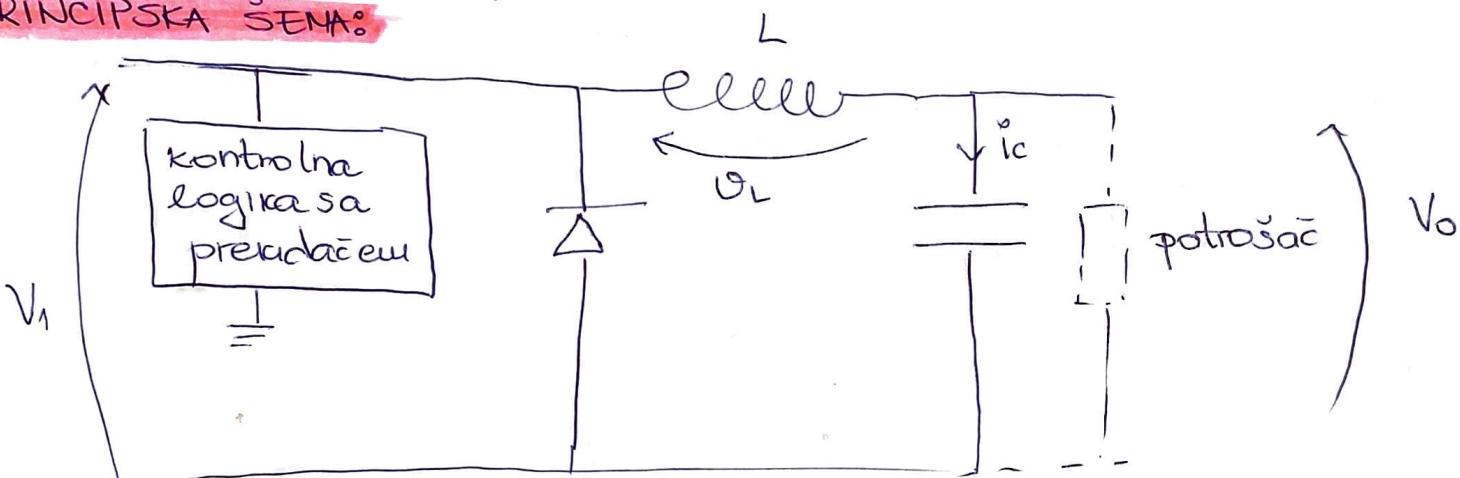


1. Buck konvertor. Principska šema, princip rada, signali u kolu od interesa. Razlika između kontinualnog i diskontinualnog režima rada. Formula za izlazni napon u kontinualnom režimu rada.

Buck konvertor je DC/DC konvertor. Vrednost izlaznog napona **MANJA** je od vrednosti ulaznog.

PRINCIPSKA ŠEMA:



PRINCIPI RADA: Naizmenično uključivanje/isključivanje prekidača

1) Uključen prekidač: Tada je dioda inverzno polansana \Rightarrow ne prava (ton-uremenski period). Potrošač tada dobija struju k izvoru V_1 i uključenosti) raste struja prigušnice

$$V_L = V_1 - V_O \Rightarrow V_L = V_1 - V_O$$

$$L \frac{dI_L}{dt} = V_L \Rightarrow \frac{dI_L}{dt} = \frac{1}{L} V_L = \frac{1}{L} (V_1 - V_O) \Rightarrow \Delta I_{L,ton} = \frac{1}{L} (V_1 - V_O) \cdot t_{on} *$$

2) Isključen prekidač: Tada je kolo zatvoreno preko diode i (toff-uremenski period isključenosti) potrošač se napaja strujom akumulisanom u prigušnici

$$\underbrace{V_{diode}}_{\approx 0} + V_L + V_O = 0 \Rightarrow V_L = -V_O, V_L = L \frac{dI_L}{dt} \Rightarrow \frac{dI_L}{dt} = -\frac{V_O}{L} \Rightarrow \Delta I_{L,toff} = -\frac{V_O}{L} \cdot t_{off} **$$

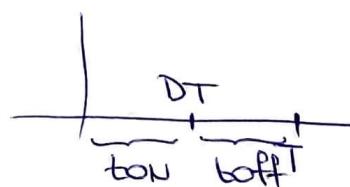
KONTINUALNI REŽIM RADA: Struja kroz prigušnicu nikada neće dostići vrednost od OA $\Rightarrow \Delta I_{L,ton} + \Delta I_{L,toff} = 0$

$$* * \Rightarrow \frac{1}{L} (V_1 - V_O) t_{on} + \left(-\frac{V_O}{L}\right) t_{off} = 0$$

$$V_1 t_{on} - V_O t_{on} = V_O t_{off}$$

$$V_1 t_{on} = V_O (\underbrace{t_{on} + t_{off}}_{T})$$

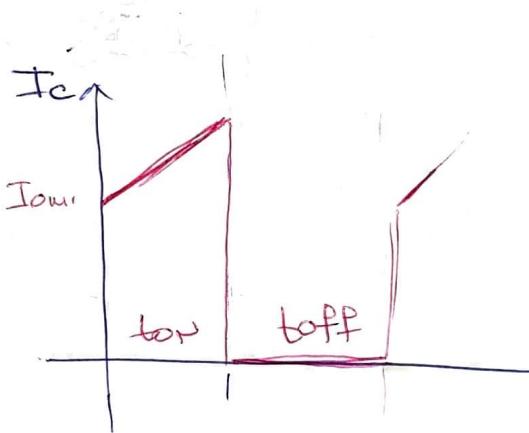
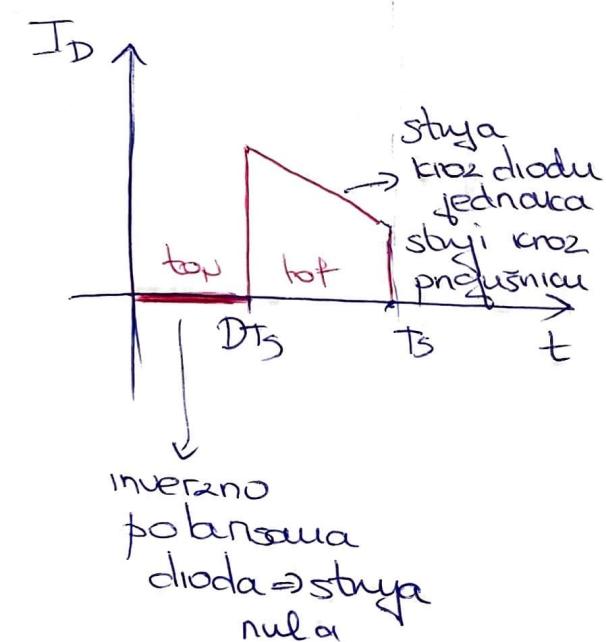
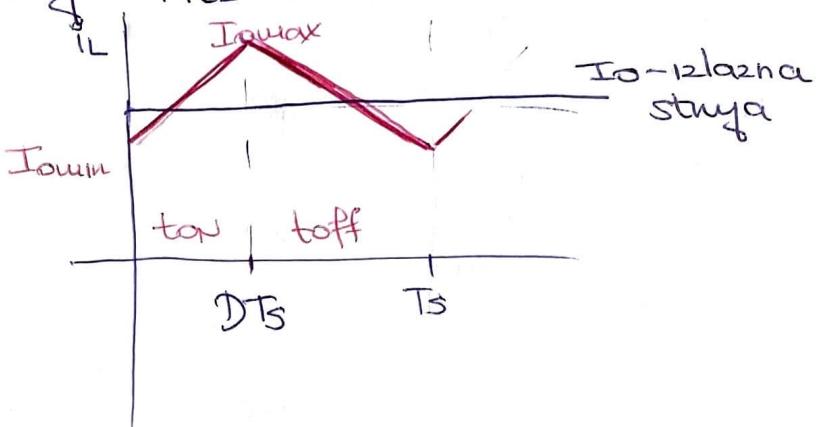
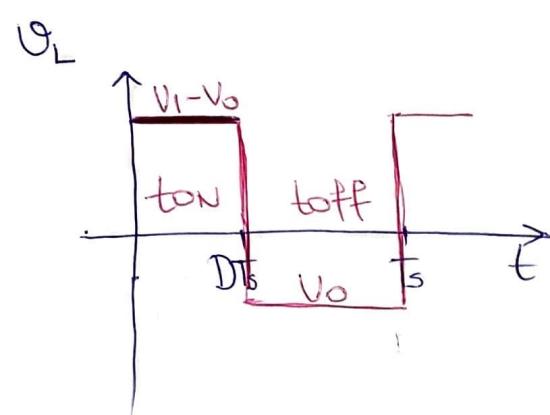
$$V_O = V_1 \frac{t_{on}}{T} \Rightarrow D - \text{faktor ispunе } 0 < D < 1 \Rightarrow V_O = V_1 D$$



