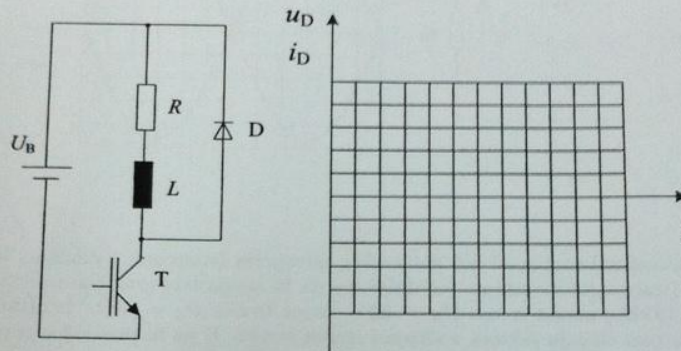


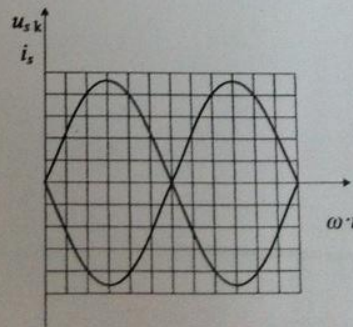
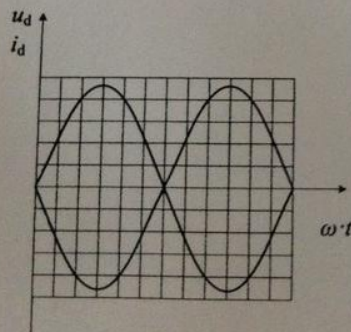
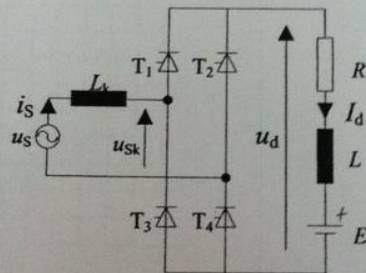
# UČINSKA ELEKTRONIKA 1. MI 2012 / 2013

## Međuispit iz Učinske elektronike, akademska godina 2012./2013.

1. Na slici je prikazan istosmjerni pretvarač bez galvanškog odvajanja s IGBTom i porednom diodom, opterećen djelatno-induktivnim trošilom. Za faktor vođenja  $D = 0,3$  izračunajte gubitke vođenja tranzistora i diode. U za to predviđen prostor nacrtajte valne oblike struje i napona diode s označenim vremenima u sekundama. Prilikom crtanja valnih oblika zanemarite pad napona diode u vođenju. Podaci sklopa su:  $U_{DC} = 200\text{ V}$ ,  $R = 10\ \Omega$ ,  $f = 10\text{ kHz}$ ,  $U_D = 0,7\text{ V}$ ,  $U_{ce,s} = 1,5\text{ V}$ ,  $r_d = 10\text{ m}\Omega$ . Pretpostavite da je induktivitet dovoljno velik da je struja tereta nevalovita ( $\omega \cdot L \gg R$ ). Na priloženoj slici obavezno označite referentni smjer struje i referentni polaritet napona diode.

