kao i to da provodi tiristor T1.

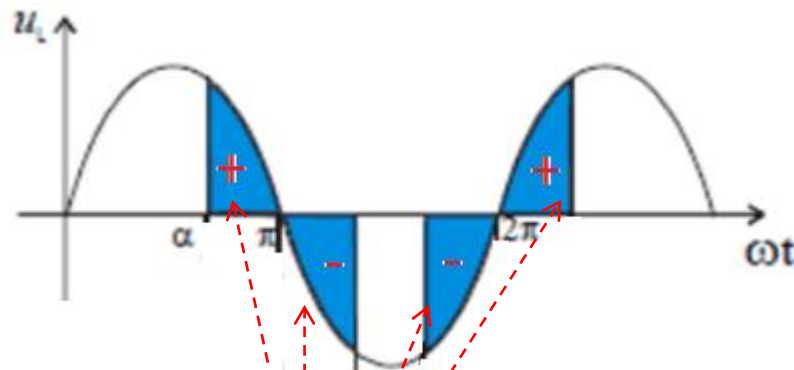


Tiristor T1 je provodan i na njemu je pad napona $\approx +1V$; Tiristor T2 dobija impuls na gejtu I_{g_T2} , ali obzirom da se ima „produženo“ ptovođenje T1 i obzirom da je napon U_{AK} na T2 negativan i jednak $-1V$, tiristor T2 neće nikada moći da provede. Dakle struju će provoditi samo T1, ona će imati POLUTALASNI karakter i na opterećenju će se imati JEDNOSMERNNA KOMPONENTA STRUJE.

Ova pojava je nepoželjna i može se odraziti na to da magnetno kolo induktivnog potrošača ode u zasićenje. Odlazak u magnetno zasićenje predstavlja režim koji je veoma nepovoljan i koji teži kratkom spoju na opterećenju.

ZAŠTO?

SREDNJA VREDNOST NAPONA NA OPTEREĆENJU JE JEDNAKA NULI!!!!:



EFEKTIVNA VREDNOST NAPONA NA OPTEREĆENJU je $\neq 0$

IZRAČUNAVANJE EFEKTIVNE VREDNOSTI:

$$U_{LRMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \cdot \int_0^T u_L^2 \cdot dt} = \sqrt{4 \cdot \frac{1}{2\pi} \cdot \int_{\alpha}^{\pi} u_L^2 \cdot dt} = \sqrt{4 \cdot \frac{1}{2\pi} \cdot \int_{\alpha}^{\pi} u^2 \cdot dt}$$

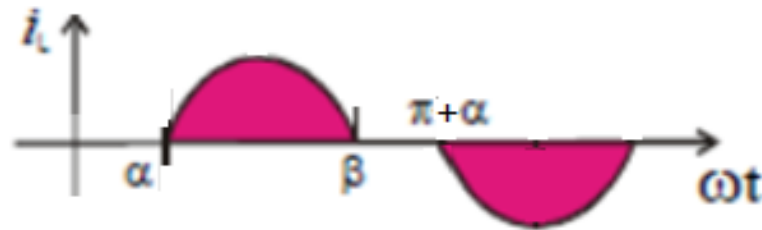
$$u = \sqrt{2} \cdot U \cdot \sin \omega t$$



REŠENJE INTEGRALA

$$U_{LRMS} = \sqrt{2}U \cdot \sqrt{1 - \frac{\alpha}{\pi} + \frac{1}{2\pi} \cdot \sin 2\alpha}$$

Izračunavanje efektivne vrednosti struje opterećenja



$$U_{LRMS} = \sqrt{2}U \cdot \sqrt{1 - \frac{\alpha}{\pi} + \frac{1}{2\pi} \cdot \sin 2\alpha}$$

$$I_{LRMS} = \frac{U_{LRMS}}{\omega L} = \frac{\sqrt{2}U}{\omega L} \cdot \sqrt{1 - \frac{\alpha}{\pi} + \frac{1}{2\pi} \cdot \sin 2\alpha}$$