DISKONTINUALNI REŽIM RADA: Sva akumulisana struja u priključnicu se potroši pre nego što se ponovo uključi prekidač

SIGNALI OD ZNACAJA:

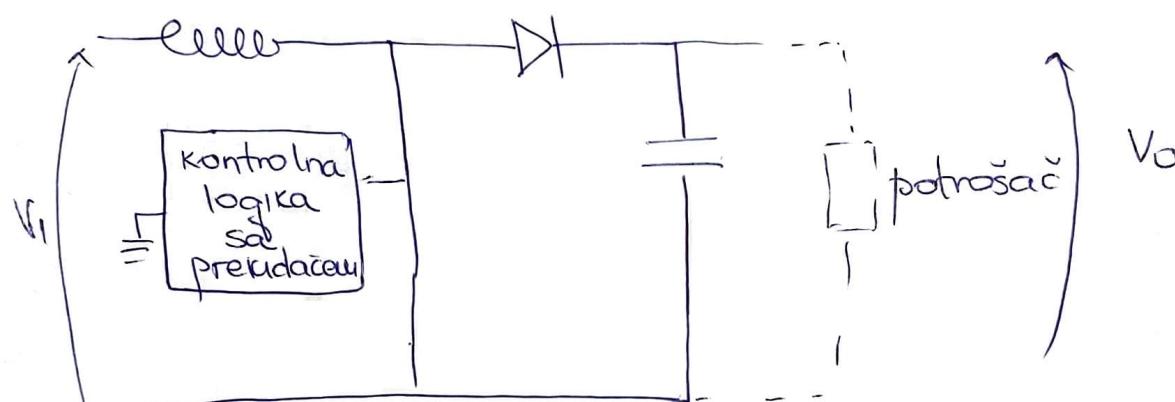
- V_L -napon na priključnicu
- I_L -struja kroz priključnicu
- I_C -struja kroz kondenzator
- I_D -struja kroz diodu



2. Boost konvertor (principska šema). Princip rada, signali u toku od interesa. Razlika između kontinualnog i diskontinualnog režima rada. Formula za izlazni napon u kontinualnom režimu rada.

Boost konvertor je DC/DC konvertor. Vrednost izlaznog napona je VEĆA od ulaznog napona.

PRINCIPSKA ŠEMA:



PRINCIPI RADA: Naužmenično uključivanje/isključivanje prekidača

1) Uključen prekidač:

(ton-vremenski period: Energija u V_L se akumulira u pnušnici, struja pnušnice raste)

$$V_L = V_1 \Rightarrow L \frac{dI_L}{dt} = V_L = V_1 \Rightarrow \Delta I_{L\text{on}} = \frac{V_1}{L} t_{\text{on}}$$

2) Isključen prekidač: Energija se uklanja iz izvora V_1 i u pnušnicu

$$V_L = V_1 - V_0 \Rightarrow L \frac{dI_L}{dt} = V_L = V_1 - V_0 \Rightarrow \Delta I_{L\text{off}} = \frac{V_1 - V_0}{L} t_{\text{off}}$$

KONTINUALNI REŽIM RADA: Struja kroz pnušnicu nikada neće dostići vrednost od 0A $\Rightarrow \Delta I_{L\text{on}} + \Delta I_{L\text{off}} = 0$

$$\Delta I_{L\text{on}} + \Delta I_{L\text{off}} = 0$$

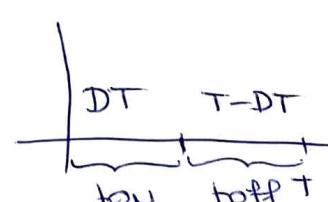
$$V_1 t_{\text{on}} + V_0 t_{\text{off}} = V_0 t_{\text{off}}$$

$$V_1 (t_{\text{on}} + t_{\text{off}}) = V_0 t_{\text{off}}$$

T

$$V_0 = \frac{V_1 T}{t_{\text{off}}} = V_1 \frac{T}{T - DT}$$

$$V_0 = V_1 \frac{1}{1-D}$$

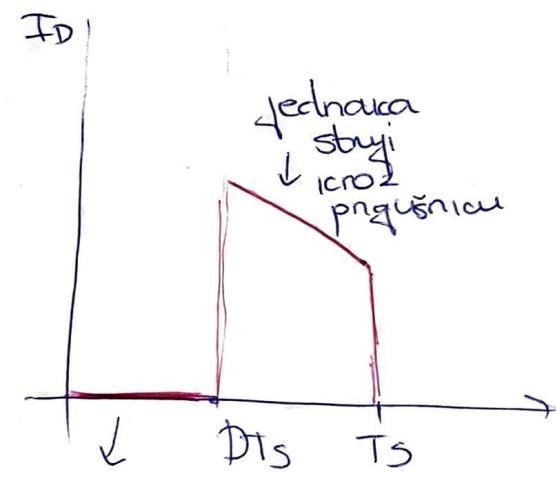
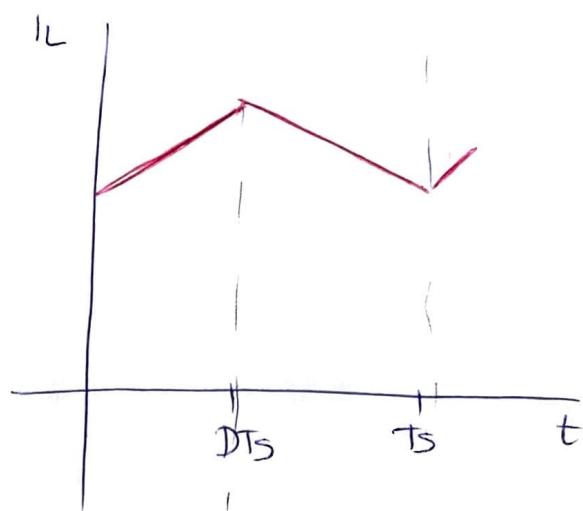
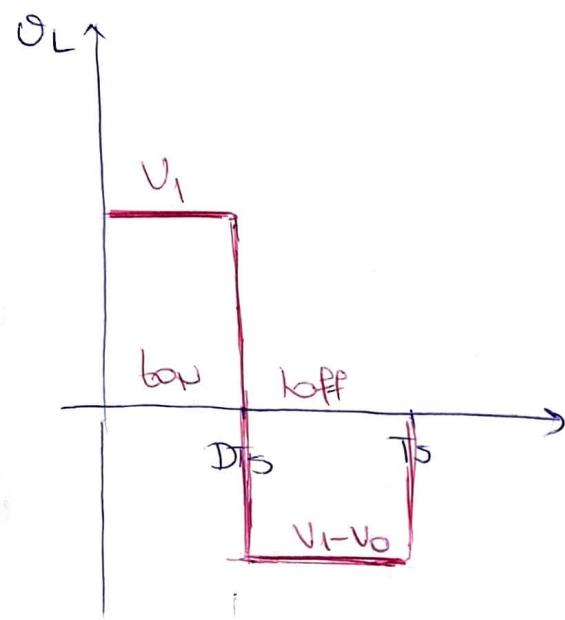