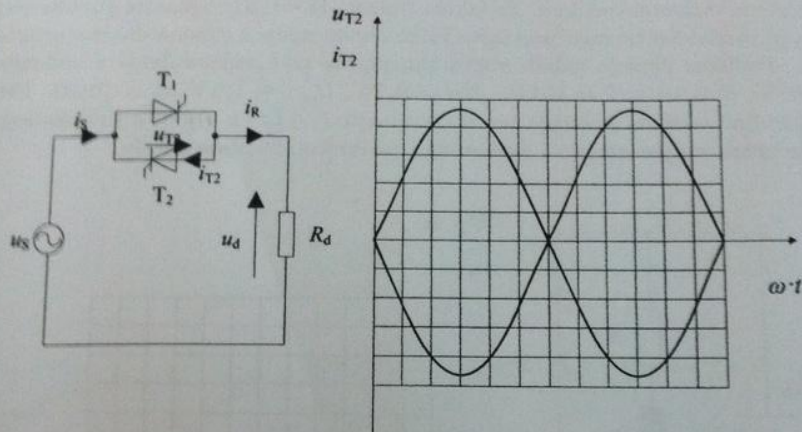


2. Uzevši u obzir postojanje komutacijskog induktiviteta koncentriranog u induktivitetu  $L_k$  izračunajte snagu predanu izvoru  $E$ . Podaci sklopa su:  $u_S = 230 \cdot \sqrt{2} \cdot \sin(\omega \cdot t)$ ,  $L_k = 10\text{ mH}$ ,  $R_d = 15\ \Omega$ ,  $E = 50\text{ V}$ ,  $\alpha = 30^\circ$ ,  $\omega \cdot L_d \gg R$ . Izračunajte vrijeme trajanja komutacije u sekundama. Nacrtajte valne oblike napona i struje trošila te napona  $u_{sk}$  i struje  $i_S$ .

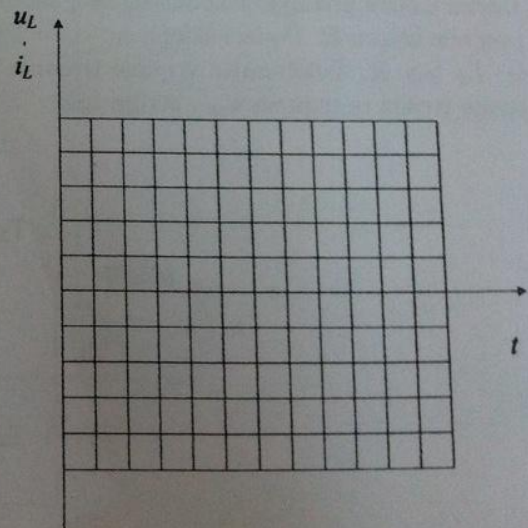
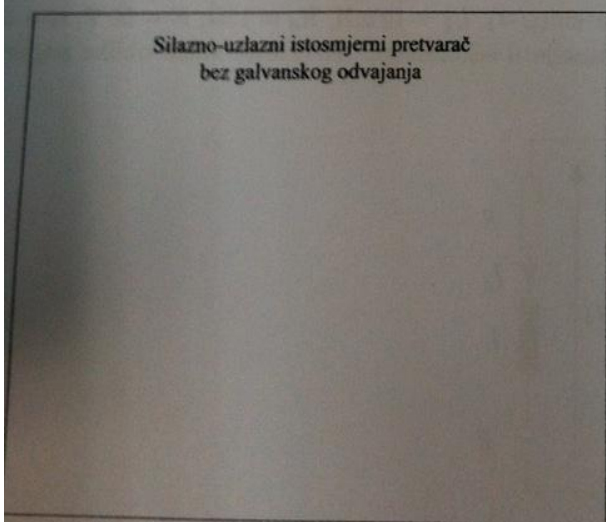


