

## 11) Gubici u jezgru magnednih komponenti. Prednosti i mane različitih tipova jezgara.

Za magnetizaciju jezgra potrebna je energija, ali utrošena energija za magnetizaciju se jednim dijelom gubi u vidu toplote zbog amperovih struja. Gubici su veći što je dekrenacija struje koja vrši magnetizaciju veća.

Tipovi jezgara:

- 1) metalni (čelik)
- 2) feritna jezgra
- 3) amorfni metalni
- 4) powdered jezgra

Ulijek se vrši kompromis pri biranju jezgra.

### ① METALI:

Njihovo  $B_{saturacije}$  je veliko  $1,5-2 \text{ T}$ , što znači da mogu podnijeti veću struju u namotajima, ali zbog male otpornosti ovih materijala gubici u jezgru su veliki i uzrokovani su amperovim strujama. Ova metalna jezgra se koriste za filterske induktore i nisko frekventne transformatore.

### ② FERITNA JEZGRA:

To su keramički materijali koji imaju malu vrijednost saturacije magnetskog fluisa  $B_{sAT} = 0,25-0,5 \text{ T}$ . Otpornost je mnogo veća, a samim tim i gubici uslijed magnetskih struja. Ovakva jezgra se koriste kao induktori i transformatori u konvertorima sa radnim frekvencijama  $f = 10 \text{ kHz} - 1 \text{ MHz}$ .

### ③ AMORFNI METALI:

Ispoljavaju male histeretsione gubitke. Pravodnost jezgra i gubici uslijed amperovih struja su manji od metalnih jezgara ali veći od feritnih jezgara.  $B_{sAT} = 0,6-1,5 \text{ T}$

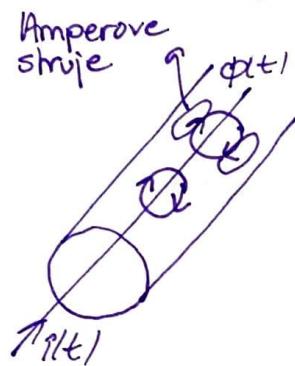
### ④ POWDERED JEZGRA:

Nastaju ubacivanjem malih čestica feromagnednih materijala u metalne legure tako da se smanje amperove struje. Njihovo  $B_{sAT} = 0,6-0,8 \text{ T}$ . Izolacioni materijal u ovakvim jezgrima se ponaša kao vazdušni precjep te samim tim ova jezgra imaju relativno malu permeabilnost. Koriste se za transformatore frekvencije nekoliko kHz i filter induktore pri frekvencijama od 100 kHz (prekidačka napajanja).

## 12. Površinski (skin) efekat i efekat blizine (proximity effect) u namotajima, objasniti koncept.

### SKIN EFEKAT:

Raspodjela struje unutar provodnika se može pronaći rješenjima Makswelovih jednačina, rezultat ovih jednačina je da je najveća gustoća struje zapravo na površini provodnika. Gustina struje eksponencijalno opada kako se približava centru provodnika.  $\delta$  predstavlja dubinu prodiranja ili površinsku dubinu,  $\delta = \sqrt{\frac{S}{\pi \mu_0}}$ ,  $S$ - otpornost



Struja  $i(t)$  u provodniku indukuje fluks  $\phi(t)$  koji za posljedicu ima indukovanje amperovih struja u provodniku. Nastale amperove struje se „opiru“ struci  $i(t)$  kroz centar provodnika te se one „pomicaju“ na površinu provodnika što predstavlja skin efekat, tj. gustoća struje je najmanja u centru, a najveća na površini provodnika.

### PROXIMITY EFEKAT:

Provodnik kroz koji protiče struja visoke frekvencije uzrokuje gubitke  $I^2 R_{ac}$  u susjednom namotaju (provodniku) prkko efekta blizine.

Kroz provodnik 1 teče struja visoke frekvencije čija je površinska dubina mnogo manja od same debeline provodnika  $1:2 h \ll h$ .

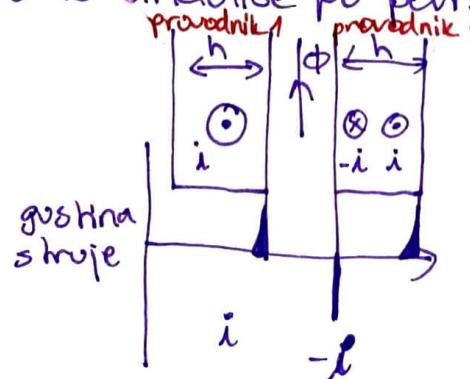
Struja kroz provodnik 1  $i(t)$  stvara magnetski fluks u prostoru između 2 provodnika. Oaj fluks ima tendenciju da prodre u drugi provodnik.

