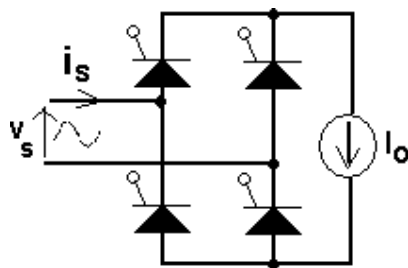


## Domaći zadatak br.03



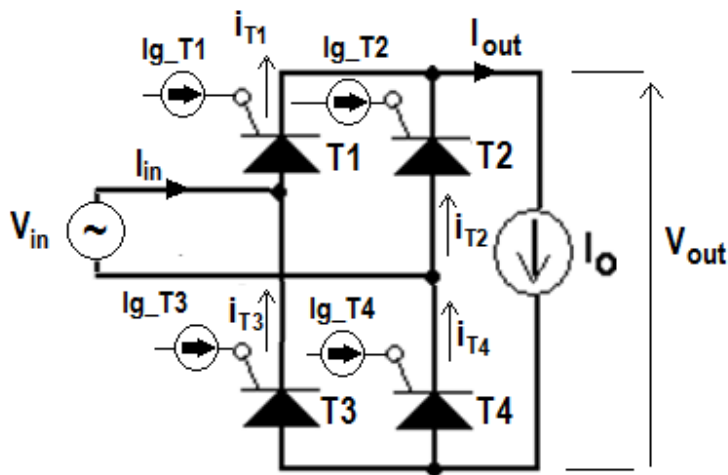
Za tiristorski ispravljač koji se napaja iz mreže 50Hz svaki od tiristora ima u stanju vođenja volt-ampersku karakteristiku  $V_{th}(V) = I + 0.005 \cdot I_{th} \text{ (A)}$  (tj.  $V_{to} = 1\text{V}$ ,  $r_d = 5\text{m}\Omega$ ). Maksimalna vrednost mrežnog napona iznosi 540V. Struja opterećenja pri ovim uslovima iznosi  $I_o = 100\text{A}$ .

Za uglove upravljanja  $0^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $135^\circ$  je potrebno:

- A) Nacrtati talasne oblike: mrežnog napona, mrežne struje, pobudne impulse tiristora, struja svakog od tiristora, napona na opterećenju i struje opterećenja
- B) Izračunati stepen iskorišćenja pretvarača

### REŠENJE:

Električna šema za analizu:



U pozitivnoj poluperiodi mrežnog napona pobuđuju se istovremeno tiristori T1 i T4, dok se u negativnoj poluperiodi mrežnog napona pobuđuju tiristori T2 i T3. Opterećenje je strujni ponor konstantne struje  $I_o = 100\text{A}$  (dovoljno velika induktivnost vezana na red sa omskim opterećenjem koja obezbeđuje konstantnu struju). Mrežni napon je prema uslovima zadatka dat relacijom:

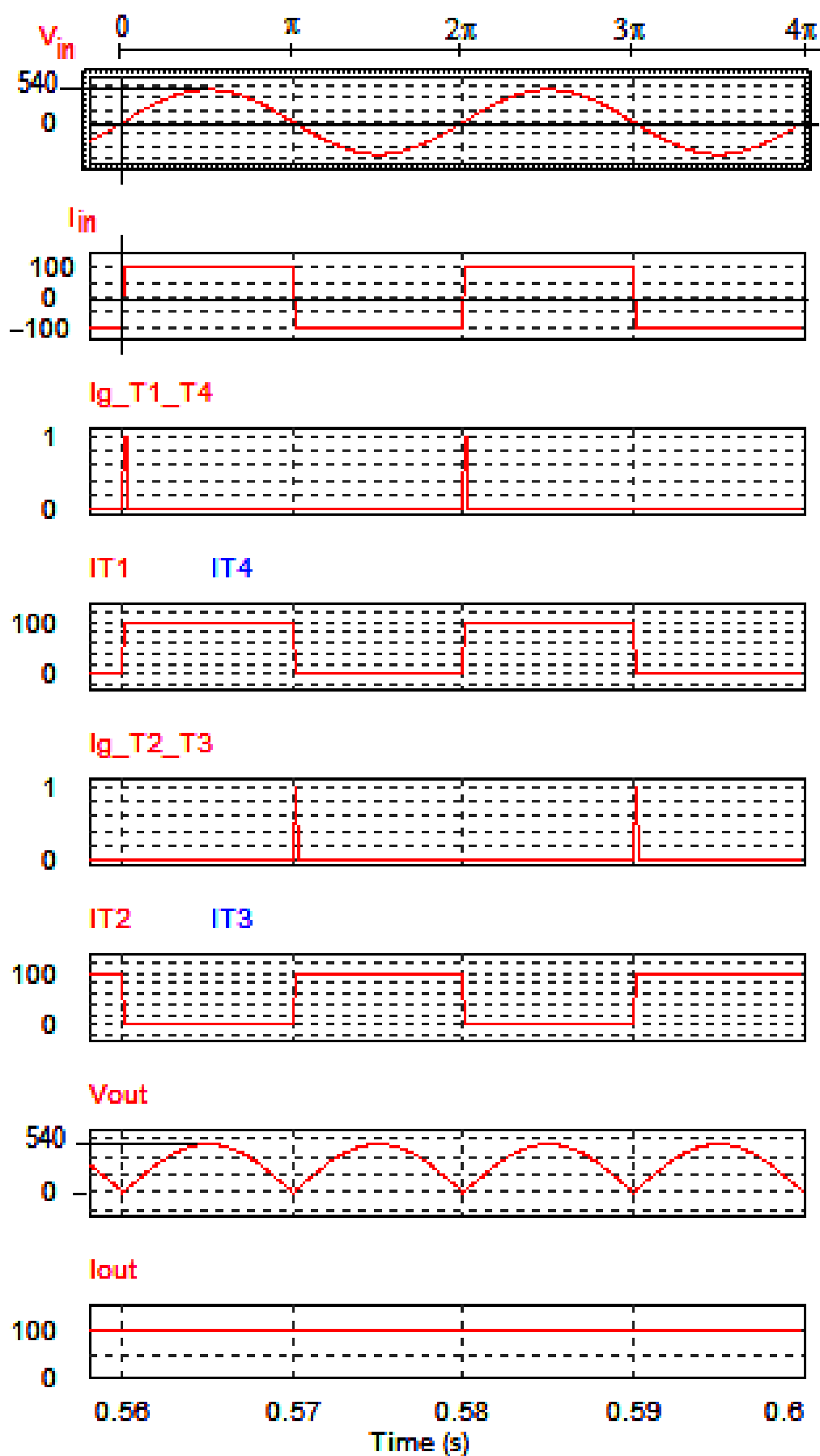
$$v_{in} = V_{in} \cdot \sqrt{2} \cdot \sin \omega t = V_m \cdot \sin \omega t ;$$

$V_m$  – maksimalna vrednost mrežnog napona

$$\omega = 2\pi f, f = 50\text{Hz}$$



# TALASNI OBLICI ZA UGAO UPRAVLJANJA $\alpha=0^\circ$





### Izračunavanje stepena iskorišćenja za $\alpha=0^\circ$ :

Srednja vrednost struje svakog od tiristora:  $I_{Tsr} = I_0 / 2 = 100 / 2 = 50A$

Efektivna vrednost struje svakog od tiristora:  $I_{Teff} = I_0 / \sqrt{2} = 100 / 1.41 = 70.92A$

Srednja vrednost izlaznog napona:  $V_{out\_sr} = \frac{2V_m}{\pi} \cdot \cos \alpha = \frac{2 \cdot 540}{\pi} \cdot \cos 0^\circ = 344V$

Srednja vrednost izlazne snage:  $P_{out} = V_{out\_sr} \cdot I_0 = 344V \cdot 100A = 34.4kW$