$U_1 = 0,001 \text{ sraz.}$   
 $U_2 = 0,001 \text{ sraz.}$   
 $U_3 = 0,001 \text{ sraz.}$   
 $U_4 = 0,001 \text{ sraz.}$   
 $U_5 = 0,001 \text{ sraz.}$   
 $U_6 = 0,001 \text{ sraz.}$   
 $U_7 = 0,001 \text{ sraz.}$   
 $U_8 = 0,001 \text{ sraz.}$   
 $U_9 = 0,001 \text{ sraz.}$   
 $U_{10} = 0,001 \text{ sraz.}$   
 $U_{11} = 0,001 \text{ sraz.}$   
 $U_{12} = 0,001 \text{ sraz.}$   
 $U_{13} = 0,001 \text{ sraz.}$   
 $U_{14} = 0,001 \text{ sraz.}$   
 $U_{15} = 0,001 \text{ sraz.}$   
 $U_{16} = 0,001 \text{ sraz.}$   
 $U_{17} = 0,001 \text{ sraz.}$   
 $U_{18} = 0,001 \text{ sraz.}$   
 $U_{19} = 0,001 \text{ sraz.}$   
 $U_{20} = 0,001 \text{ sraz.}$   
 $U_{21} = 0,001 \text{ sraz.}$   
 $U_{22} = 0,001 \text{ sraz.}$   
 $U_{23} = 0,001 \text{ sraz.}$   
 $U_{24} = 0,001 \text{ sraz.}$   
 $U_{25} = 0,001 \text{ sraz.}$   
 $U_{26} = 0,001 \text{ sraz.}$   
 $U_{27} = 0,001 \text{ sraz.}$   
 $U_{28} = 0,001 \text{ sraz.}$   
 $U_{29} = 0,001 \text{ sraz.}$   
 $U_{30} = 0,001 \text{ sraz.}$   
 $U_{31} = 0,001 \text{ sraz.}$   
 $U_{32} = 0,001 \text{ sraz.}$   
 $U_{33} = 0,001 \text{ sraz.}$   
 $U_{34} = 0,001 \text{ sraz.}$   
 $U_{35} = 0,001 \text{ sraz.}$   
 $U_{36} = 0,001 \text{ sraz.}$   
 $U_{37} = 0,001 \text{ sraz.}$   
 $U_{38} = 0,001 \text{ sraz.}$   
 $U_{39} = 0,001 \text{ sraz.}$   
 $U_{40} = 0,001 \text{ sraz.}$   
 $U_{41} = 0,001 \text{ sraz.}$   
 $U_{42} = 0,001 \text{ sraz.}$   
 $U_{43} = 0,001 \text{ sraz.}$   
 $U_{44} = 0,001 \text{ sraz.}$   
 $U_{45} = 0,001 \text{ sraz.}$   
 $U_{46} = 0,001 \text{ sraz.}$   
 $U_{47} = 0,001 \text{ sraz.}$   
 $U_{48} = 0,001 \text{ sraz.}$   
 $U_{49} = 0,001 \text{ sraz.}$   
 $U_{50} = 0,001 \text{ sraz.}$   
 $U_{51} = 0,001 \text{ sraz.}$   
 $U_{52} = 0,001 \text{ sraz.}$   
 $U_{53} = 0,001 \text{ sraz.}$   
 $U_{54} = 0,001 \text{ sraz.}$   
 $U_{55} = 0,001 \text{ sraz.}$   
 $U_{56} = 0,001 \text{ sraz.}$   
 $U_{57} = 0,001 \text{ sraz.}$   
 $U_{58} = 0,001 \text{ sraz.}$   
 $U_{59} = 0,001 \text{ sraz.}$   
 $U_{60} = 0,001 \text{ sraz.}$   
 $U_{61} = 0,001 \text{ sraz.}$   
 $U_{62} = 0,001 \text{ sraz.}$   
 $U_{63} = 0,001 \text{ sraz.}$   
 $U_{64} = 0,001 \text{ sraz.}$   
 $U_{65} = 0,001 \text{ sraz.}$   
 $U_{66} = 0,001 \text{ sraz.}$   
 $U_{67} = 0,001 \text{ sraz.}$   
 $U_{68} = 0,001 \text{ sraz.}$   
 $U_{69} = 0,001 \text{ sraz.}$   
 $U_{70} = 0,001 \text{ sraz.}$   
 $U_{71} = 0,001 \text{ sraz.}$   
 $U_{72} = 0,001 \text{ sraz.}$   
 $U_{73} = 0,001 \text{ sraz.}$   
 $U_{74} = 0,001 \text{ sraz.}$   
 $U_{75} = 0,001 \text{ sraz.}$   
 $U_{76} = 0,001 \text{ sraz.}$   
 $U_{77} = 0,001 \text{ sraz.}$   
 $U_{78} = 0,001 \text{ sraz.}$   
 $U_{79} = 0,001 \text{ sraz.}$   
 $U_{80} = 0,001 \text{ sraz.}$   
 $U_{81} = 0,001 \text{ sraz.}$   
 $U_{82} = 0,001 \text{ sraz.}$   
 $U_{83} = 0,001 \text{ sraz.}$   
 $U_{84} = 0,001 \text{ sraz.}$   
 $U_{85} = 0,001 \text{ sraz.}$   
 $U_{86} = 0,001 \text{ sraz.}$   
 $U_{87} = 0,001 \text{ sraz.}$   
 $U_{88} = 0,001 \text{ sraz.}$   
 $U_{89} = 0,001 \text{ sraz.}$   
 $U_{90} = 0,001 \text{ sraz.}$   
 $U_{91} = 0,001 \text{ sraz.}$   
 $U_{92} = 0,001 \text{ sraz.}$   
 $U_{93} = 0,001 \text{ sraz.}$   
 $U_{94} = 0,001 \text{ sraz.}$   
 $U_{95} = 0,001 \text{ sraz.}$   
 $U_{96} = 0,001 \text{ sraz.}$   
 $U_{97} = 0,001 \text{ sraz.}$   
 $U_{98} = 0,001 \text{ sraz.}$   
 $U_{99} = 0,001 \text{ sraz.}$   
 $U_{100} = 0,001 \text{ sraz.}$