Lenovim pravilom indukuje se struja s takvim magnetskim fluksom suprotnim od fluksa struje kroz provodnik 1.

Ako su provodnici veoma blizu, indukovana struja će biti skoro istog intenziteta ali su suprotnog smjera kao struja kroz provodnik 1. Novonastala struja u provodniku 2 cirkulira po površini provodnika 2.

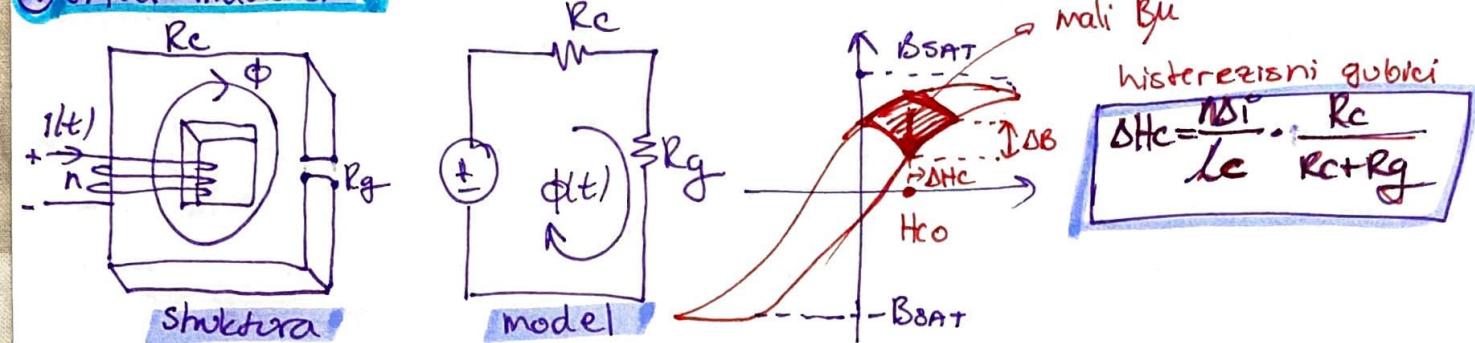
$$R_{ac} = \frac{h}{S} R_{dc}$$

$$P = I^2 r_{rms} \cdot R_{ac}$$



13. Filterska induktivnost (koja radi u CCM), AC induktor, transformator, fly back transformator. Za svaki opis struktura, model, BH-krive, gubici u jezgru i bakru.

#### 1. Filter induktor

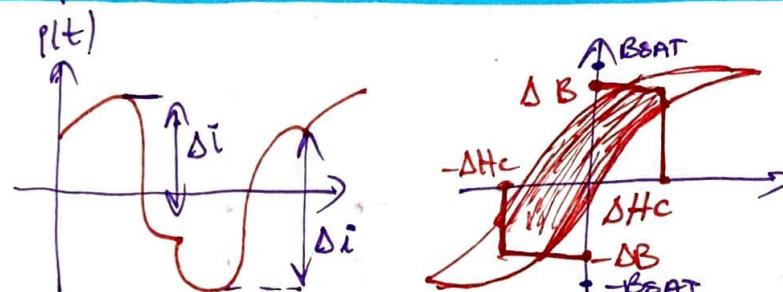
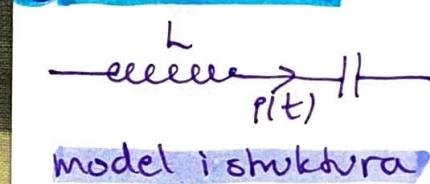


Gubici u jezgru su zanemarjivi - proximity efektom.

Gubici u bakru zavise od rms induktivnog strujnog "ripple-a".

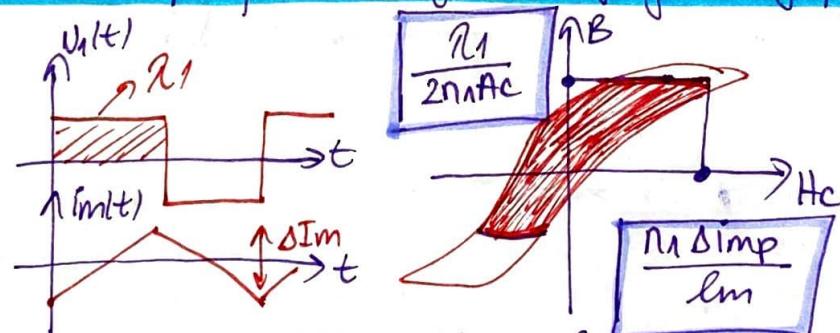
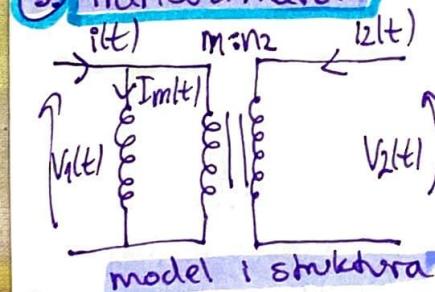
Tačnije zavise od DC komponente  $I$ .