Izračunavanje srednje i efektivne vrednost struje tiristora

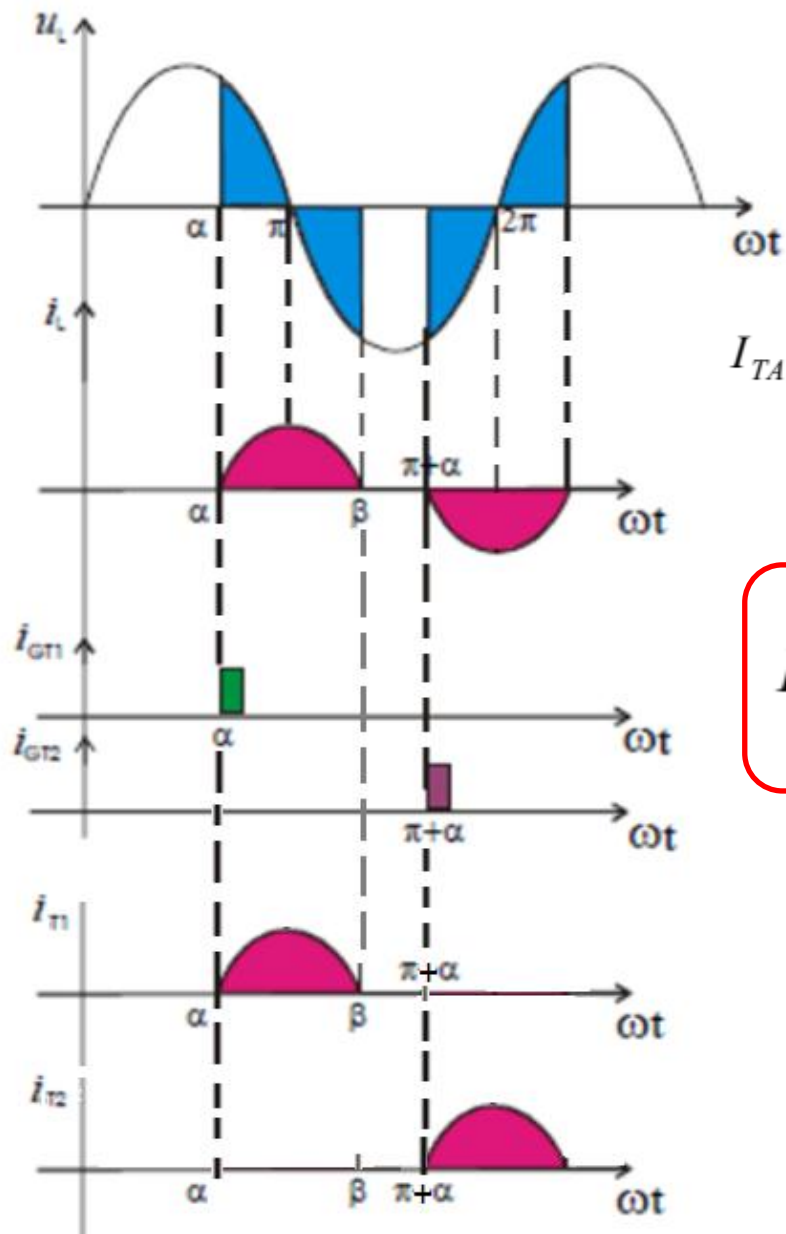
Srednja vrednost struje pojedinačnog tiristora je data relacijom:

$$I_{TAV} = \frac{1}{T} \cdot \int_0^T i_T(t) \cdot dt = \frac{1}{2\pi} \cdot \int_{\alpha}^{2\pi-\alpha} \frac{\sqrt{2}}{\omega L} \cdot U \cdot (\cos \alpha - \cos x) \cdot dx$$