3. Za izmjenični pretvarač na slici izračunajte snagu koju izvor preda trošilu otpora  $R = 10 \Omega$  uz kut upravljanja  $\alpha = 30^\circ$ . Napon izvora je  $u_s = 230 \cdot \sqrt{2} \cdot \sin(\omega \cdot t)$ .



4. Nacrtajte silazno-uzlazni pretvarač bez galvanskog odvajanja (tranzistor i dioda su idealni). Za faktor vođenja  $D=0,6$  izračunajte vrijednost induktiviteta da bi struja bila granično isprekidana. Frekvencija sklopke je  $f = 15 \text{ kHz}$ , napon izvora  $U_B = 60 \text{ V}$ , otpor trošila  $R_d = 10 \Omega$ . Izračunajte snagu koja predaje trošilu u tom slučaju faktora vođenja i iznosa struje. U za to predviđen prostor ucrtajte val oblike napona i struje induktiviteta.



## RJEŠENJA :

### 1.

Prvo izračunamo srednju vrijednost napona i struje trošila. Zbog velikog induktiviteta struja je nevalovita i konstantna.

$$U_d = D * U_{DC} = 0.3 * 200 = 60 \text{ V}$$

$$I_d = \frac{U_d}{R} = \frac{60}{10} = 6 \text{ A}$$

Za proračun gubitaka na diodi potrebno je znati srednju i efektivnu vrijednost struje diode. Znamo da dioda vodi kada tranzistor ne vodi što znači da dioda vodi u vremenu 0.3T do T.

$$I_{D_{avg}} = \frac{1}{T} \int_{0.3T}^T I_d dt = \frac{(1 - 0.3)T}{T} = (1 - 0.3) * 6 = 4.2 \text{ A}$$

$$I_{D_{rms}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_{0.3T}^T I_d^2 dt} = (\sqrt{1 - 0.3}) I_d = 5.02$$

Gubitke na diodi računamo preko sljedeće formule (nalazi se na slajdovima u predavanju o DC DC pretvaračima) :

$$P_D = I_{D_{avg}} * U_D + I_{D_{rms}}^2 r_d = 4.2 * 0.7 + 5.02^2 * 0.01 = \mathbf{3.192 \text{ W}}$$

Tranzistor vodi u vremenu 0 do 0.3 T. Za proračun njegovih gubitaka treba nam samo srednja vrijednost struje.

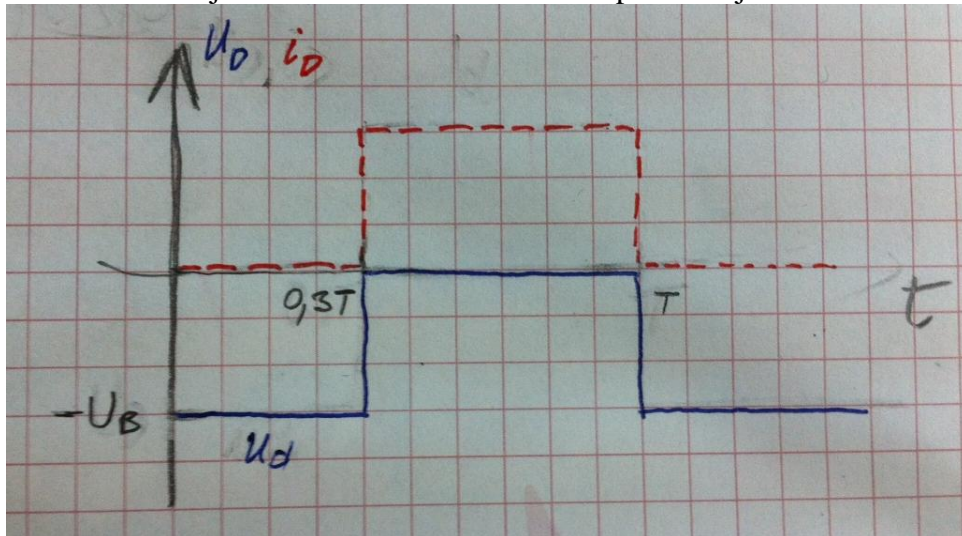
$$I_{T_{avg}} = \frac{1}{T} \int_0^{0.3T} I_d dt = \frac{(0.3 - 0)T}{T} I_d = 0.3 I_d = 1.8 \text{ A}$$