#### 2. AC induktor



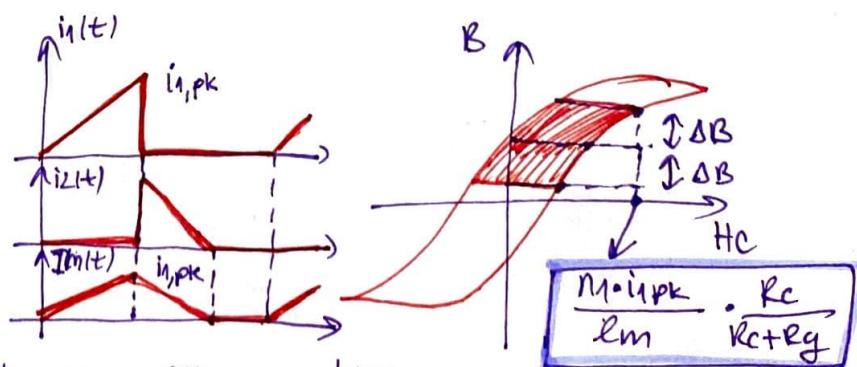
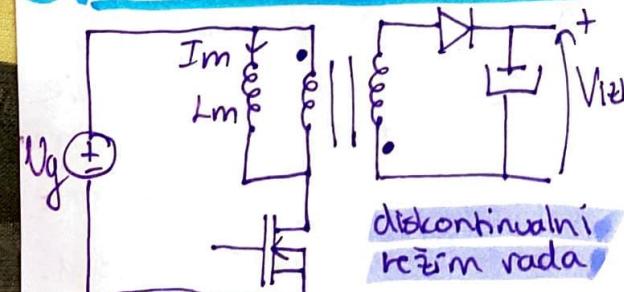
Varijacije visokofrekventne struje su velike što za posljedicu ima veliku  $B(t)$  -  $H(t)$  → histeretiznu petlju. Veliki gubici u jezgru zbog proximity efekta.

#### 3. Transformator



Značajni gubici u jezgru su zbog proximity efekta. Gubici u bakru nijesu toliko značajni, ali su važni prilikom projektovanja.

#### 4. FLYBACK transformator



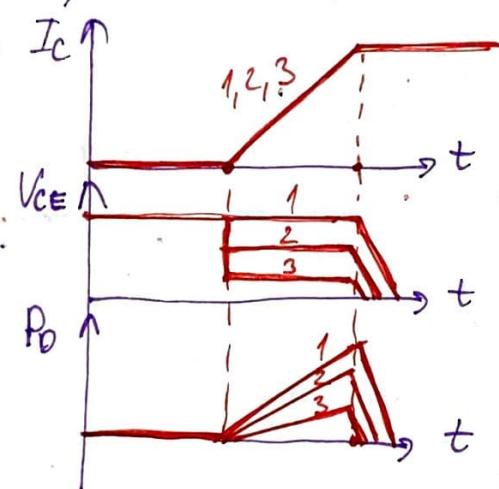
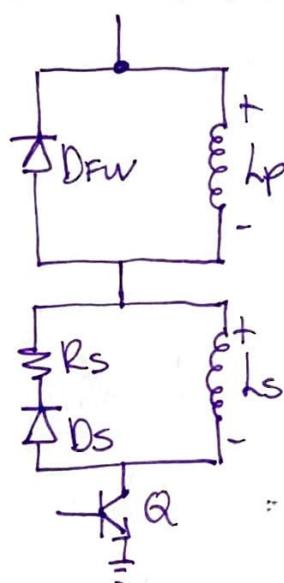
U kontinualnom i diskontinualnom režimu gubici u jezgru su značajni zbog proximity efekta. Ali u DCM gubici u jezgru su veći nego u kontinualnom režimu.

14. Kola za uobičajavanje radne karakteristike potrošača (Snaber kola). Strujni snaber, naponski snaber, prenaponski snaber. Princip rada, signali u kolu od interesa.

Strujni snaber (relaksira uključivanje prekidača)

Snaber kola smanjuju dinamičku disipaciju snage i smanjuju naponsko opterećenje komponente u kritičnim fazama rada.