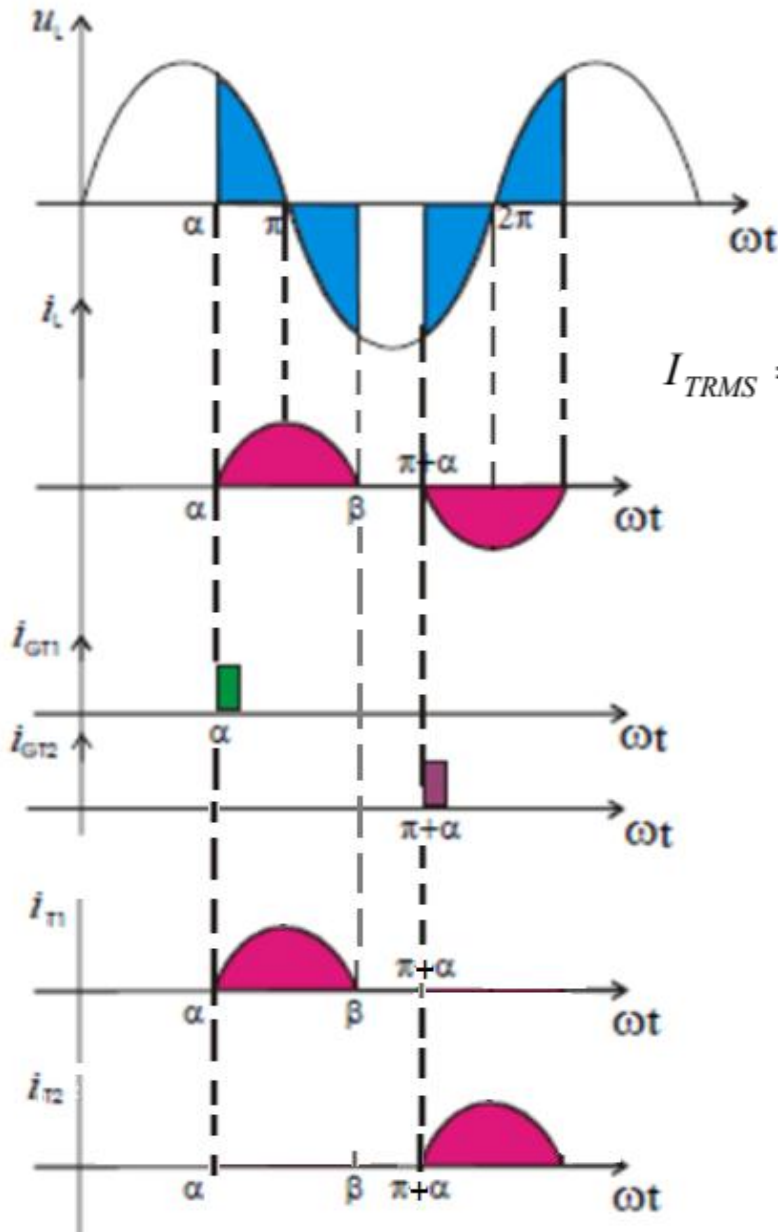


REŠENJE INTEGRALA

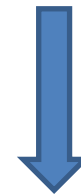
$$I_{TAV} = \frac{\sqrt{2}}{\omega L} \cdot U \cdot \left[\left(1 - \frac{\alpha}{\pi}\right) \cdot \cos \alpha + \frac{1}{\pi} \cdot \sin \alpha \right]$$



Efektivna vrednost struje tiristora je data relacijom:



$$I_{TRMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \cdot \int_0^T i_T^2 \cdot dt} = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \cdot \int_{\alpha}^{2\pi-\alpha} \frac{2}{\omega^2 L^2} \cdot U^2 \cdot (\cos \alpha - \cos x)^2 \cdot dx}$$