Gubici se računaju prema sljedećoj formuli (isto sa slajdova) :

$$P_T = I_{T_{avg}} U_{ce,s} = 1.8 * 1.5 = \mathbf{2.7 \text{ W}}$$



Na kraju treba nacrtati valne oblike napon i struje diode.



Slika 1: napon i struja diode

Na slici se vidi da napon izvora zaporno blokira diodu dok tranzistor vodi a kada dioda vodi na njoj je napon 0 V i struja jednaka struji trošila  $I_d$ .

2.

Srednja vrijednost napona na trošilu kada postoji komutacija se računa prema sljedećoj formuli (iz slajdova, predavanje usmjerivači) :

$$U_d = \frac{2U_s}{\pi} (\cos(\alpha) - \frac{X_k I_d}{U_s})$$

U gornjoj formuli  $X_k = 2\pi f L_k$  je impedancija koju stvara komutacijski induktivitet i kad se uvrste vrijednosti dobiva se  $X_k = 3.14 \Omega$ . Struja trošila je nevalovita zbog velikog induktiviteta pa se računa prema sljedećoj formuli :

$$\frac{U_d - E}{R} = I_d$$

$$\frac{2U_s}{\pi} \cos(\alpha) - \frac{2X_k I_d}{\pi} - E = I_d R$$

$$\frac{2U_s}{\pi} \cos(\alpha) - E = \left( R + \frac{2X_k I_d}{\pi} \right) I_d$$

$$129.33 = 17I_d$$

$$I_d = 7.607 \text{ A}$$

Snaga koju prima DC izvor u krugu trošila računa se kao umnozak struje i napona tog izvora:

$$P_{DC} = E * I_d = 50 * 7.607 = \mathbf{380.38 \text{ W}}$$

Kako bi se dobilo vrijeme komutacije računa se kut komutacije  $u$  prema formuli (isto sa slajdova) :

$$u = \arccos\left(\cos(\alpha) - \frac{2I_d X_k}{U_s}\right) - \alpha$$

Uvrštavanjem brojeva dobiva se :