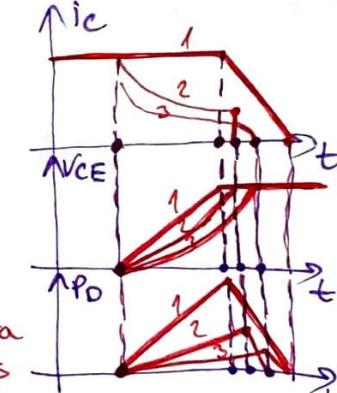
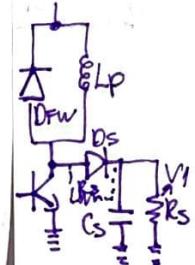
Princip rada: Strujni snaber se vežuje redno sa kolektorom i redno sa potrošačem u ovom slučaju  $L_p$ . Omogućava brzo uključivanje tranzistora. Kada tranzistor ne pravodi struja kroz  $L_p$  se zatvara kroz zamajnu diodu  $D_{FW}$ . Induktivnost  $L_s$ , čija je početna struja  $0$  u kolu snabera omogućava da napon kolektora bude manji prije nego što struja znatljivo poraste. Vrijednost  $L_s$  je mala da ne temeti rad kola, a pod naponu na  $L_s$  smanjuje disipaciju snage tranzistora prilikom uključivanja. Otpornik  $R_s$  se dodaje radi trećeg pražnjjenja akumulisane energije u  $L_s$ , po isključivanju tranzistora.



① bez induktivnosti  $L_s$

② sa manjom induktivnošću  $L_s$

③ sa velom induktivnošću  $L_s$



Naponski snaber (RCO)

snaber

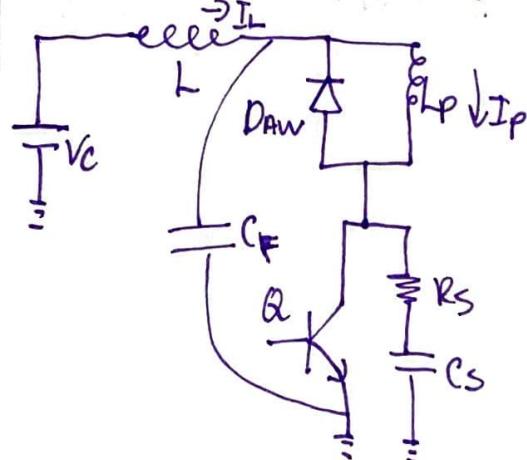
Naponski snaber se vežuje paralelno sa prekidačem i pomože smanjiti disipaciju tranzistora prilikom isključivanja. Struje ode na drugu stranu prije nego što zamajna

Uvodi se  $C_s$  koji predstavlja kapacitativno opterećenje kolektora i učini uvećanje naponja srazmjerno brzini porasta naponja na kolektoru. Za vrijeme isključenog stanja tranzistora  $C_s$  se napuni na  $V_{CC}$  i zamajna dioda provode. Kada zamajna dioda pređe napon kolektora se ne mijenja prije ponovnog isključivanja. Da ne potoji  $D_s$  u uključivanju tranzistora struja iz  $C_s$  bi preopterećivala tranzistor. Otpornik  $R_s$  se dodaje kako bi se  $C_s$  uspio isprazniti ali sa svijom koja neće tražiti opterećivati tranzistor.  $R_s$  treba biti što veći da bi  $J = R_s C_s$  bilo veće i manje opterećilo tranzistor.  $C_s$  se isprazni skroz od ponovnog isključivanja tranzistora.

Continental

5. Kola za uobličavanje radne karakteristike potrošača (snaber kola).  
Prenaponski snaber, diodni snaber. Princip rada, signali u kolu od interesa.

Prenaponski (RC) snaber je kolo za disipaciju energije koja je akumulisana u parazitnoj induktivnosti  $L$  u kolu potrošača, prilikom isključivanja prekidača spriječava pojavu prenapona na prekidaču.

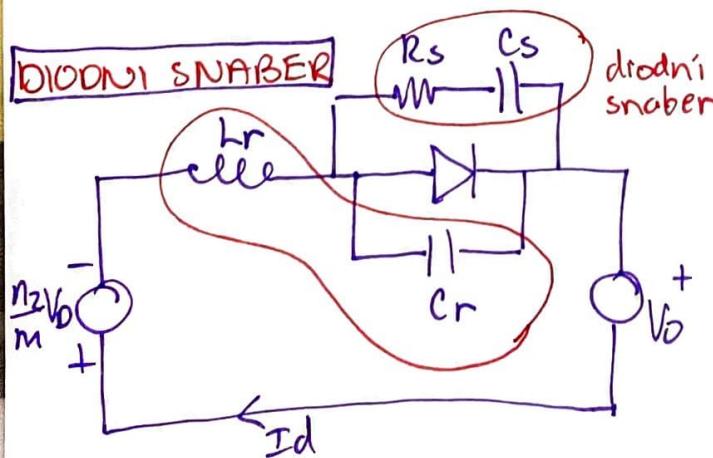
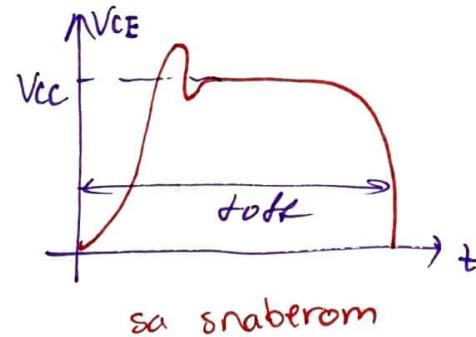
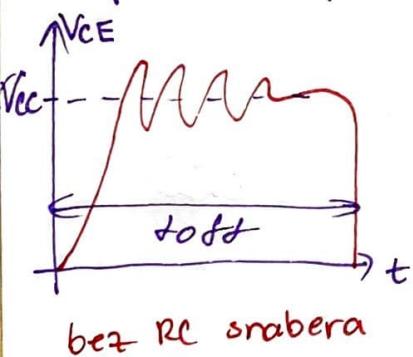