Rešavanje se svodi na
rešavanje sledećeg
integrala:

$$I = \int_{\alpha}^{2\pi-\alpha} (\cos \alpha - \cos x)^2 \cdot dx$$

$$I = \int_{\alpha}^{2\pi-\alpha} (\cos \alpha - \cos x)^2 \cdot dx$$

$$I = \int_{\alpha}^{2\pi-\alpha} (\cos \alpha - \cos x)^2 \cdot dx = \underbrace{\cos \alpha \int_{\alpha}^{2\pi-\alpha} dx}_{I1} + \underbrace{2 \cos \alpha \int_{\alpha}^{2\pi-\alpha} \cos x dx}_{I2} + \underbrace{\int_{\alpha}^{2\pi-\alpha} \cos^2 x dx}_{I3} = I1 + I2 + I3$$

Integrali *I1*, *I2* su tablični, dok za integral *I3* treba koristiti rešenje:

$$I3 = \int \cos^2 x dx = \frac{x + \cos x \sin x}{2}$$

Kada se reše integrali *I1*, *I2*, *I3* dobija se :

$$I = 2(\pi - \alpha) \cos^2 \alpha + 3 \cos \alpha \sin \alpha + (\pi - \alpha)$$



Uvrštavanjem u početnu jednačinu dobija se :

EFEKTIVNA VREDNOST STRUJE SVAKOG OD TIRISTORA

$$I_{TRMS} = \frac{U \sqrt{2}}{\omega L} \cdot \sqrt{\left(1 - \frac{\alpha}{\pi}\right) \cdot \left(\frac{1}{2} + \cos^2 \alpha\right) + \frac{3}{2\pi} \cos \alpha \sin \alpha}$$

Izračunavanje disipacije snage na tiristorima

Uzimaju se u obzir gubici na tiristorima kada oni provode struju. Gubici tokom inverzne polarizacije se zanemaruju (pretpostavlja se da su inverzne struje "curenja" tiristora zanemarljive).

Trenutna vrednost snage gubitaka (disipacije) usled vođenja tiristora je data jednačinom:

$$p_D = u_T \cdot i_T$$

$$u_T = (V_{TO} + r_{dT} \cdot i_T)$$

u_T napon na tiristoru u trenucima njegovog provođenja

$V_\gamma = V_{TO}$ napon praga provođenja tiristora

r_{dT} dinamička otpornost tiristora u stanju provođenja

i_T trenutna vrednost struje tiristora u stanju provođenja

TREKUTNA VREDNOST SNAGE DISIPACIJE NA TIRISTORU:

$$p_D = (V_{TO} + r_{dT} \cdot i_T) \cdot i_T$$

Srednja vrednost snage gubitaka (disipacije) na tiristoru će biti:

$$P_{DAV} = \frac{1}{T} \cdot \int_0^T p_D(t) \cdot dt = \frac{1}{T} \cdot \left[\int_0^T V_{TO} i_T dt + r_{dT} \cdot \int_0^T i_T^2 dt \right]$$

Pošto je po definiciji srednja vrednost struje data relacijom:

$$I_{TAV} = \frac{1}{T} \cdot \int_0^T i_T(t) \cdot dt$$

Pošto je efektivna vrednost struje data relacijom: $I_{TRMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \cdot \int_0^T i_T^2(t) \cdot dt}$

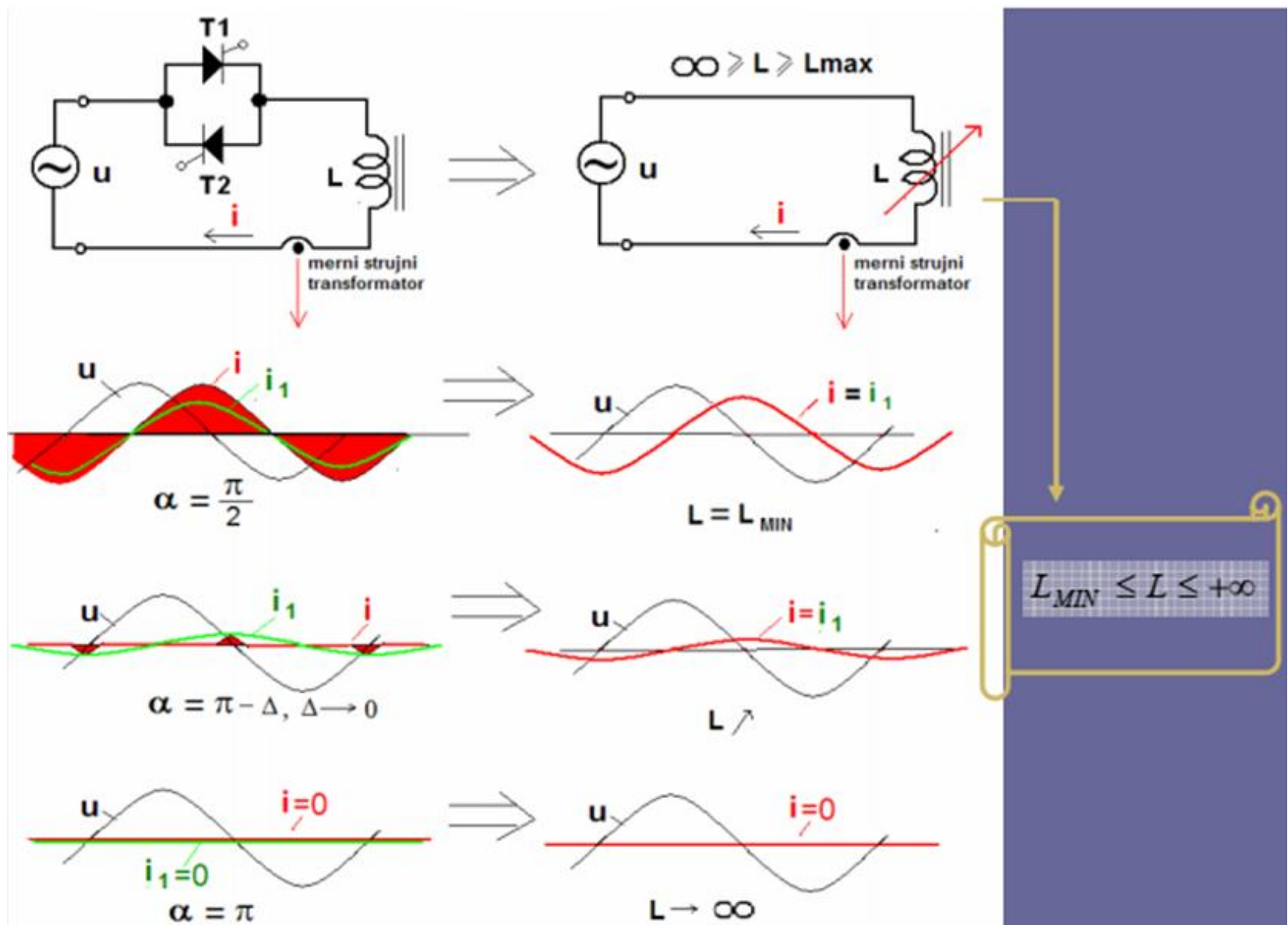
KONAČNA VREDNOST ZA DISIPACIJU SNAGE NA JEDNOM TIRISTORU:

$$P_{DAV} = V_{TO} \cdot I_{TAV} + r_{dT} \cdot I_{TRMS}^2$$

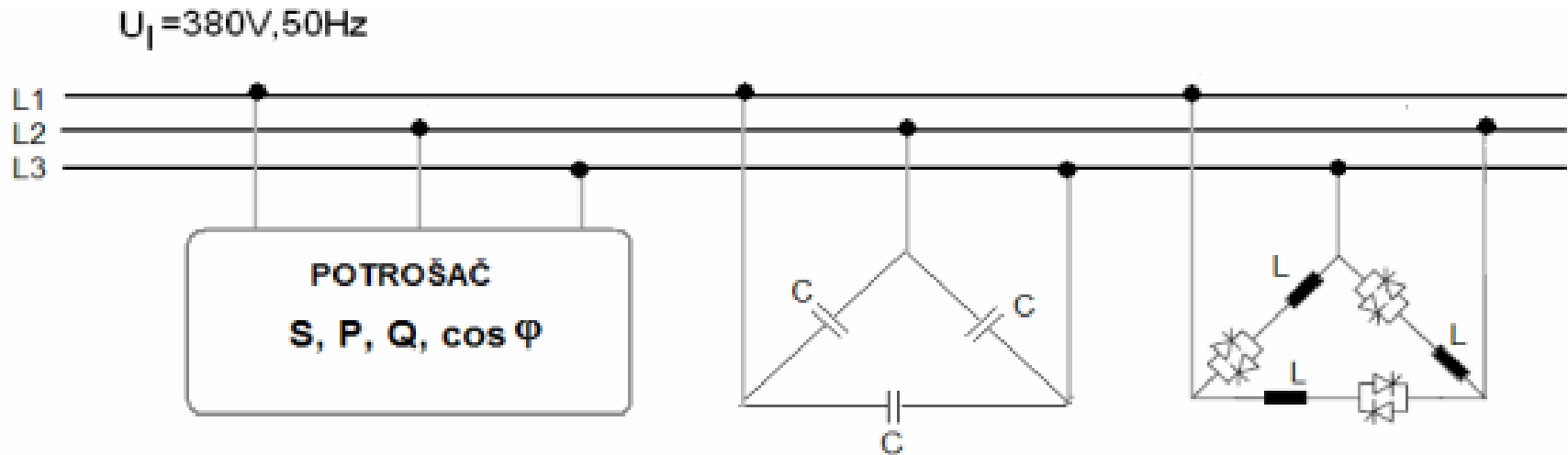
KONAČNA VREDNOST ZA DISIPACIJU SNAGE NA OBA TIRISTORA:

$$\sum P_{DAV} = 2 P_{DAV}$$

PRIMENA: Kontrolisana induktivnost (reaktansa) koja se koristi u kontinualnoj kompenzaciji reaktivne snage



TIRISTORSKI KONTINUALNI REGULATORI REAKTIVNE ENERGIJE (Thyristor Controlled Reactor-TCR)



- U slučaju da su dnevne promene induktivne komponente struje velike, paralelno opterećenju se može priključiti fiksna baterija kondenzatora dovoljno velike kapacitivnosti, tako da se potrošač zajedno sa baterijom kondenzatora prema mreži ponaša kao otporno-kapacitivno opterećenje.
- Zatim se paralelno sa baterijom kondenzatora vezuje induktivno opterećen fazni regulator pomoću koga se faktor snage podešava na maksimalnu vrednost.
- Prednost tiristorske regulacije je što se njome može postići kontinualna kompenzacija reaktivne snage (odnosno energije)

ZADATAK

Induktivno opterećenje $L = 5\text{mH}$ napaja se preko anti-paralelnog tiristorskog podešavača napona, sa krute mreže 400V , 50Hz . AC/AC podešavač čine dva tiristora T1 i T2 čiji su parametri u stanju vođenja : napon praga provođenja $V_{\text{TO}} = 1.2\text{V}$, dinamička otpornost $r_{\text{dT}} = 2\text{m}\Omega$. Na osnovu ovih podataka potrebno je:

- A) Naći izraze za struju opterećenja i izračunati efektivnu vrednost napona na opterećenju za uglove paljenja: 90° , 120° i 150° ,
- B) Izračunati srednju i efektivnu vrednost struje opterećenja za uglove paljenja: 90° , 120° i 150° ,
- C) Pri kojoj vrednosti ugla paljenja je struja opterećenja neprekidna?
- D) Naći izraze za srednju i efektivnu vrednost struje svakog pojedinačnog tiristora i izračunati njihove vrednosti za uglove paljenja: 90° , 120° i 150° .
- E) Naći izraz za srednju vrednost snage disipacije za svaki od tiristora i izračunati njenu vrednost za uglove paljenja: 90° , 120° i 150° .
- F) Izračunati ukupnu snagu disipacije antiparalelne tiristorske grupe za vrednosti uglova paljenja: 90° , 120° i 150° .