Disipacija snage na svakom pojedinačnom tiristoru:  $P_{dis1} = V_{to}I_{Tsr} + r_d I_{Teff}^2$

$$P_{dis1} = V_{to}I_{Tsr} + r_d I_{Teff}^2 = 1 \cdot 50 + 0.005 \cdot 70.92^2 = 75.14W$$

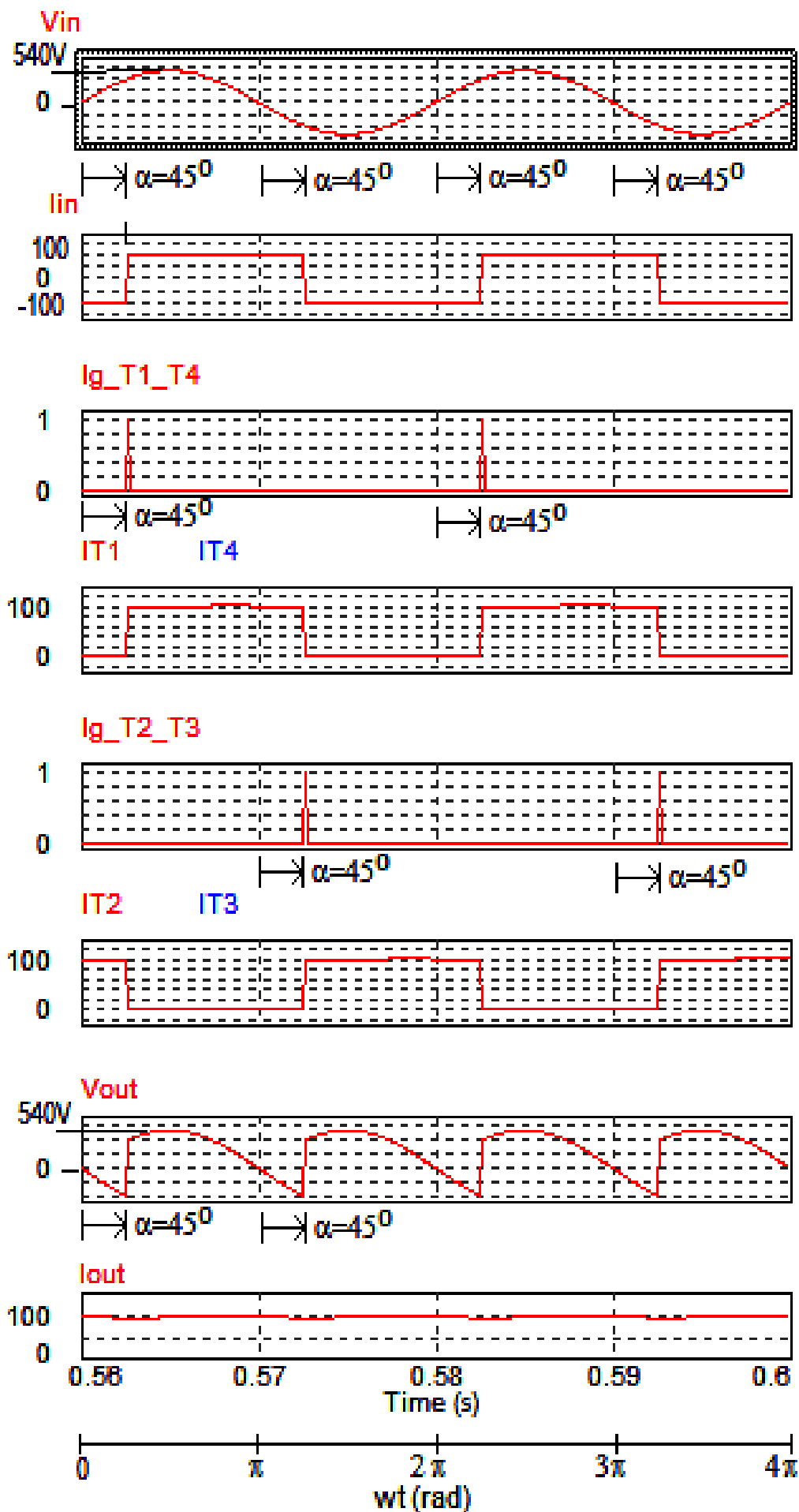
Ukupna disipacija snage u tiristorskom pretvaraču:  $P_{dis} = 4 \cdot P_{dis1} = 4 \cdot 75.14W = 300.6W$