RC snaber smanjuje oscilacije uzrokaane između parazitne  $L$  i parazitne  $C_F$  između krajeva prekidača.

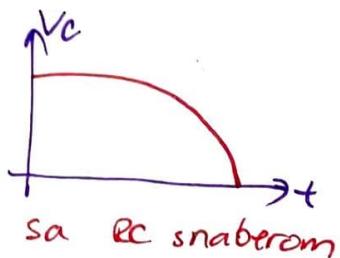
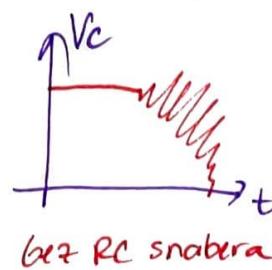
U kontinualnom režimu isključen  $Q$ , u slučaju da postoji parazitna komponenta potrošača  $L$  koja nije premostena diodom koristi se RC snaber. Prebrzim isključivanju prekidača zbog snaber kola

$$V_{CE(0^+)} = R_s \cdot I_L(0^+) + V_{CS(0)} = R_s I_p \Rightarrow V_{CE(0^+)} = R_s \cdot I_p$$

Kada tranzistor provodi  $I_L = I_p$ . Kada se isključi prekidač  $Q$  struja nastavlja da teče kroz snaber kolo, pravi pad napona na  $R_s$ , a početni napon  $C_s$  je oko nule. Struja u asimptotskom slučaju pada na nulu, a napon na prekidaču se ustali na  $V_{CC}$ .



RC diodni snaber omogućava gasenje diode i spriječava oscilačnje između  $C_F$  i  $L_r$ .

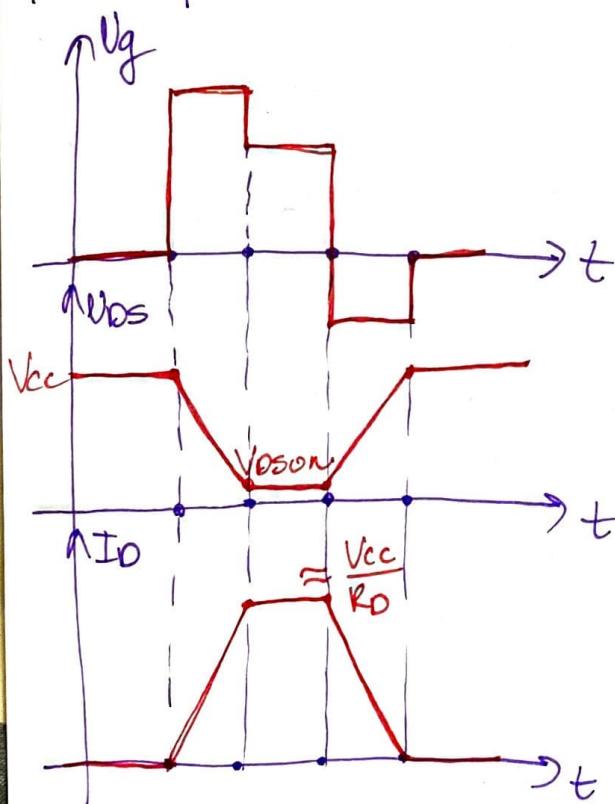


### 16. Optimalno upravljanje mosfetom kao prekidačima.

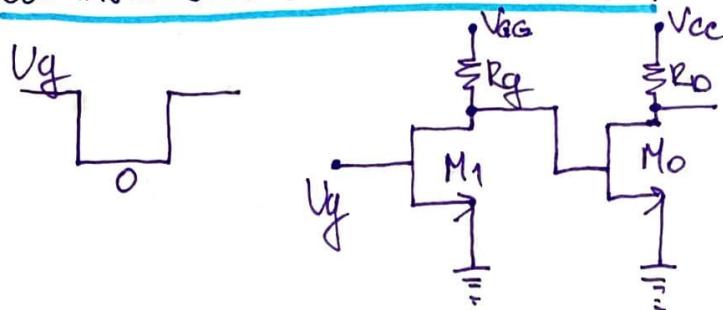
Imamo 4 stvari kojih se trebamo držati prilikom optimalnog upravljanja mosfetom kao prekidačem.