$$t_{\text{on}} = DT, 0 < D < 1$$

$$\Rightarrow t_{\text{off}} = T - DT$$

DISKONTINUALNI REŽIM RADA: Sva akumulisana struja u pnušnici se potroši pre nego što se ponovo ukljiči prekidač

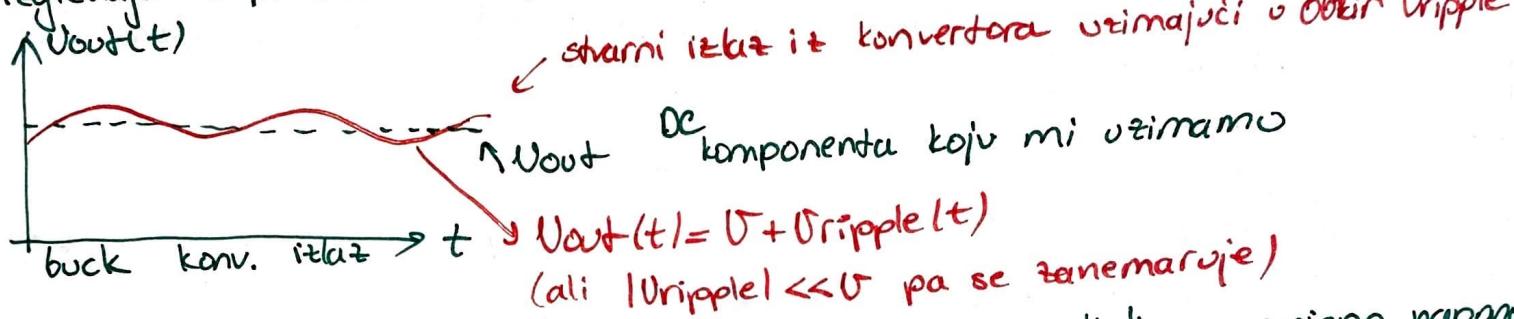
SIGNALI OD ZNACAJA:



Inverzno
polarsava
⇒
struja nula

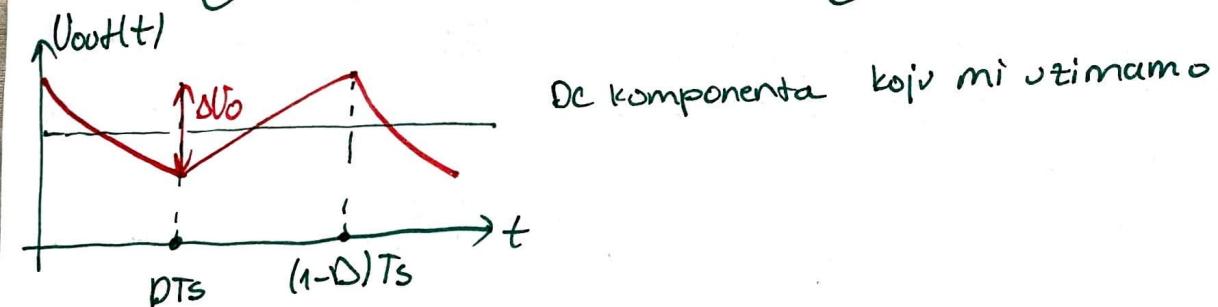
3. Talasanje izlaznog napona kod buck i boost konvertora. Uticaj parazitnih elemenata kod ovih konvertora, šta ograničavaju?

Talasanje kod buck pretvarača je posljedica $V_{ripple}(t)$ napona, koji se ne može ukloniti i atenuirati pomoću low-pass filtera kod buck konvertora. Međutim dobro dizajniran konvertor će imati vrijednost napona $V_{ripple}(t)$ reda nekoliko desetina mV pli 1% ukupnog izlaznog napona, $V_{ripple}(t)$ je posljedica prekidačke komponente u ovim konvertorima. $V_{ripple}(t)$ se uglavnom zanemaruje, a stvarni izlazni naponi buck u vremenu razgledaju slično ovako:



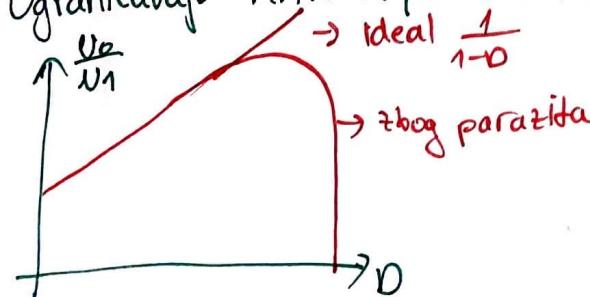
Kod boost konvertora talasanje izlaznog napona je posljedica promjene napona na kondenzatoru prilikom uključivanja i isključivanja prekidača.

$$\Delta U_o = \frac{\Delta Q_{real.}}{C} = \frac{1}{C} \cdot I_o \cdot t_{on} = \frac{U_o}{R} \cdot \frac{D \cdot T_s}{C}$$



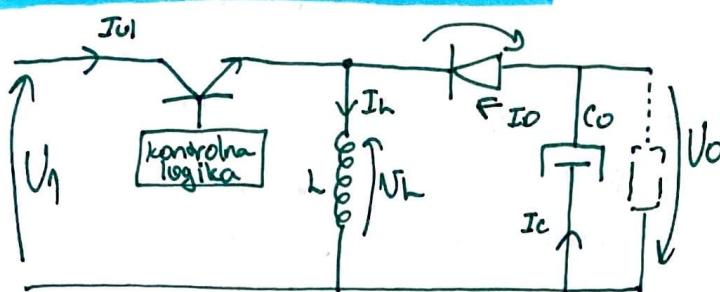
Obično se za realizaciju ovih konvertora koriste MOSFET prekidači koji imaju parazitnu otpornost dok su uključeni i parazitnu anti paralelnu diodu kada su isključeni. Takođe diode bi trebalo imati brzo vrijeme „opravka“ najčešće se koriste šotki diode. Takođe prigušnica ima svoju otpornost R_{oc} kada struja teče kroz nju. Ovi paraziti ograničavaju efikasnost pretvarača. Imamo staticke gubitke I^2R i dinamičke gubitke prilikom „switchinga“, tj. rada konvertora. Uticu na kvalitet izlaznog napona.

Ograničavaju MAX vrijednost izlaznog napona



uticu na izlazni napon
odnos napona počinje opadati kada je $D > 1$

4) Buck Boost konvertor. Princip rada, signali u kolu od interesa. Razlika između kontinualnog i diskontinualnog režima rada. Formula za izlazni napon u kontinualnom režimu rada.



Princip rada:

Kada je prekidač Q uključen (t_{on}), napon prigušnice struja raste. Porast struje je:

$$\Delta I_L = -\frac{U_0(1-D)}{L \cdot f}$$

Maksimalni porast struje je kad je faktor ispunе D što vedi. $D=1$ se ne može doći jer bi to bio kratak spoj za izvor napajanja.

Kada se prekidač isključi (t_{off}), energija iz prigušnice se oslobođa. Struja prigušnice se smanjuje i napaja opterećenje. Uključivanjem prekidača proces se ponavlja.

Pri pozitivnom ulaznom naponu, izlazni je negativan. Kondenzator C_0 služi za peglanje izlaznog napona. Buck-Boost omogućava na izlazu napone više ili niže od ulaza.

Izlazni napon u kontinualnom režimu rada je

$$ON: \quad U_L = U_L, \quad U_L = L \frac{dI_L}{dt}$$

$$\Rightarrow \Delta I_{LON} = \frac{U_L}{L} t_{on} = \frac{U_1}{L} t_{on}$$

$$OFF: \quad U_O + U_{diode} = -U_L$$

$$U_L = -U_O, \quad U_L = L \frac{dI_L}{dt}$$

$$\frac{dI_L}{dt} = -\frac{U_O}{L}$$

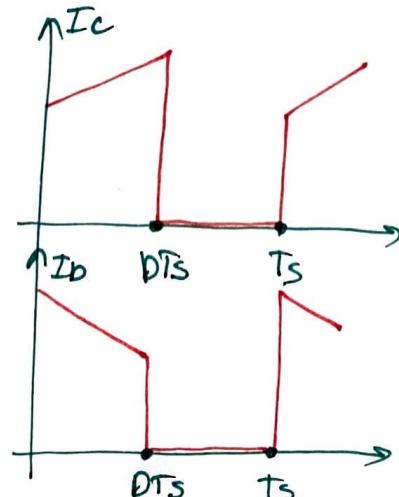
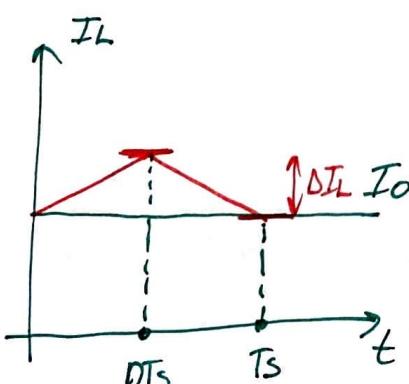
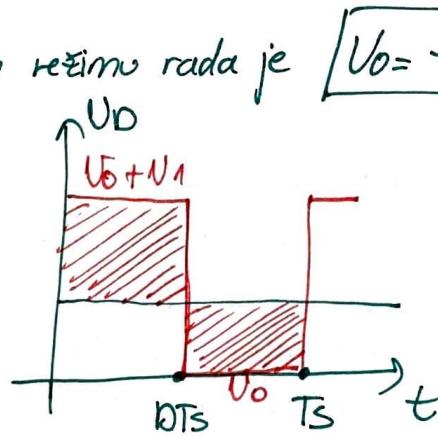
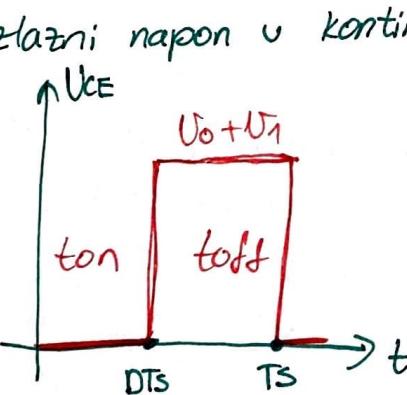
$$\Delta I_{loff} = -\frac{U_O}{L} t_{off}$$

$$\Delta I_{ton} + \Delta I_{loff} = 0$$

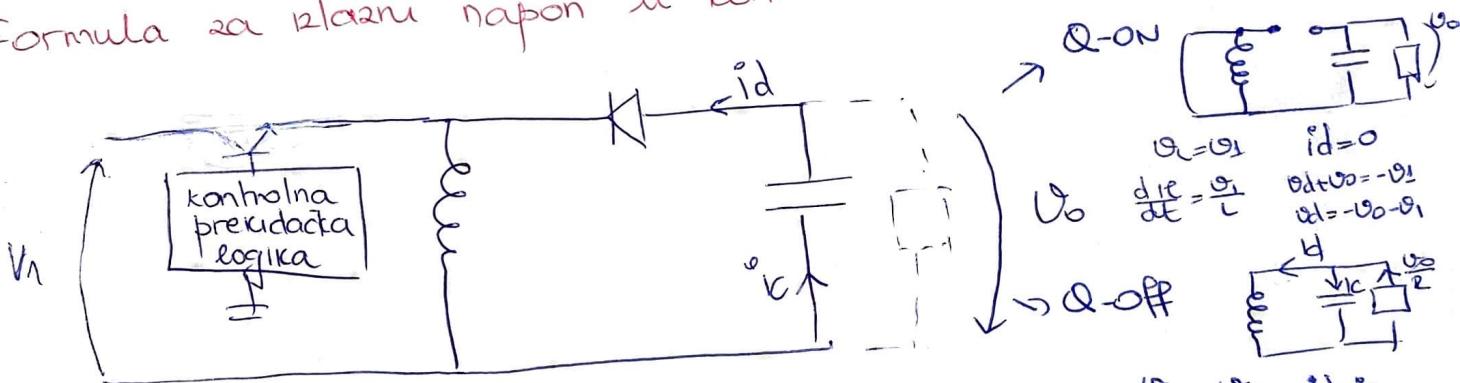
$$\frac{U_O}{L} DT - \frac{U_O}{L} (T - DT) = 0$$

$$\frac{U_O}{L} D T - U_O D + U_O D - 0 \quad U_O = \frac{U_0(1-D)}{D}$$

dok



4. Buck Boost konvertor. Princip rada, signali u kolu od interesa.
 Razlika između kontinualnog i diskontinualnog režima rada.
 Formula za izlazni napon u kontinualnom režimu rada.



Daje negativan napon u odnosu na masu

PRINCIPI RADA: Nasmenično uključivanje/isključivanje prekidača

1) Uključen prekidač: Tada je napon na pnušnici jednak (tou-vremenski) ulaznemu naponu. Tada stvaraju se sledeći period uključenosti prekidača

$$V_L = V_1, \quad V_L = L \frac{dI_L}{dt} \Rightarrow \frac{dI_L}{dt} = \frac{1}{L} V_L = \frac{V_1}{L} \Rightarrow \Delta I_{LON} = \frac{V_1}{L} \Delta t_{ON}$$

2) Isključen prekidač: Energija iz pnušnice se osloboda.
 (toff-vreme
 isključenosti
 prekidača)
 Struja pnušnice se smanjuje i napaja opterećenje

$$V_L - \underbrace{V_{diode}}_{\approx 0} - V_0 = 0$$

$$V_L = -V_0, \quad V_L = L \frac{dI_L}{dt} \Rightarrow \frac{dI_L}{dt} = -\frac{V_0}{L} \Rightarrow \Delta I_{Loff} = -\frac{V_0}{L} t_{off}$$

KONTINUALNI REŽIM RADA: Struja kroz pnušnicu nikada ne je došloći vrednost od 0A $\Rightarrow \Delta I_{Lon} + \Delta I_{Loff} = 0$

$$\frac{V_1}{L} t_{on} - \frac{V_0}{L} t_{off} = 0$$

$$V_{1ton} = V_{0off}$$

$$V_0 = V_1 \frac{t_{on}}{t_{off}} = V_1 \frac{DT}{T-DT} = V_1 \frac{D}{1-D}$$

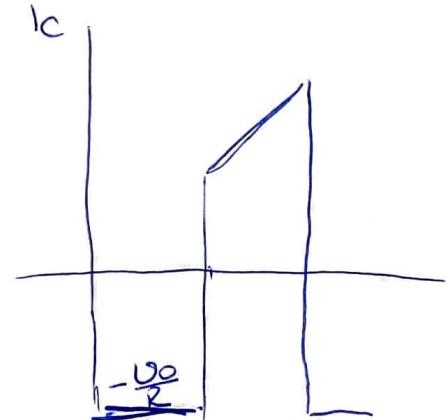
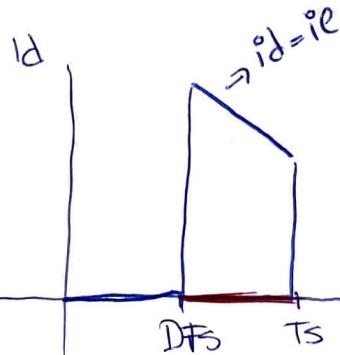
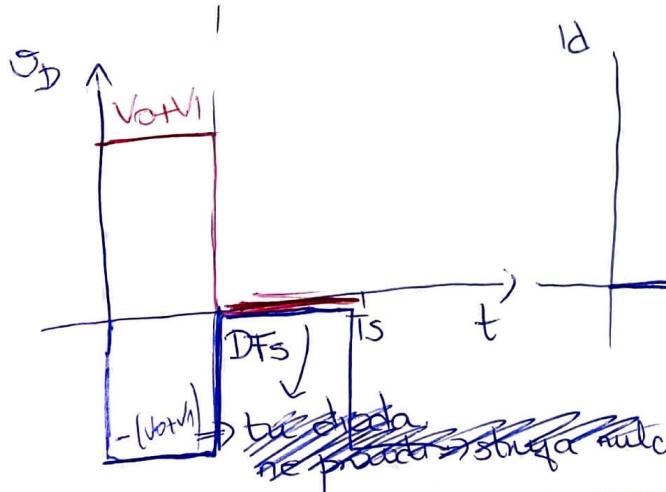
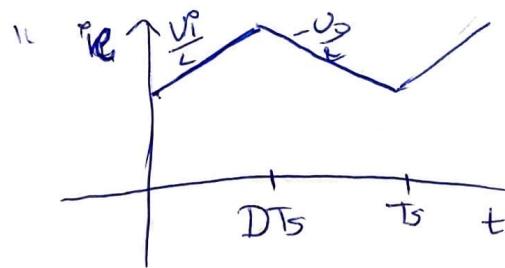
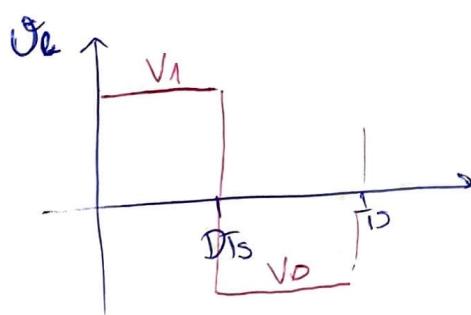
$D < 0.5 \Rightarrow buck$

$D > 0.5 \Rightarrow boost$

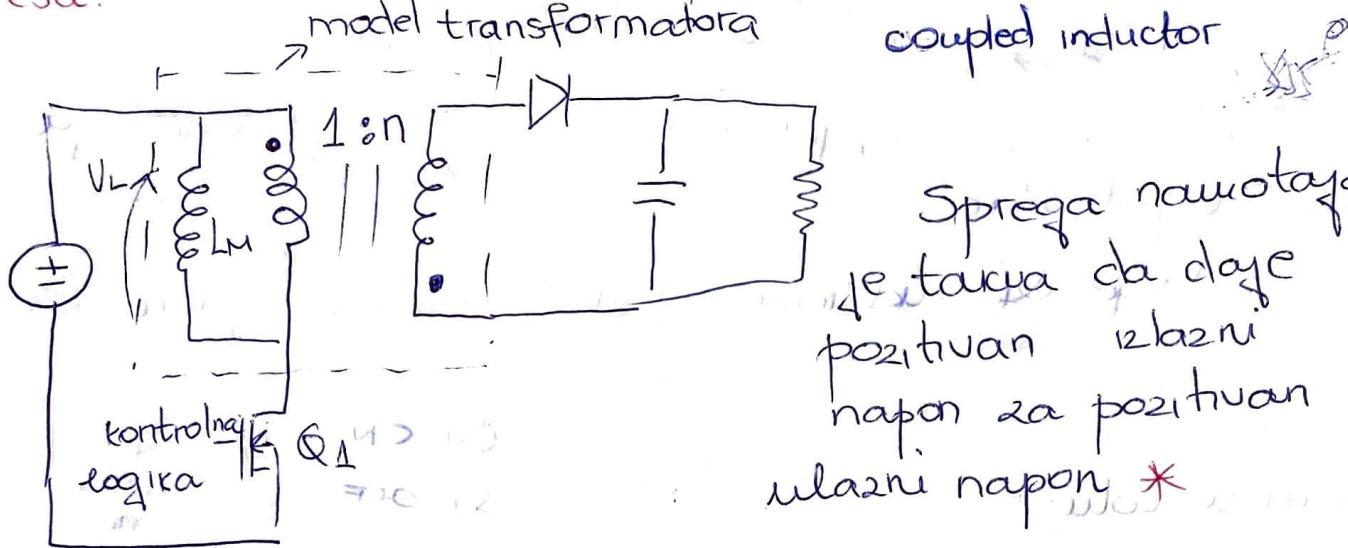
Ovo rado radi
 ili kao buck, ili
 kao boost u
 zavisnosti od
 faktora ispunе

DISCONTINUALNI REŽIM RADA: Sva akumulisana struja u pnušnici se potroši pre nego što se ponovo uveliča

SIGNALI OD ZNAČAJA:

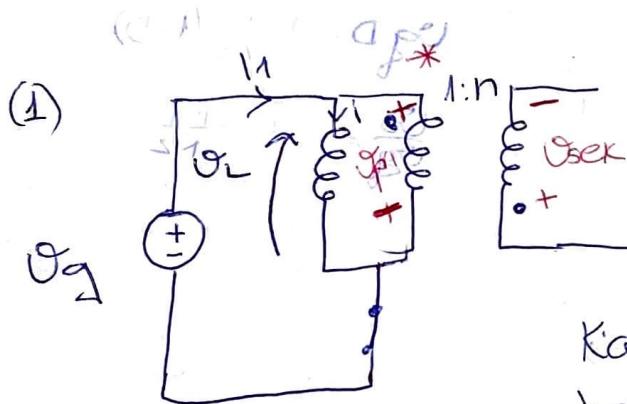


5. Flyback konvertor. Šema, princip rada, signali u kolu od interesa.

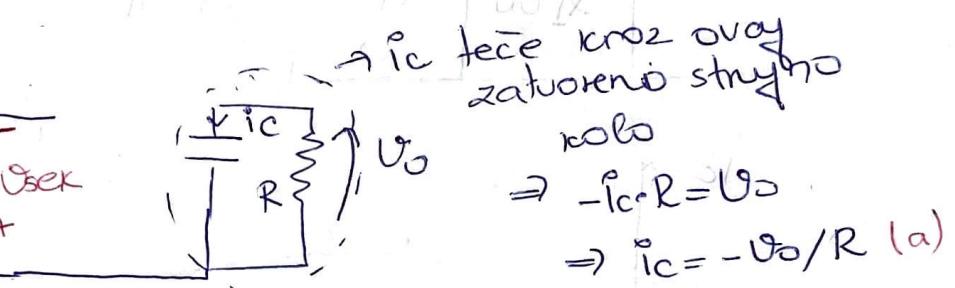


Q_1 . ON - mosfet uključen (1)

Dve mogućnosti $\Rightarrow Q_1$ OFF - mosfet isključen (2)



$$V_L = V_B \quad (c)$$



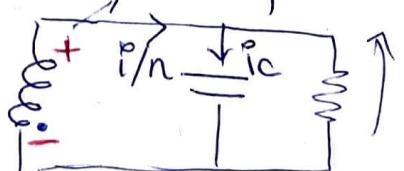
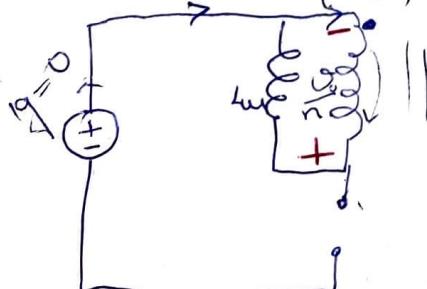
Kako je $-$ povezan na diodu \Rightarrow dioda je inverzno polarisana \Rightarrow ne provodi = preud \Rightarrow nema struje kroz sekundar \Rightarrow nema struje kroz primar $\Rightarrow i_1 = i + i_{pri} = i$

$$i_1 = i = I = \text{const}$$

napon se povećava n puta

$$V_O = -nV_B$$

(2) $i_1 = 0 \rightarrow$ bog preuda dioda provodi



$$\frac{i}{n} = i_C = \text{const}$$

$$\frac{i}{n} = i_C + \frac{V_O}{R}$$

$$\frac{V_O}{n} = -V_L$$

$$i_C = \frac{I}{n} - \frac{V_O}{R} \quad (b)$$

$$V_L = -\frac{V_O}{n} \quad (d)$$

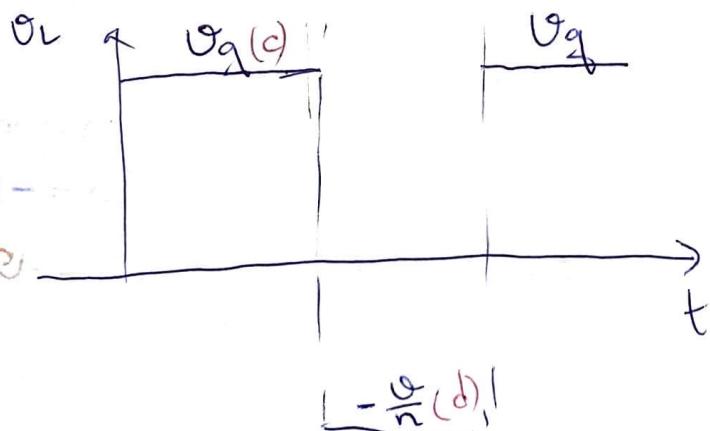
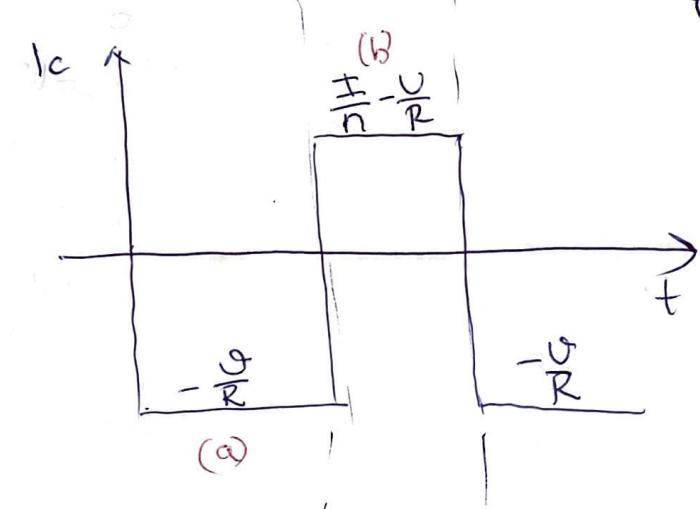
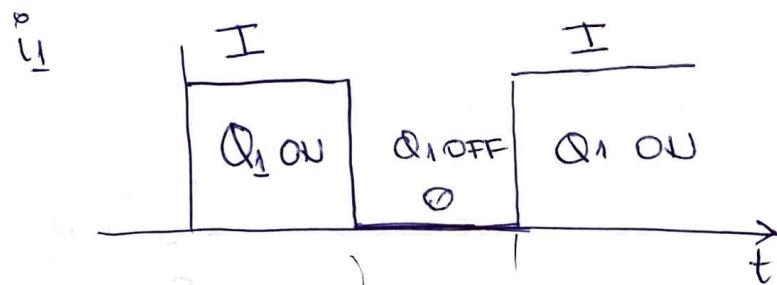
$$i_C \frac{dt}{dt} = V_O$$

Princip rada: Kada je Q_1 uključen, skladisti se energija u L_{uu} i ~~takao~~

Kada se isključi Q_1 , provede dioda, pa se energija troši na potrošač.

Tj. Kada je Q_1 uključen, skladisti se energija u L_{uu} ,

Signali u vremenu:



$$Q_1 - \text{ON} \quad V_L = V_g \\ Q_1 - \text{OFF} \quad V_L = -\frac{V_g}{n}$$

$$V_g \cdot t_{on} = \frac{Q_1}{n} \cdot t_{off}$$

$$V_g D T = \frac{Q_1}{N_1/N_2} \cdot (1-D) T$$

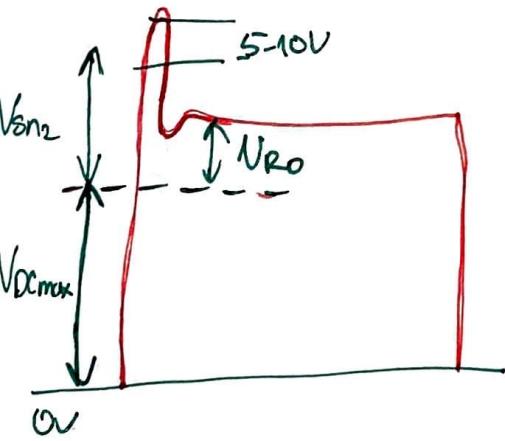
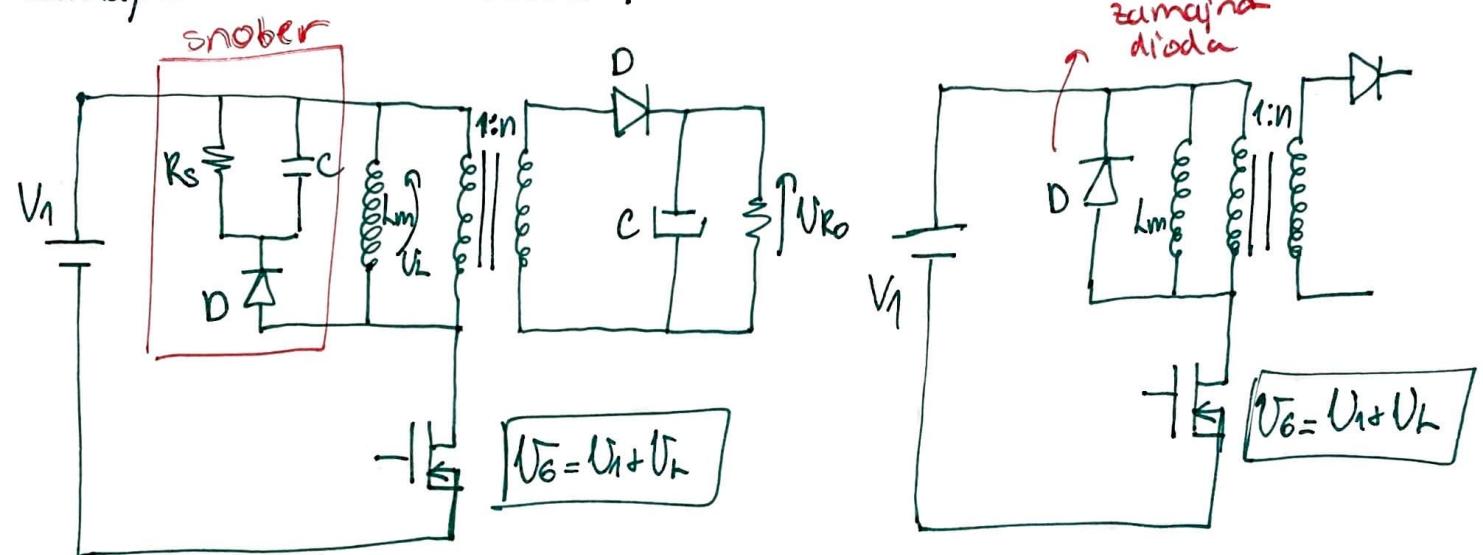
$$V_g D = \frac{V_g}{N_1/N_2} (1-D)$$

$$\frac{Q_1}{V_g} = \frac{D}{1-D} \cdot \frac{N_1}{N_2}$$

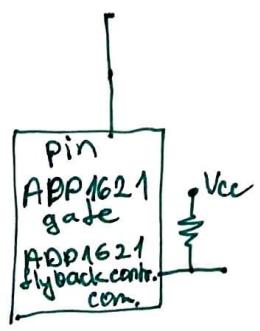
6. Fly back konvertor. Snaber u fly back konvertorima, signali u kolu od interesa. Povratna sprega realizovana pomocu optokaplera, princip rada.

Snaber su veoma važni u flyback konvertorima, snaber ne dozvoljavaju mogućnost pregorijevanja dranizistora (prekidačke komponente) i tзв. "overshoot" dranizistora i napona na njemu. Pogotovo ako koristimo šokki diode, skoro pa neophodno je imati snaber kolo za zaštitu dranizistora.

Primjer RCD snabera u flyback transformatoru i primjer daodenja zamajne diode kao snaber.



signal od interesa je Mosfet drain voltage i snaber kondenzator napon.



Pomoću R_1 i R_2 naponskog razdjeljivača pravi se feedback koji se galvanski odvaja od flybacka optokaplerom i prenosi se informacija na Comp pin ADP1621 gdje se upravlja gejtom.

7 Galvanska izolacija u povratnoj sprezi kod prekidackih konvertora.

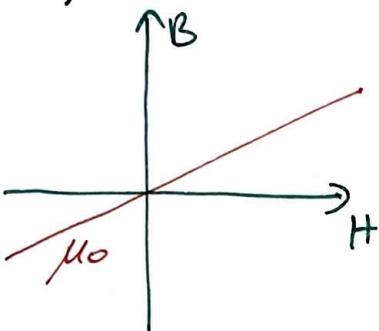
Tipovi, opis rada.

Galvanska izolacija povratne sprege se može izvršiti na nekoliko načina od kojih su neki:

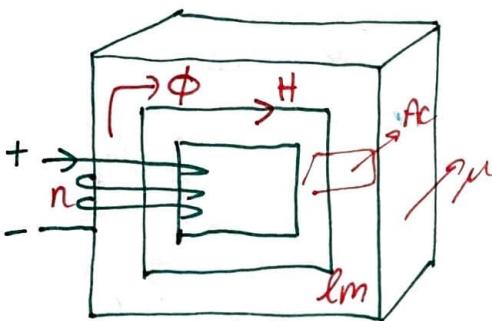
- ① Korišćenje mjerljivog namotaja sa cener diodom kao referentnim naponom i onda pojačivacem greške koji odbazi na određeni pin 2T8315 čipa kako bi se izvršila popravka.
- ② Može se izvršiti pomoću PWM kontrolera napajanog od strane ulaza, koji prima signal sa izlaza te projekcije PWM signal koji utiče na kontrolnu logiku konvertora.
- ③ Korišćenje optokaplera i odgovarajućeg drajvera određenog konvertora kako bi se stalno vršio monitoring i optokapler bi reagao kada napon na naponskom razdijeljniku se ne poklopi sa zadatim referentnim naponom.
- ④ Foothill-or (FPS) power prekidač koji koristi pomoćni namotaj flyback transformatora da prati određene vrijednosti napona i struje i darcaguje U principu povratna sprega ili Feedback loop je tu da stalno vrši monitoring trenutnog izlaznog napona. Ako se iz nekog razloga naruši vrijednost izlaznog napona (stavimo snižen potrošač) to će registrirati neki od gore navedenih tipova povratne sprege i shodno tome će poreći npr. faktor ispunе konvertora u cilju održavanja napona na izlazu.

8) Induktor (bez projekta u jezgru). B-H histerezis, proračun napona na induktoru i induktivnosti induktora. Saturacija induktora.

$$B = \mu_r \cdot H$$



B-H histerezis vrednoga



lm - srednja linija

$$\Phi = B \cdot A$$

induktivnost induktora

$$Hl(t) \cdot lm = n \cdot i(t)$$

saturacija induktora

$$B = \begin{cases} B_{SAT} & \text{za } H \geq \frac{B_{SAT}}{\mu} \\ \mu H & \text{za } |H| < \frac{B_{SAT}}{\mu} \\ -B_{SAT} & \text{za } H \leq -\frac{B_{SAT}}{\mu} \end{cases}$$

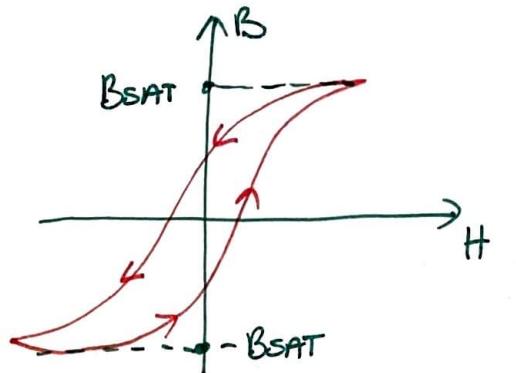
$$I_{SAT} = \frac{B_{SAT} \cdot lm}{\mu n} \quad \text{za } |I| < I_{SAT}$$

$$V(t) = \mu n A c \frac{dt(t)}{dt}$$

$$V(t) = \frac{\mu n^2 A c}{lm} \cdot \frac{di(t)}{dt}$$

$$V(t) = L \cdot \frac{di(t)}{dt}$$

$$L = \frac{\mu n^2 A c}{lm}$$



$$J(t) = H(t) \cdot lm = i(t)$$

B-H histerezis tipičnog jezgra induktora

$$\Phi = B \cdot Ac \rightarrow \text{poprečni presjek}$$

napon

$$U_{namotaja}(t) = \frac{d\Phi(t)}{dt}$$

$$U(t) = n \cdot U_{namotaja}(t)$$

$$U(t) = n \frac{d\Phi(t)}{dt}$$

$$U(t) = n \cdot Ac \cdot \frac{dB}{dt} \rightarrow \text{sliks}$$

↓ boji namotaja

$$\Phi = B \cdot Ac$$

$$B = \mu \cdot H$$

SATURACIJA INDUCTORA

$$I(t) = nAc \frac{dB}{dt} \quad [B = \mu_r H]$$

$$I(t) = nAc \frac{d(\mu_r H)}{dt}$$

$$I(t) = n \mu_r A c \frac{dH}{dt} \quad [H = \frac{n_i(t)}{lm}]$$

$$I(t) = n \mu_r A c \frac{d(n_i(t))}{dt}$$

$$I(t) = \underbrace{n^2 \mu_r}_{L} A c \frac{di(t)}{dt}$$

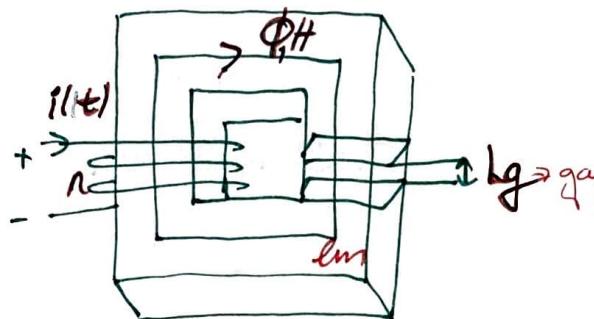
$$I(t) = L \frac{di(t)}{dt} \quad [L = \frac{n^2 \mu_r}{lm}]$$

ovo važi tada

9) Induktor sa prnjepom u jezgru magnetnih komponenti. Osnovni koncept, proračun napona na induktoru i induktivnosti induktora. Šta se dobija ubacivanjem prnjepa.

Koncepti su:

- 1) da smanjen uticaj μ na h , tj. smanjenje uticaja radne tačke i temperature.
- 2) povećava se max struja kalemna



$$F_c + F_g = n_i$$

10)

$$R_c = \frac{B_c}{\mu_0 A_c}$$

→ reluktans jezgra i vazduha

$$R_g = \frac{lg}{\mu_0 A_c}$$

Ampere zasao $\oint H dl = \frac{\sum I}{n_i}$

$$\begin{aligned} B &= \mu H \\ \phi &= B \cdot A_c \end{aligned}$$



$$n_i = \phi (R_c + R_g)$$

$$\phi = \frac{n_i}{R_c + R_g}$$

$$11) V(t) = n \cdot \frac{d\phi(t)}{dt}$$

$$12) V(t) = n \cdot \frac{n}{R_c + R_g} \cdot \frac{dI(t)}{dt}$$

$$13) V(t) = \frac{n^2}{R_c + R_g} \cdot \frac{dI(t)}{dt}$$

napon

$$H_{lc} + H_{glg} = n_i$$

$$\frac{B_c \cdot l_c}{\mu} + \frac{B_g \cdot l_g}{\mu_0} = n_i$$

$$\Rightarrow \frac{\phi}{A_c \mu} \cdot \frac{l_c}{R_c} + \frac{\phi}{M_0 A_c} \cdot \frac{l_g}{R_g} - n_i \Rightarrow \phi (R_c + R_g) = n_i$$

$$\Rightarrow \phi = \frac{n_i}{R_c + R_g}$$

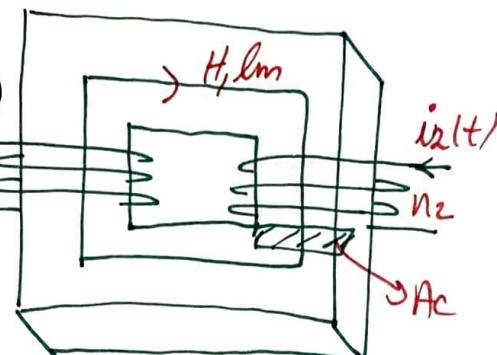
$$L = \frac{n^2}{R_c + R_g}$$

induktivnost

Ubacivanjem prnjepa dobijamo: veću struju saturacije, ali se smanjuje induktivnost, smanjuje uticaje radne tačke i temperature.

Koncept: Mi sada sa prnjepima možemo da kontrolisemo više stran i lakše rješavamo projektovanje induktora. Jezgra i prnjepi se mogu reprezentovati ekvivalentnim magnetskim kolima.

10) transformator - izvesti model sa induktivnosti magnecjenje. Koncept induktivnosti rasipnosti (leakage inductances). Koeficijent sprege transformatora.



$$R = \frac{lm}{\mu_0 A_c}$$

$$F_C = n_1 i_1 + n_2 i_2$$

- posto ulaze sa iste strane Šupljine

$$\Phi_R = n_1 i_1 + n_2 i_2 \quad F_C = \Phi R$$

U idealnom transformatoru reluktansa R je jednaka nuli \rightarrow bliska nuli.

$$(1) 0 = n_1 i_1 + n_2 i_2 \Rightarrow n_1 i_1 + n_2 i_2 = 0$$

$$(2) V_1 = n_1 \frac{d\phi}{dt}$$

$$V_2 = n_2 \frac{d\phi}{dt}$$

$$(3) \frac{d\phi}{dt} = \frac{V_1}{n_1} = \frac{V_2}{n_2} \Rightarrow V_1 = n_1 \frac{d\phi}{dt}$$

$$(4) \Phi_R = n_1 i_1 + n_2 i_2 \quad / : n_1$$

$$\frac{\Phi_R}{n_1} = i_1 + \frac{n_2}{n_1} i_2$$

$$\frac{\Phi}{n_1} = \frac{(i_1 + \frac{n_2}{n_1} i_2)}{R} \quad / \cdot n_1$$

$$\Phi = \frac{n_1}{R} (i_1 + \frac{n_2}{n_1} i_2)$$

$$\boxed{V_1 = \frac{n_1^2}{R} \frac{d}{dt} (i_1 + \frac{n_2}{n_1} i_2)}$$

$$V_1 = L_m \frac{di_m}{dt}$$

$$\boxed{L_m = \frac{n_1^2}{R}}$$

$$\boxed{i_m = i_1 + \frac{n_2}{n_1} i_2}$$

U praksi postoji određeni dio fluksa koji prezuje jedan namotaj, ali ne i drugi. To se naziva "curenje" rasipnost fluksa u zraku. Ovo dovodi do induktivnosti rasipnosti.

Koeficijent sprege transformatora je :

$$K = \frac{L_{12}}{\sqrt{L_{11} L_{22}}}$$

L_{12} - zajednička induktivnost

L_{11}, L_{22} - samoinduktivnost

$$L_{12} = \frac{n_1 n_2}{R}$$

$$L_{11} = L_{22} + \frac{n_1}{n_2} L_{12}$$

$$L_{22} = L_{12} + \frac{n_2}{n_1} L_{12}$$