Ulazna snaga pretvarača:  $P_{in} = P_{out} + P_{dis} = 34.4kW + 0.3kW = 34.7kW$

Stepen iskorišćenja pretvarača:  $\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{34.4}{34.7} = 0.99 = 99\%$



TALASNI OBLICI ZA UGAO UPRAVLJANJA  $\alpha=45^\circ = \pi/4$  rad





**Izračunavanje stepena iskorišćenja za  $\alpha=45^\circ=\pi/4$  rad :**

Srednja vrednost struje svakog od tiristora:  $I_{Tsr} = I_0 / 2 = 100 / 2 = 50A$

Efektivna vrednost struje svakog od tiristora:  $I_{Teff} = I_0 / \sqrt{2} = 100 / 1.41 = 70.92A$

Srednja vrednost izlaznog napona:  $V_{out\_sr} = \frac{2V_m}{\pi} \cdot \cos \alpha = \frac{2 \cdot 540}{\pi} \cdot \cos 45^\circ = 243.2V$

Srednja vrednost izlazne snage:  $P_{out} = V_{out\_sr} \cdot I_0 = 243.2V \cdot 100A = 24.32kW$

Disipacija svakog pojedinačnog tiristora:  $P_{dis1} = V_{to}I_{Tsr} + r_d I_{Teff}^2 = 1 \cdot 50 + 0.005 \cdot 70.92^2 = 75.14W$

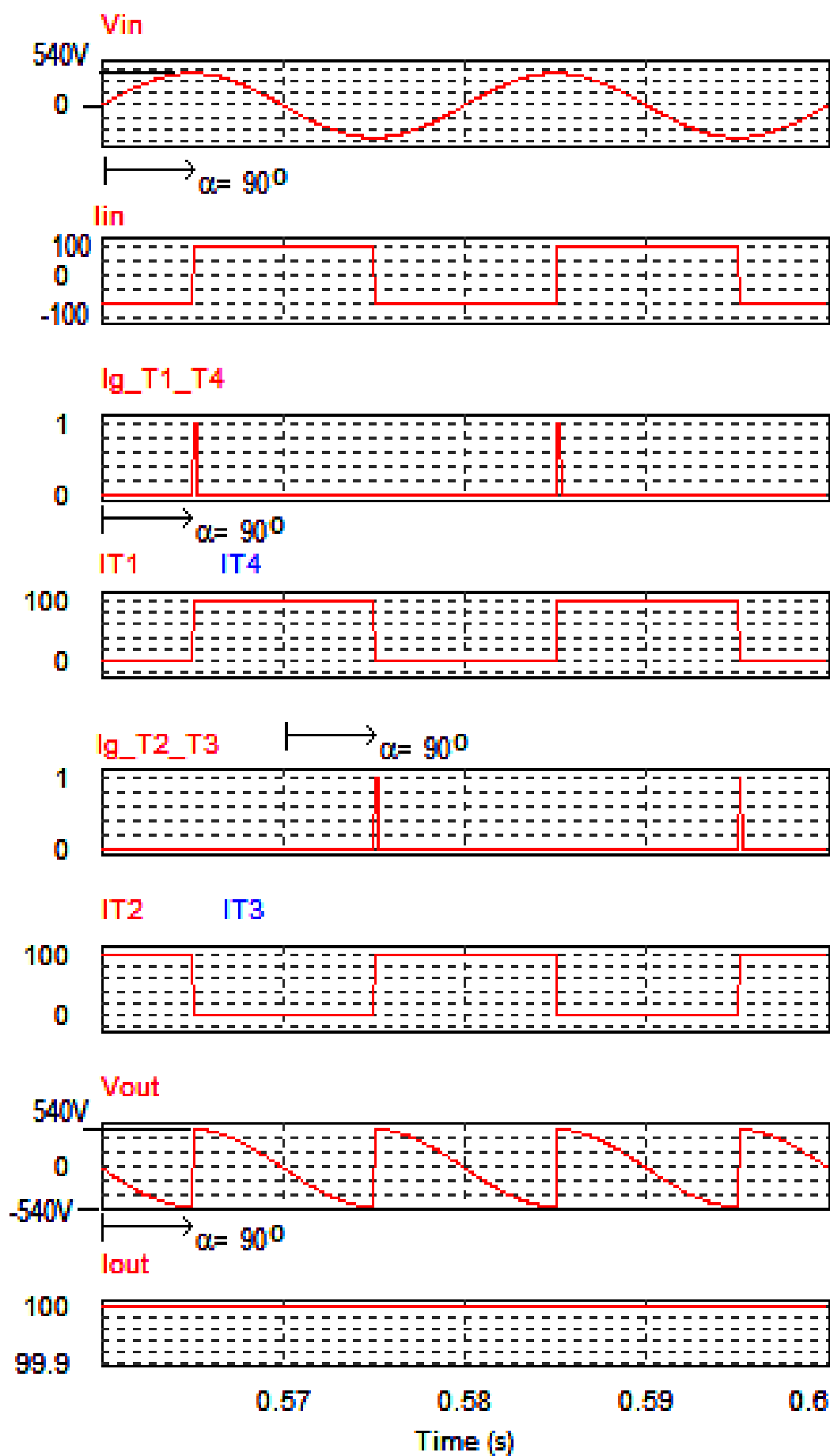
Ukupna disipacija u tiristorskom pretvaraču:  $P_{dis} = 4 \cdot P_{dis1} = 4 \cdot 75.14W = 300.6W$

Ulazna snaga pretvarača:  $P_{in} = P_{out} + P_{dis} = 24.32kW + 0.3kW = 24.62kW$

Stepen iskorišćenja pretvarača:  $\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{24.32}{24.62} = 0.988 = 98.8\%$



TALASNI OBLICI ZA UGAO UPRAVLJANJA  $\alpha=90^\circ = \pi/2$  rad





### Izračunavanje stepena iskorišćenja za $\alpha=90^\circ=\pi/2$ rad :

Srednja vrednost struje svakog od tiristora:  $I_{Tsr} = I_0 / 2 = 100 / 2 = 50A$

Efektivna vrednost struje svakog od tiristora:  $I_{Teff} = I_0 / \sqrt{2} = 100 / 1.41 = 70.92A$

Srednja vrednost izlaznog napona:  $V_{out\_sr} = \frac{2V_m}{\pi} \cdot \cos \alpha = \frac{2 \cdot 540}{\pi} \cdot \cos 90^\circ = 0V$

Srednja vrednost izlazne snage:  $P_{out} = V_{out\_sr} \cdot I_0 = 0 \cdot 100A = 0kW$

Disipacija svakog pojedinačnog tiristora:  $P_{dis1} = V_{to}I_{Tsr} + r_d I_{Teff}^2 = 1 \cdot 50 + 0.005 \cdot 70.92^2 = 75.14W$

Ukupna disipacija u tiristorskom pretvaraču:  $P_{dis} = 4 \cdot P_{dis1} = 4 \cdot 75.14W = 300.6W$

Ulazna prividna snaga pretvarača je :  $S_{in} = V_{in} \cdot I_{in} = \frac{540V}{\sqrt{2}} \cdot 100A = 38.3kVA$ ;

Ulazna snaga prvog harmonika struje (ovaj harmonik je dominantan) je reaktivna i pretvarač se (što se tiče prvog harmonika struje) prema mreži ponaša kao prigušnica, odnosno i iz mreže uzima čisto reaktivnu snagu.

$$Q_{in1} = V_{in} \cdot I_{in1} \cdot \sin \varphi = V_{in} \cdot I_{in1} \cdot \sin \alpha = \frac{540V}{\sqrt{2}} \cdot \left( \frac{4}{\pi} \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot 100A \right) \cdot \sin 90^\circ = 34.46kVar$$

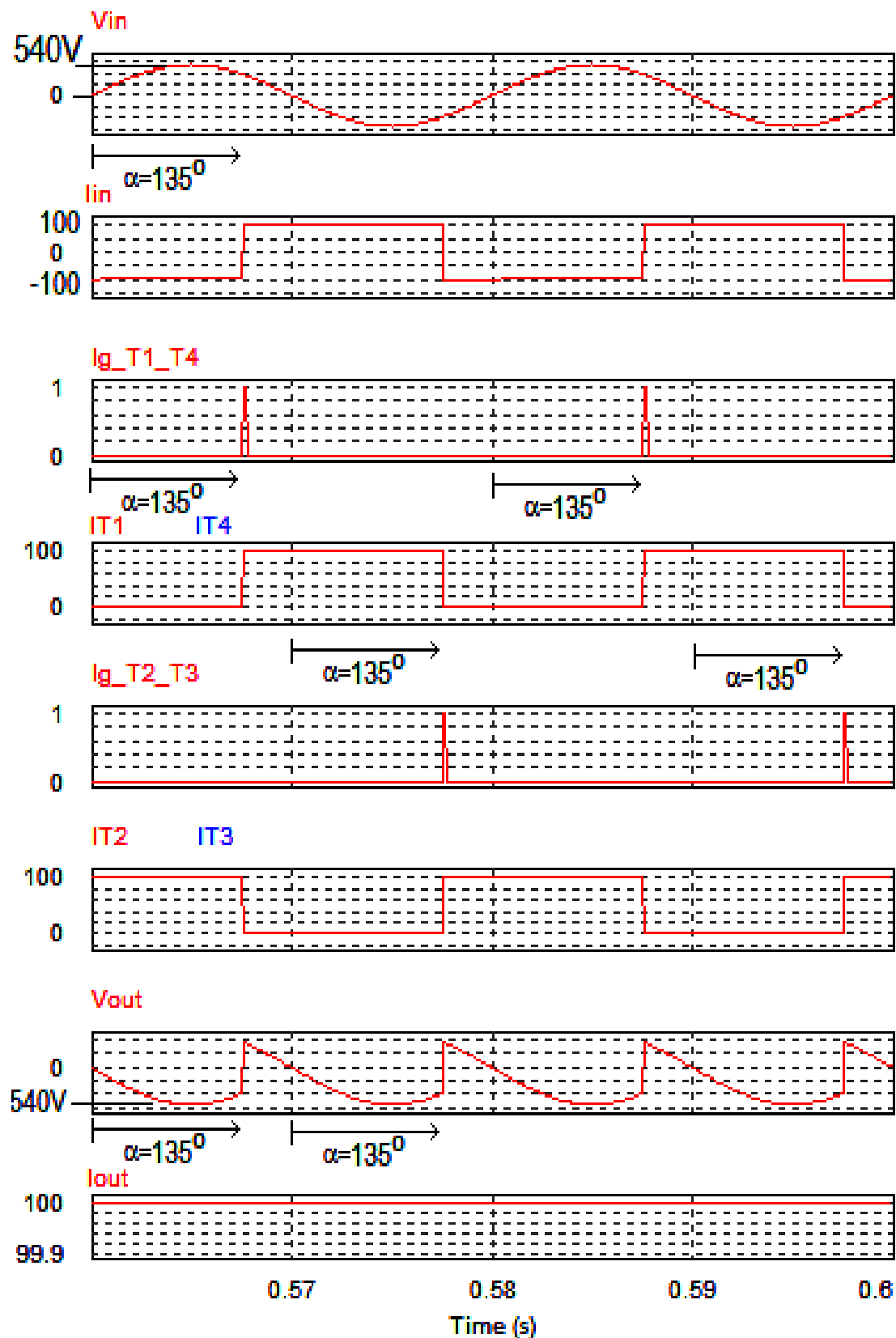
**\*napomena:** efektivna vrednost prvog harmonika ulazne struje se izračunava iz izraza  $I_{in1} = \frac{4}{\pi} \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot I_0$

Manji deo ulazne snage se troši na gubitke u pretvaraču ( $P_{dis} = 4 \cdot P_{dis1} = 4 \cdot 75.14W = 300.6W$ .)

Stepen iskorišćenja pretvarača, obzirom da je aktivna izlazna snaga jednaka  $P_{out} = 0kW$  (ne generiše aktivnu izlaznu snagu) je  $\eta = 0$



TALASNI OBLICI ZA UGAO UPRAVLJANJA  $\alpha=135^\circ=3\pi/4$  rad





### Izračunavanje stepena iskorišćenja za $\alpha=135^\circ=3\pi/4$ rad :

Srednja vrednost struje svakog od tiristora:  $I_{Tsr} = I_0 / 2 = 100 / 2 = 50A$

Efektivna vrednost struje svakog od tiristora:  $I_{Teff} = I_0 / \sqrt{2} = 100 / 1.41 = 70.92A$

Srednja vrednost izlaznog napona:  $V_{out\_sr} = \frac{2V_m}{\pi} \cdot \cos \alpha = \frac{2 \cdot 540}{\pi} \cdot \cos 135^\circ = -243.2V$

Srednja vrednost izlazne snage:  $P_{out} = V_{out\_sr} \cdot I_0 = -243.2 \cdot 100A = -24.32kW$  (invertorski režim rada i energija nagomilana u strujnom ponoru  $I_0$  se vraća u mrežu)

Disipacija svakog pojedinačnog tiristora:  $P_{dis1} = V_{to}I_{Tsr} + r_dI_{Teff}^2 = 1 \cdot 50 + 0.005 \cdot 70.92^2 = 75.14W$  .

Ukupna disipacija u tiristorskom pretvaraču:  $P_{dis} = 4 \cdot P_{dis1} = 4 \cdot 75.14W = 300.6W$  .

Ulazna prividna snaga pretvarača je :  $S_{in} = V_{in} \cdot I_{in} = \frac{540V}{\sqrt{2}} \cdot 100A = 38.3kVA$  ;

Ulazna snaga prvog harmonika struje (ovaj harmonik je dominantan) je negativna i pretvarač se u ovom slučaju (što se tiče prvog harmonika struje) prema mreži ponaša kao generator i u mrežu vraća aktivnu snagu (negativan predznak):

$$P_{in1} = V_{in} \cdot I_{in1} \cdot \cos \varphi = V_{in} \cdot I_{in1} \cdot \cos \alpha = \frac{540V}{\sqrt{2}} \cdot \left(\frac{4}{\pi} \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot 100A\right) \cdot \cos 135^\circ = -24.36kW$$

i ova snaga je približno jednaka snazi  $P_{out} = -24.32kW$  (pretvarač vraća aktivnu snagu u mrežu).

**IZ OVOG RAZLOGA SE OVAJ REŽIM RADA ISPRAVLJAČA NAZIVA INVERTORSKI!!!**

Manji deo ove snage  $P_{out}$  se troši na gubitke u pretvaraču ( $P_{dis} = 4 \cdot P_{dis1} = 4 \cdot 75.14W = 300.6W$  .)

Reaktivna snaga koju uzima pretvarač je pozitivna i data jednačinom:

$$Q_{in1} = V_{in} \cdot I_{in1} \cdot \sin \varphi = V_{in} \cdot I_{in1} \cdot \sin \alpha = \frac{540V}{\sqrt{2}} \cdot \left(\frac{4}{\pi} \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot 100A\right) \cdot \sin 135^\circ = 24.36kVar$$

**\*napomena:** efektivna vrednost prvog harmonika ulazne struje se izračunava iz izraza  $I_{in1} = \frac{4}{\pi} \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot I_0$

Obzirom da pretvarač radi u invertorskom režimu (tok energije je od pretvarača ka naizmeničnoj mreži) stepen iskorišćenja pretvarača u ovom režimu je:

$$\eta = \frac{24.32kW - 0.3kW}{24.32kW} = 0.987 = 98.7\%$$