- Prilikom uključivanja potrebna je što veća (jača) struja gejta.
- U uključenom stanju treba održavati napon gejta optimalan u vezi sa padom napona na mosfetu kao prekidaču (ako pada napon na mosfetu smanjimo srazmerno napon gejta).
- Prilikom isključivanja potrebna je što jača negativna struja gejta (da se kanal što prije rasprši, da nestanu nosioci).
- U uključenom stanju održavati napon gejta takav da osigurava sigurno isključeno stanje.

Idealni signali za upravljanje mosfetom kao prekidačem sa otpornim opterećenjem:



17. Direktna sprega mosfetova kao prekidač. Princip rada, signali u kolu od interesa. Prednosti i mane.



Drajver mosfet M<sub>1</sub> direktno je spregnut na gejt mosfeta M<sub>0</sub> kojim upravlja.

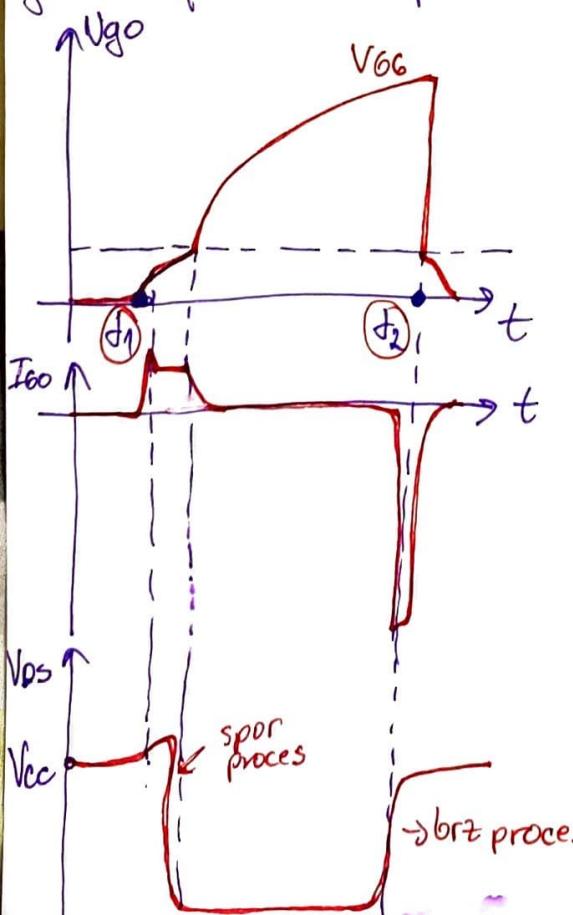
Ulagana kapacitivnost M<sub>0</sub> opterećuje drejn M<sub>1</sub>, koji smanjuje napon gejta M<sub>0</sub>, tj. efikasno ga isključuje. Ali nije efikasno prilikom uključivanja M<sub>0</sub>, pošto je M<sub>0</sub> isključen, a napon gejta raste sporo ka V<sub>cc</sub>, struju ograničava R<sub>g</sub>.

Do trenutka t<sub>1</sub> provodi M<sub>1</sub>, držeći napon gejta M<sub>0</sub> na naponu blizu nule, ispod praga provodenja V<sub>th</sub>. M<sub>0</sub> nepravodan. U t<sub>1</sub> mosfet M<sub>1</sub> se brzo zatoci.

Gejt M<sub>0</sub> se puni iz izvora V<sub>cc</sub>, struju ograničava R<sub>g</sub>. Relativno sporo uključenje M<sub>0</sub>, sa zaraunjivanjem napona gejta tokom glavne promjene napona na drejnu. Napon gejta M<sub>0</sub> se ustali na V<sub>cc</sub>. Ulagana kapacitivnost opterećuje drejn M<sub>1</sub> poslije t<sub>2</sub>, držeći M<sub>1</sub> u saturaciji prilikom uključivanja. Isključivanje je tako brzo jer jaka struja drejna M<sub>1</sub> obezbjeduje jako negativnu struju gejta M<sub>0</sub> i brzo ga isključuje.

Mane: sporo isključivanje mosfeta M<sub>0</sub>

Prednosti: dobra imunost na smetnje, ulagana impedansa mosfeta sprecava generisanje kratkotrajanih impulsnih smetnji na gejtu.