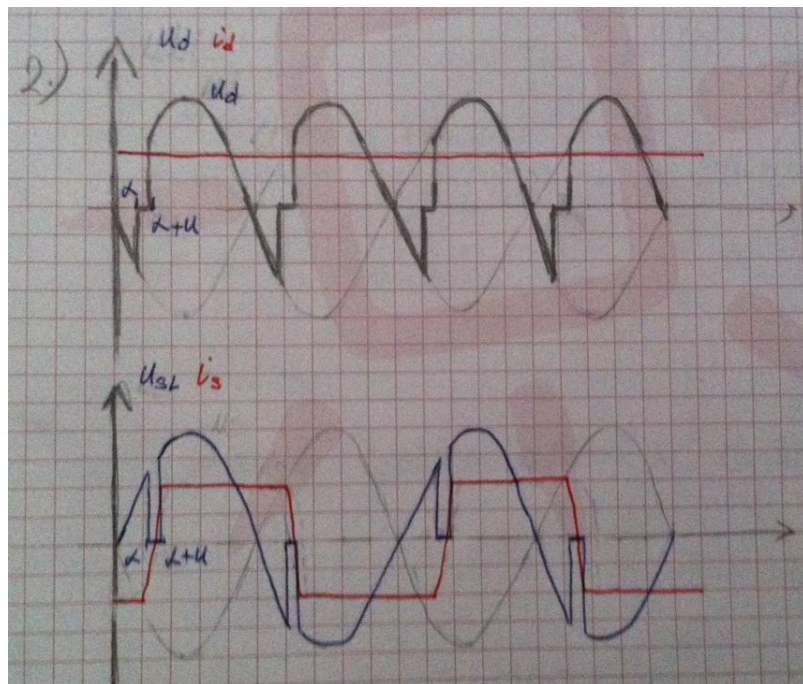
$$u = 14.02^\circ$$

Dobiveni kut govori nam koliko stupnjeva traje komutacija a vrijeme  $u$  ms dobivamo na sljedeći način :

$$\frac{14.02}{360} = \frac{t_k}{20 \text{ ms}} \rightarrow t_k = \mathbf{0.7789 \text{ ms}}$$

U gornjoj formuli 20 ms predstavlja jedan period jer je  $f=50 \text{ Hz}$  ( $T=1/f$ ).

Slike:



Slika 2: napon i struja trošila(gore) ; napon i struja komutacije (ulaz u usmjerivač)- dolje

Napon trošila isti je kao i kod usmjerivača bez komutacije, uz razliku da je napon trošila nula u razdoblju dok traje komutacija (na slici 2 to je razdoblje između  $\alpha$  i  $\alpha + u$ ).

Napon komutacije je napon na ulazu u usmjerivač i on je jednak naponu izvora uvijek osim dok traje komutacija (tada je napon 0 i to se vidi na slici 3 u ovim "propadima" napona). Struja tijekom komutacije raste po kosinusnom pravilu, zato je blago zaobljena na slici 3.

### 3.

Kul gotova formula koju si napišete na šalabahter (a napisana je u slideovima sa predavanja)

$$U_{d_{rms}} = \frac{U_{smax}}{\sqrt{2}} \sqrt{1 - \frac{\alpha}{\pi} + \frac{\sin(2 \cdot \alpha)}{2 \cdot \pi}}$$

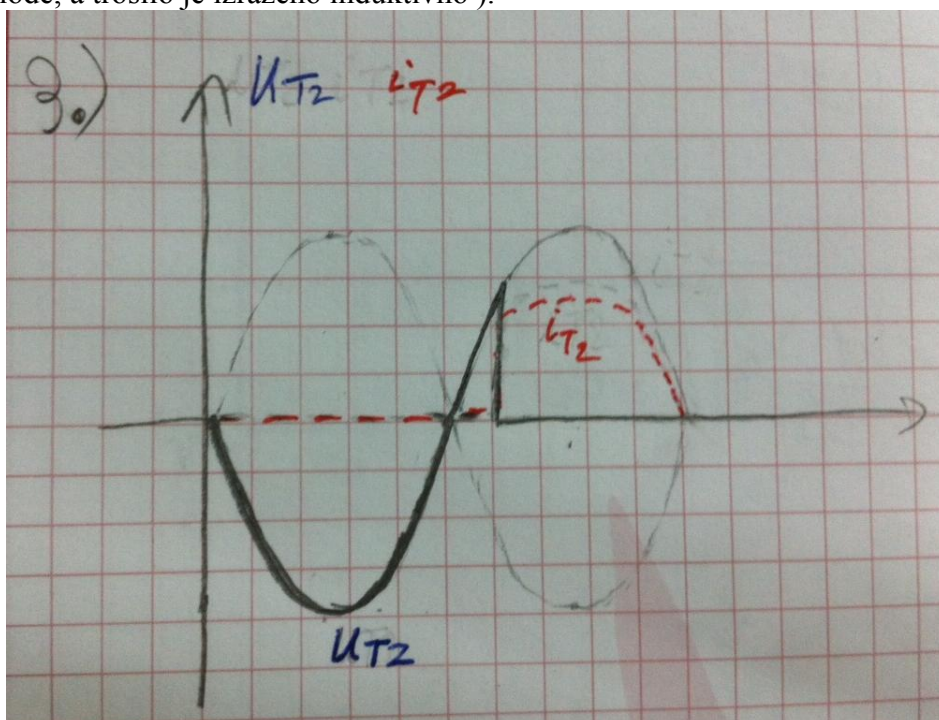
$$P_d = \frac{U_{d_{rms}}^2}{R}$$

Uvrštavanjem brojeva dobiva se :

$$U_{d_{rms}} = 226.66 \text{ V}$$

$$P_d = \frac{226.66^2}{10} = 5137.46 \text{ W}$$

Ovdje ne smijete koristiti pojednostavljenje  $U_{srednje} = U_{d_{rms}}$  jer struja trošila nije konstantna (trošilo je čisto radno). Inače gdje god vam u zadacima piše  $\omega L \gg R$  vrijedi pojednostavljenje srednja vrijednost struje trošila jednaka je efektivnoj vrijednosti struje trošila, isto vrijedi za napon. Ali pazite jer iako za trošilo to vrijedi za poredne diode i tranzistorske sklopke to ne vrijedi općenito. (npr pogledajte 1. zadatak Irms tranzistora i poredne diode, a trošilo je izraženo induktivno ).



Slika 2: napon i struja tiristora T2

Dok vodi prvi tiristor tiristor T2 je zaporno blokiran i počinje voditi u  $\pi + \alpha$ . Struja je sinusna kao i napon jer se radi o R trošilu. Nacrta na je pozitivna struja jer je na slici u zadatku referentni smjer struje kada ulazi u tiristor. Da je bilo potrebno nacrtati struju trošila tada bi ova struja bila negativna (jer je suprotna referentnoj struji trošila sa slike) dok bi struja prvog tiristora bila pozitivna.

#### 4.

Srednja vrijednost izlaznog napona silazno uzlaznog pretvarača dobiva se preko sljedeće formule :

$$U_d = U_B \frac{D}{1-D} = 60 * \frac{0.6}{1-0.6} = 90 V$$

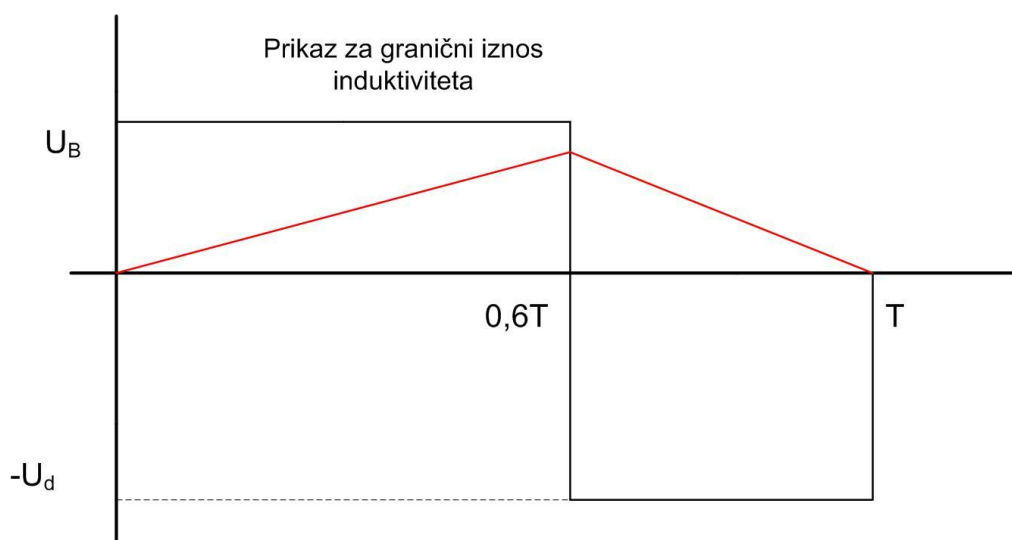
Snaga koju uzima trošilo je :

$$P_d = \frac{U_d^2}{R} = \frac{90^2}{10} = 810 W$$

Induktivitet pri kojem je struja granična se računa preko formule sa slajdova (predavanje DC DC pretvarači):

$$L_{min} = R_d \frac{(1-D)^2}{2f} = 53,33 \mu H$$

Slika:



Slika 3: napon i struja induktiviteta

Dok je uključen tranzistor napon zavojnice je napon izvora a kad vodi dioda onda je napon zavojnice napon trošila ali negativan. Važno je da je srednja vrijednost napona zavojnice jednaka nuli !