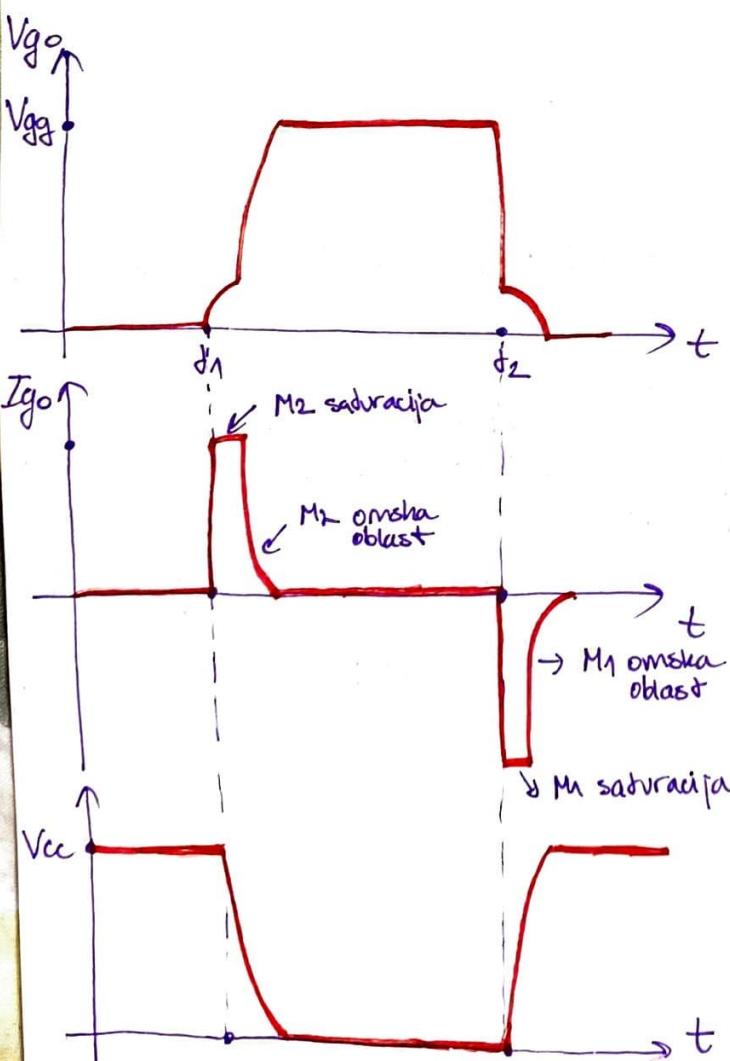
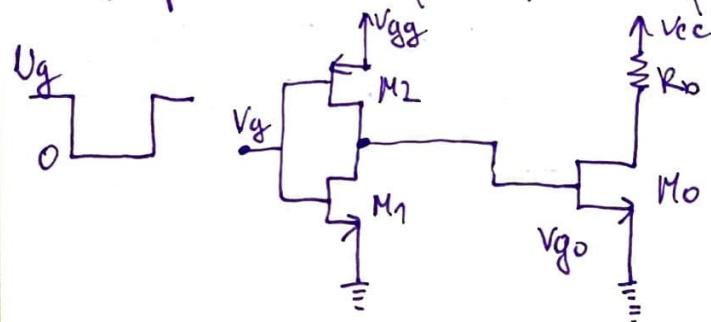
## 18. Puš-pul upravljačko kolo mosfeta. Princip rada, signali u kolu od interesa.

Prednosti i mane.

Glavna mana direktnog sprege mosfeta je sporo uključivanje. To se može popraviti ako se otpornik  $R_g$  zamjeni p-kanalnim mosfetom.

Visok ulazni napon  $V_g$  jednako naponu napajanja  $V_{gg}$  na ulazu uključuje  $M_1$ , a isključuje  $M_2$ . U ustanjenom stanju napon gejta  $M_1$  je  $V_{gg}$ , a napon gejta  $M_2$  je nula.

Niski napon na ulazu  $V_g = 0$  isključuje  $M_1$ , a uključuje  $M_2$ .  $V_{gs2} = -V_{gg}$ . U prelaznim stanjima upravljanog mosfeta  $M_0$ , jedan ili drugi mosfet u drajveru je u saturaciji, kapacitativno opterećen na drežnu dok je drugi zakoćen. Osim se obezbeđuje brzo i uključivanje i isključivanje  $M_0$ . Positivna ili negativna struja  $I_{dd}$ .



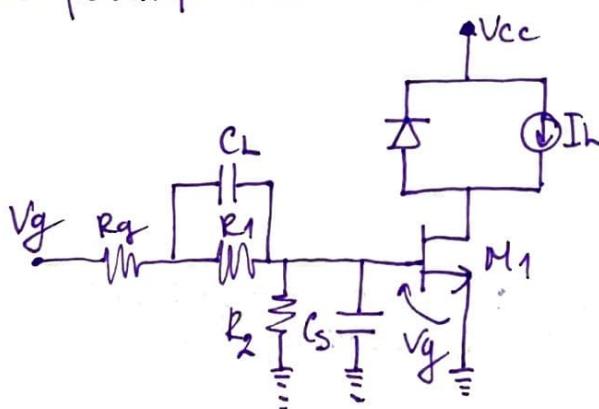
Prednosti: ubrzalo se uključivanje i isključivanje  $M_0$

Mane: dodatan Mos fet

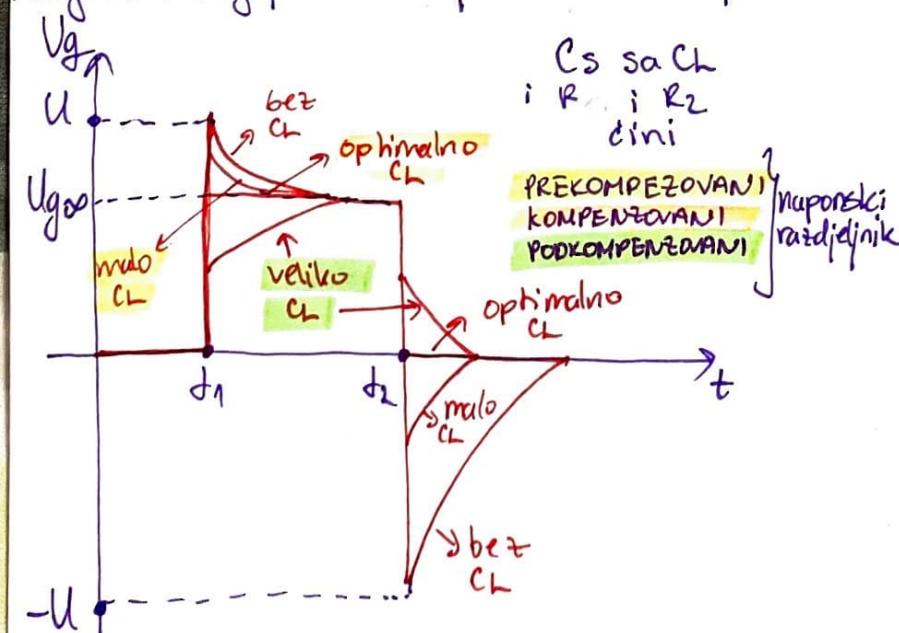
3. Upravljačko kolo mosfeta sa ubrzavajućim kondenzatorom. Princip rada, signali u kolu od interesa. Prednosti i mane.

Kada je neophodno da dissipacija snage bude što manja, mora se osigurati što brže uključivanje i isključivanje mosfeta. To se postiže ubrzavajućim kondenzatorom  $C_s$ .

Prije je pretpostavka da je  $C_s$  prazan pa po uključivanju ulaznog napona i napon gejta mosfeta  $M_1$  skaci na tu vrijednost. (Kratak spoj preko  $C_s$ ). Napon  $U$  se odabere da se mosfet optimalno brzo uključi. Kondenzator  $C_s$  se puni, napon gejta pada na asymptotsku vrijednost  $C_s$ ,  $V_{gas}$  koja obezbeđuje da mosfet i dalje bude provodan u željenom režimu. Nakon isključivanja upravljačkog napona (tj. ov u ovom slučaju), mosfet brzo ulazi u pre režim. Tokom isključivanja kondenzator će forsirati da napon gejta bude manji od ov čime obezbeđuje jaku negativnu struju gejta i brzo isključivanje mosfeta.



Signal na gejtu uzimajući u obzir parametre kola i ulaznu kapacitivnost mosfeta.



$C_s$  sa  $C_L$   
i  $R_1$  i  $R_2$   
čini

Prednosti: veoma konisno kod velikih induktivnih pli visokonaponačkih potrošača.

Ubrzavajući kondenzator onemogućuje postizanje ekstremno malih  $\approx 0$  i ekstremno velikih  $\approx 1$  režima rada.

## 10. Drajverska kola za H-most

Drajverska kola imaju višestruku funkciju npr. uobličavanje impulsa, pojačanje, galvansko odvajanje, strujnu zaštitu.

U zavisnosti od potreba prevarača, pojedina kola mogu imati jednokanalni izlaz, dok za duoimpulsne prevarače koriste se flip-floovi za dobijanje naltmjeničnih impulsa i dvokanalni izlaz.

Većina današnjih IC uključuje sledeće funkcije:

- Kontrada napona napajanja
- referentni napon
- veliku izlaznu struju
- PWM modulator za podrščavanje D, 0-100%
- podesivi oscilator
- soft start
- pojačavač greške
- jedno/dvokanalni rad

Poznata drajverska kola serije IR 21XX

Neka od tih kola su IR2110, IR2113, IR2121, IR2127

Prikaz sema: