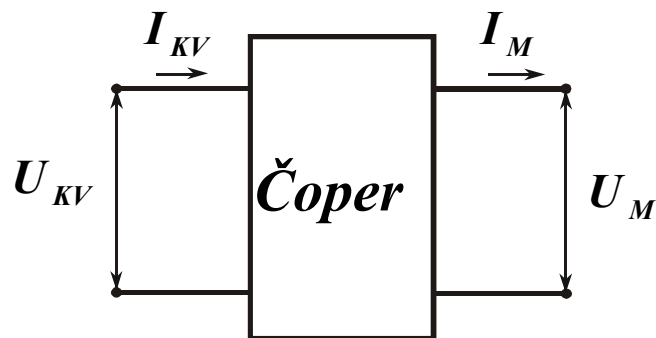
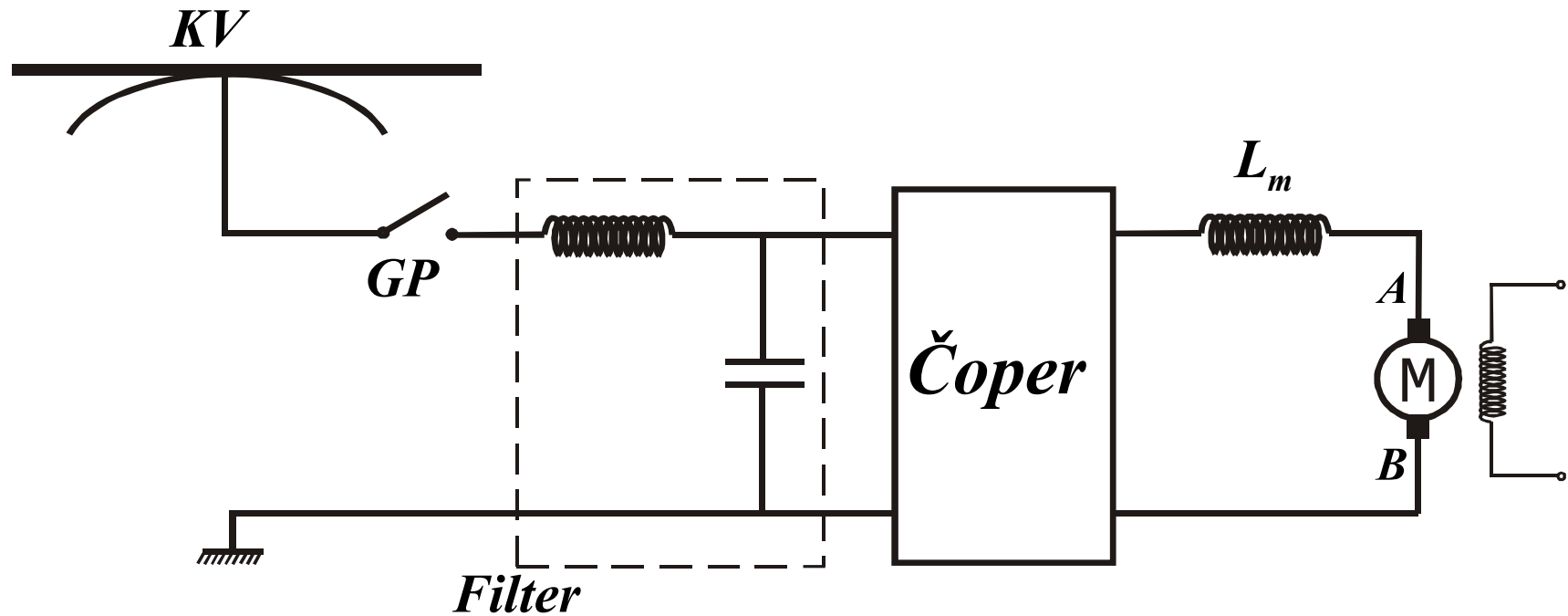


Čoperska regulacija vučne sile



Predavanja iz VUCE

$\eta \rightarrow 1$ (zanemarujemo gubitke u čoperu) $\Rightarrow P_m = P_{kv}$
pri tome je ključna osobina čopera
podešavanje napona bez gubitaka
snage: $U_m \in [0, U_{kv}]$

ČOPER

Spuštač napona "BUCK"

Pošto je $L \rightarrow \infty$ struju možemo smatrati konstantnom!

m - indeks modulacije

$$m = \frac{t_{on}}{T}$$

$$U_i = m \cdot E$$

I_L - struja prigušnice

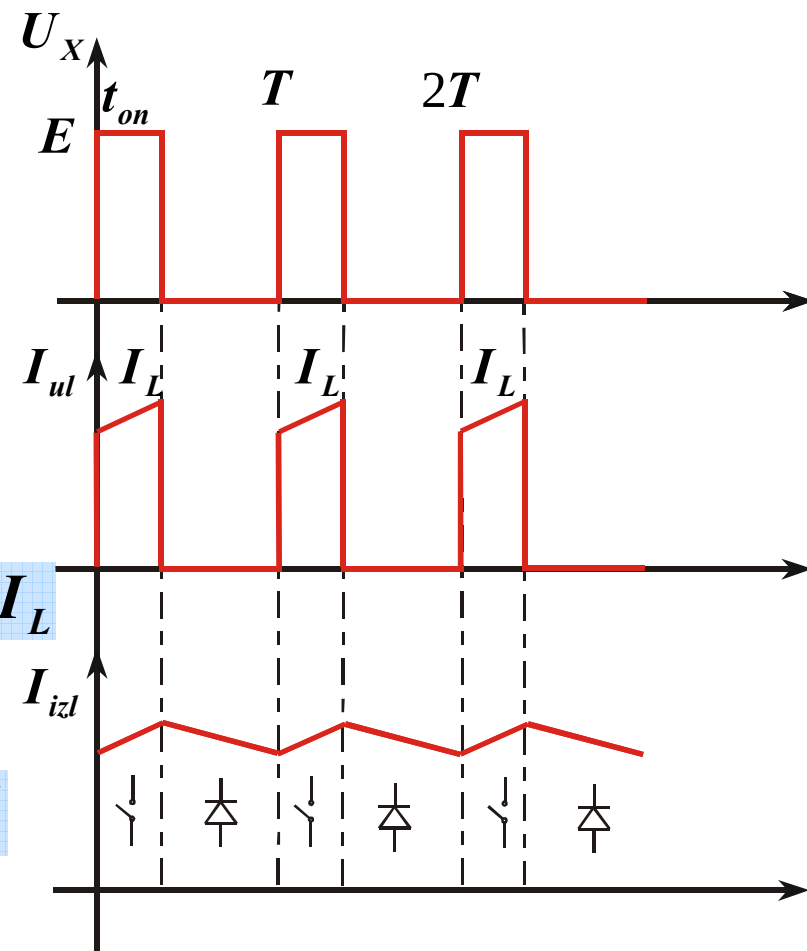
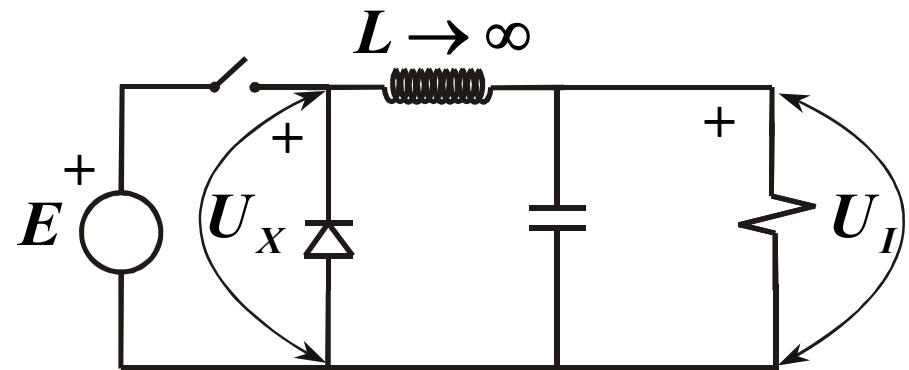
$$I_{ul_{sr}} = m \cdot I_L$$

kontinualno podešavanje
od 0 do E snaga:

$$P = E \cdot m \cdot I_L \sim E \cdot I_L$$

Veličina prekidača:

$$\sum V \cdot A \sim I_L \cdot E$$



Podizač napona "BOOST"

Pošto je $L \rightarrow \infty$ struju
možemo
smatrati konstantnom!

Srednja vrednost U_x mora
biti jednaka E

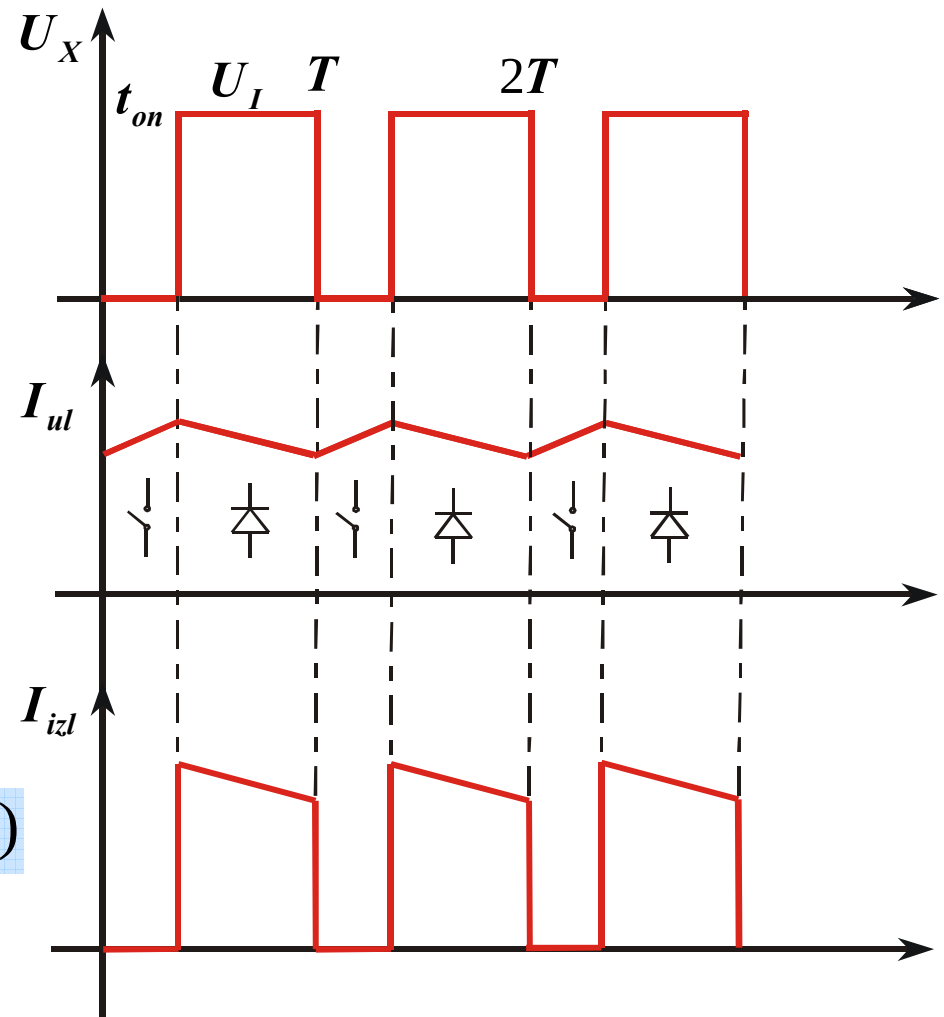
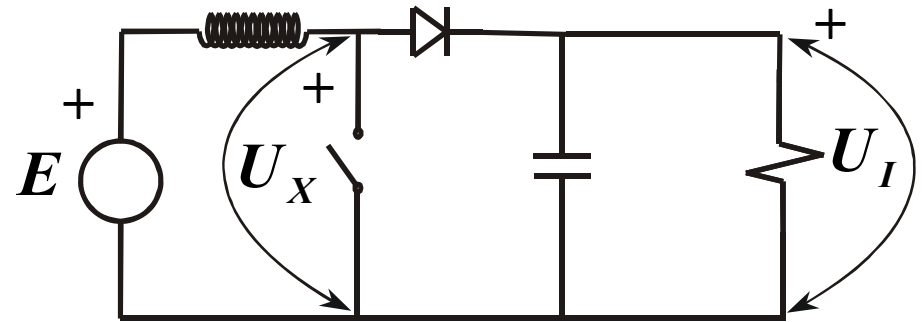
Kontinualno podešavanje
od E do ∞

Snaga: $P \sim E \cdot I_L$

Veličina prekidača:

$$\sum V \cdot A \sim U_i \cdot I_L (U_i > E)$$

Predavanja iz VUCE



Obrtači napona "BUCK - BOOST"

Pošto je $L \rightarrow \infty$ struju
možemo
smatrati konstantnom!

Srednja vrednost napona
na prigušnici $U_x = 0$

$$U_i = \frac{m \cdot E}{1 - m}$$

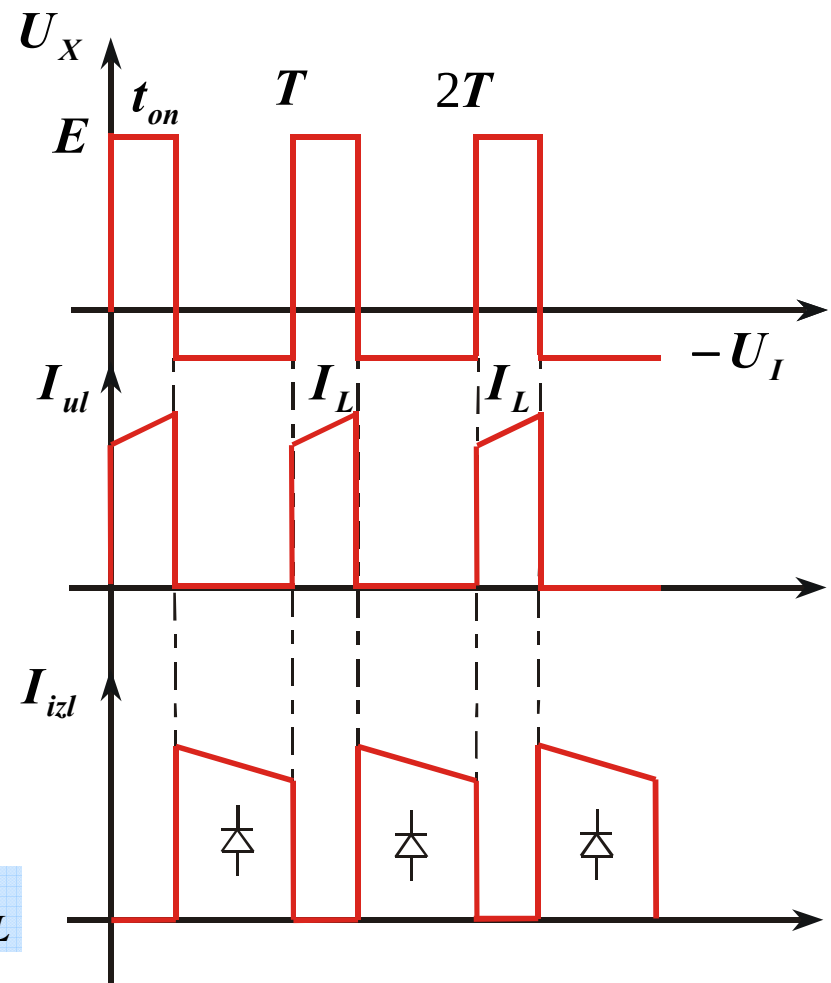
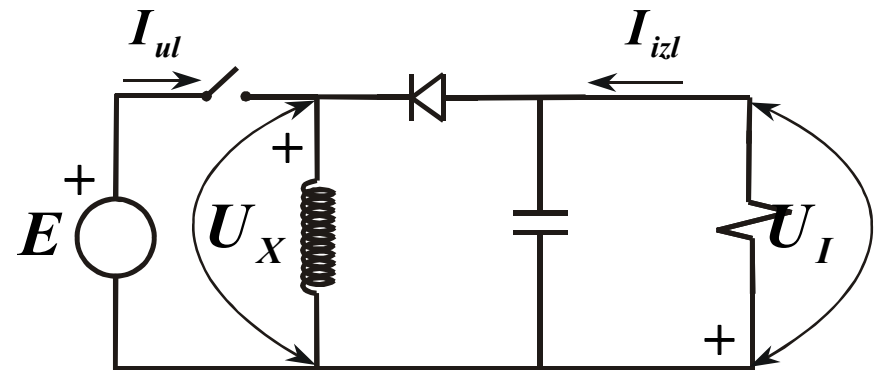
Može davati manji ili
veći napon od ulaznog

Snaga: $P \sim \frac{E \cdot I_L}{2}$

Veličina
prekidača:

Predavanja iz VUCE

$$\sum V \cdot A \sim 2 \cdot E \cdot I_L$$



Veličina prekidača se definiše kao $\sum V \cdot A$.

U vuči se koristi samo prva vrsta čopera (BUCK).

Motor je okarakterisan nominalnim naponom i on je jednak maksimalnom trajnom naponu za koji je pravljena izolacija.

Bitno:

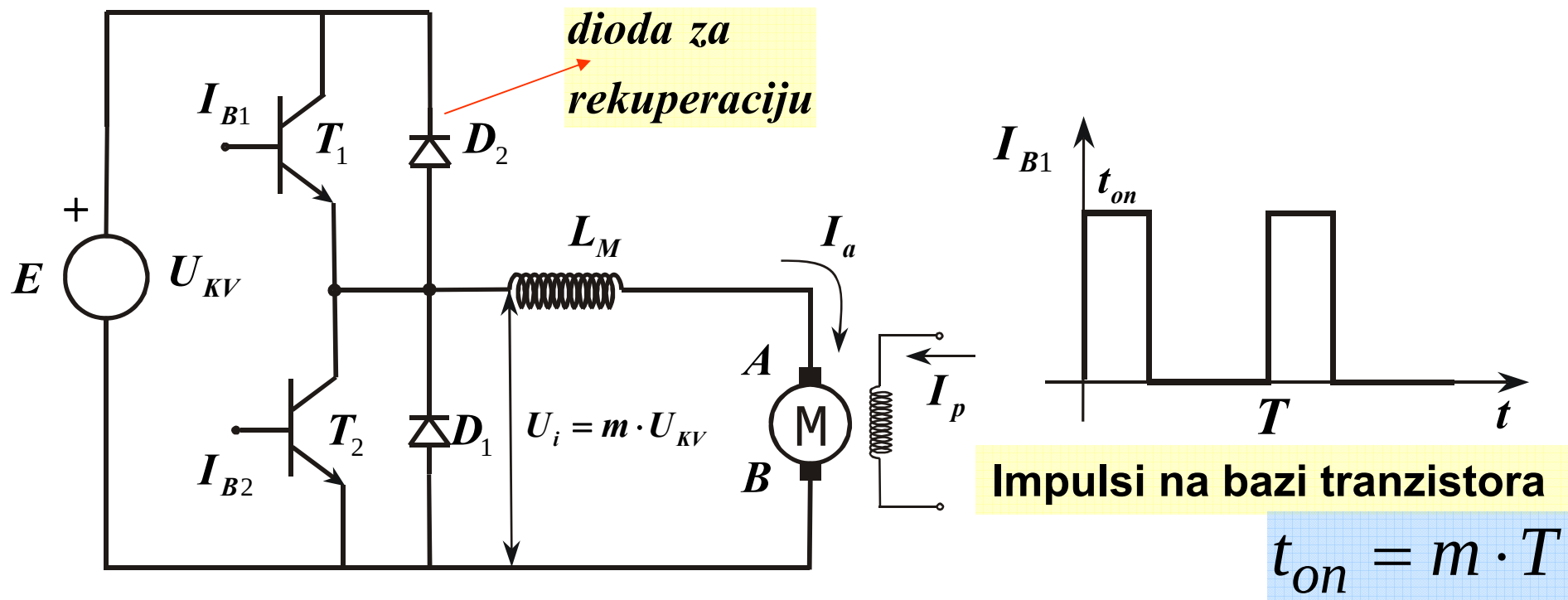
Dimenzije, težina, grejanje čopera (vezano za naponski i strujni kapacitet upotrebljenih prekidača)

Po pitanju dimenzija najpovoljniji je spuštač napona. Obrtač se jedino koristi u prekidačkim izvorima napajanja.

Čoperi spuštači napona se dele na:

- ☐ Čopere spuštače napona sa rekuperacijom
- ☐ Čopere spuštače napona bez rekuperacije

Čoper spuštač napona sa rekuperacijom



$$U_i = m \cdot U_{kv} = K_e \cdot \Phi \cdot \omega + R_a \cdot I_a \Rightarrow \omega = \frac{m \cdot U_{kv} - R_a \cdot I_a}{K_e \cdot \Phi}$$

$$F_v \sim M_{em} \sim I_a = \frac{m \cdot U_{kv} - K_e \cdot \Phi \cdot \omega}{R_a^*}$$

$$R_a^* = R_a + R_L \Rightarrow$$

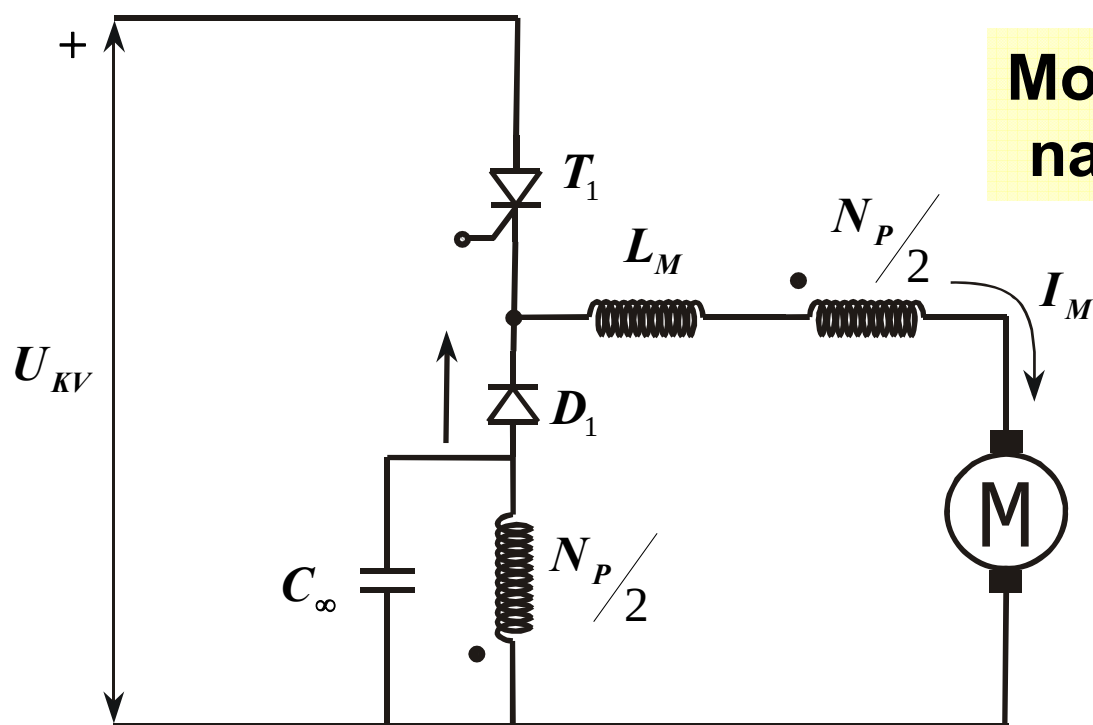
Omski otpor
prigušnice

Promenom t_{on} može se podešavati kontinualno brzina i vučna sila.

Ukoliko bi postojali samo T_1 i D_1 ne bi' mogli vršiti rekuperaciju energije. Stoga su neophodni T_2 i D_2 .

**Kod manipulativnih vozila mora se
ostvariti mogućnost promene polariteta.
Ovo je omogućeno tzv. H mostom.
On ima dvostruko više elemenata.
Ovakav čoper se primenjuje za manje
vučne snage, do 100kW.**

Tiristorski nerekuperativni čoper sa tiristorima za automatsko slabljenje polja

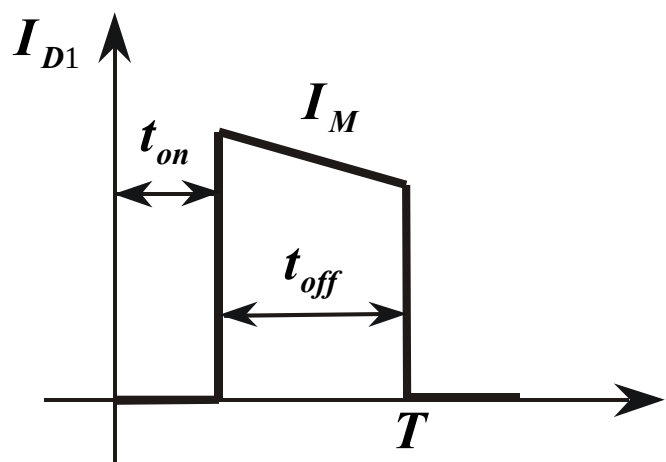


Motor ima pobudni
napon iz dva dela

Struja kroz D_1 ima
impulsni karakter a
da bi se izbegla
naizmenična
komponenta vezuje
se C.

$$U_i = m \cdot E \approx U_m \approx E \approx \omega$$

$$\omega \in [0, \omega_{nom}] \quad m \in [0, 1]$$



$$I_{D_1}^{sr} = (1 - m) \cdot I_m \rightarrow \text{srednja vrednost struje}$$

$$F_p = F_1 + F_2 = \frac{N_p}{2} \cdot I_m + \frac{N_p}{2} \cdot (1 - m) \cdot I_m = N_p \cdot I_m \left(1 - \frac{m}{2} \right)$$

Praktična realizacija eksploatacione karakteristike tranzistorskog vučnog čopera

Kod vozila za masovni transport snaga motora

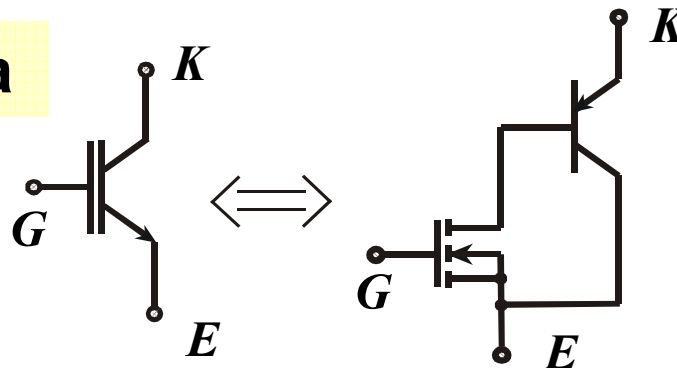
$$P \approx 100 \div 200 \text{ kW}$$

a motornih kola $\sim 800 \text{ kW}$. U upotrebi su čoperi

$$P \sim 200 \text{ kW} \quad U \sim 700 \div 1200 \text{ V} \quad I_{\max} = 300 \div 1000 \text{ A}$$

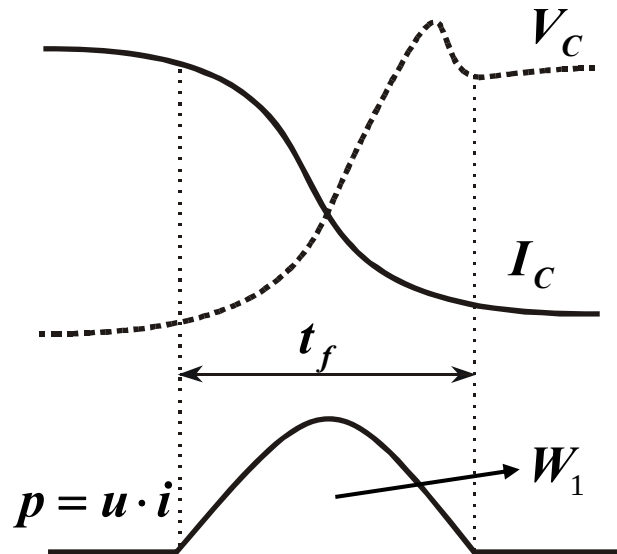
Najčešće se koriste IGBT tranzistori
(INSULATED GATE BIPOLAR TRANSISTOR)

Tumačenje IGBT-a



Za $V_G > V_T$ (V_T - napon praga) prekidač vodi.

Prelazni procesi:



t_f - određuje komutacionu učestanost

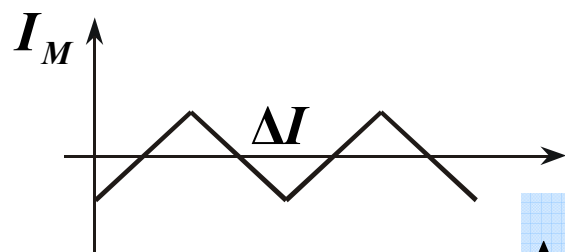
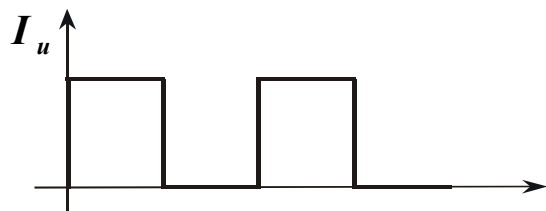
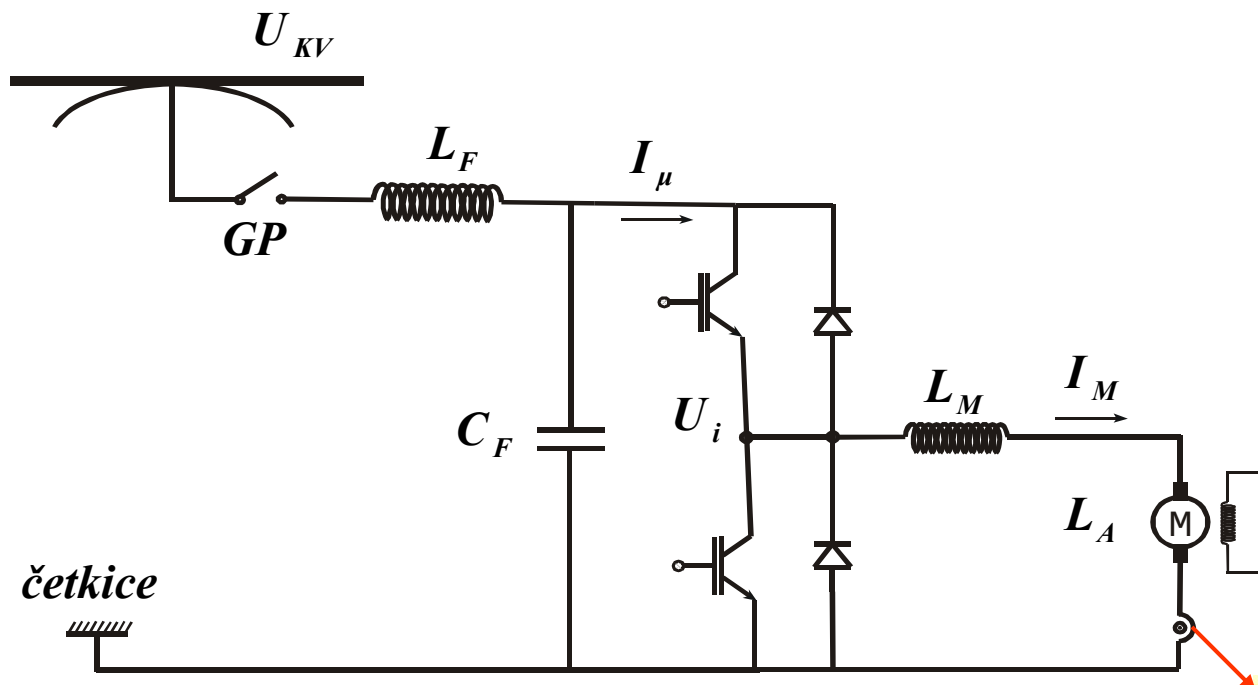
$$IGBT \sim 1\mu s$$



$$f_{kom} \cong 5kHz = f_{PWM} \cdot W_1$$

Snaga gubitaka pri komutaciji:

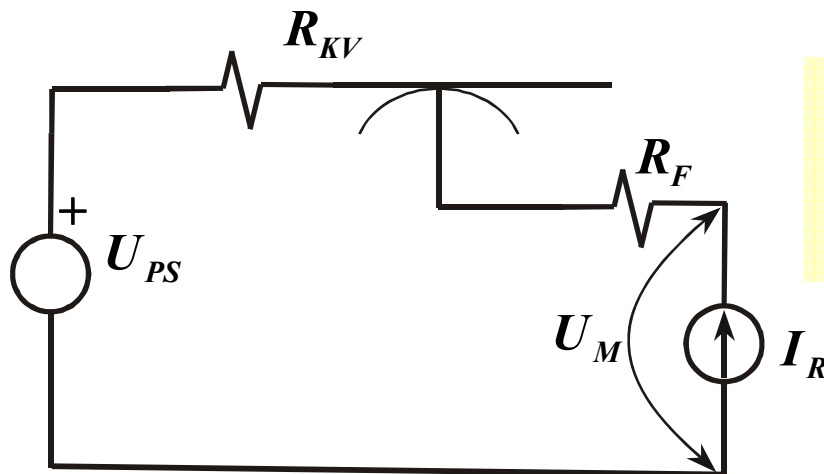
$$P_{\gamma}^{nom} = f_{PWM} \cdot W_1$$



Predavanja iz VUCE

$$\Delta I \approx \frac{1}{f_{PWM} \cdot \sum L}$$

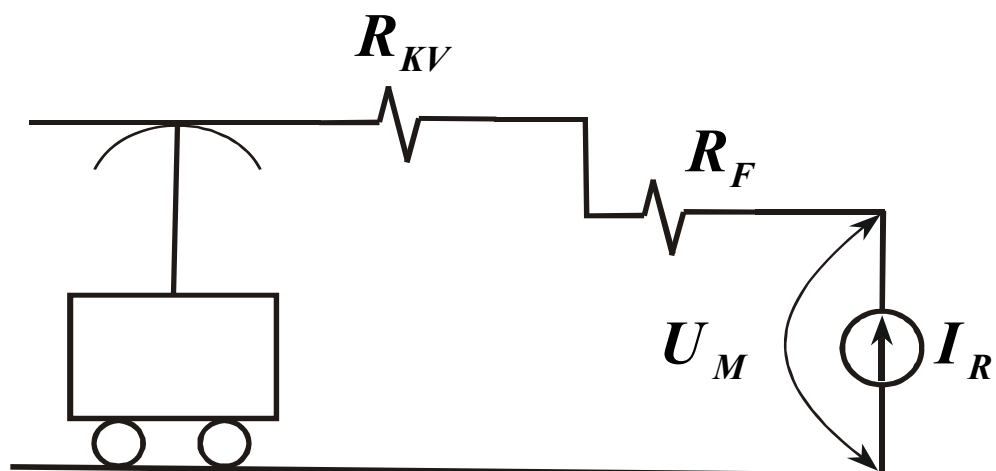
- ❑ L_F i C_F služe kao filter za eliminaciju visoko frekventnih komponenti
- ❑ L_A nije dovoljno da smanji "ripl" struje motora ispod granice
- ❑ 5 - 10% I_{nom} pa se dodaje L_m
- ❑ Armaturna struja se meri iz razloga zaštite i regulacije vučne sile
- ❑ Pobuda obično nezavisna i napaja se iz posebnog izvora



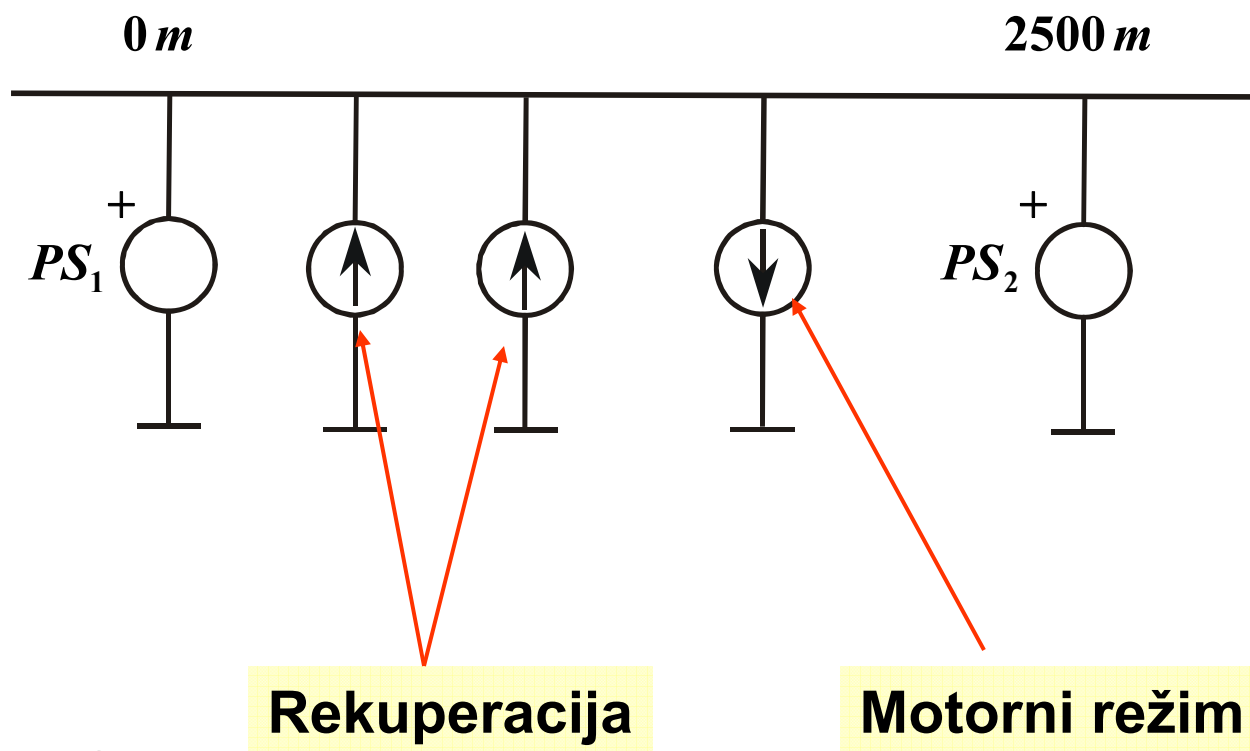
U_{ps} - napon podstanice
 R_{kv} - otpor kontaktnog voda
 R_F - otpor prigušnice iz filtra

$$U_M = U_{PS} + (\sum R) \cdot I_R$$

Podstanice vrlo često nisu receptivne (tj. ne mogu da prime energiju kočenja). U tom slučaju ona se mora utrošiti na neko vozilo koje se trenutno nalazi u motornom režimu

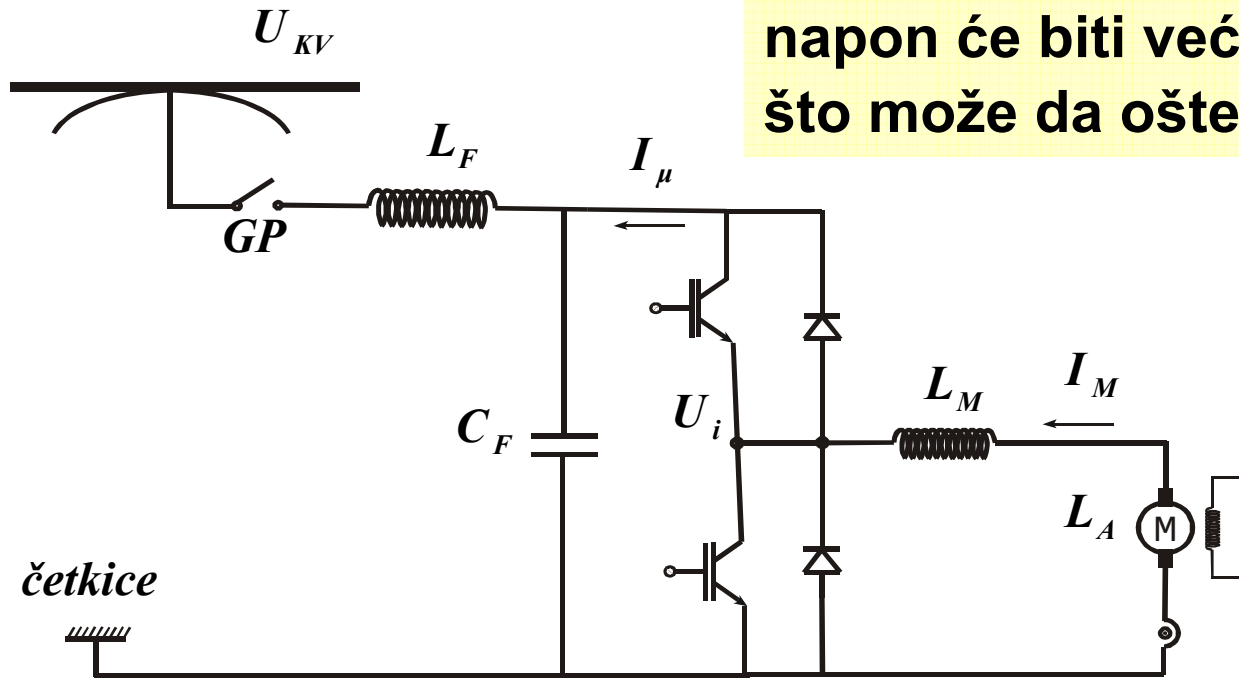


Na motoru napon ne sme preći U_M ($U_{nom} + 10\%$). Ako se to desi mora se preći na mehaničko kočenje.



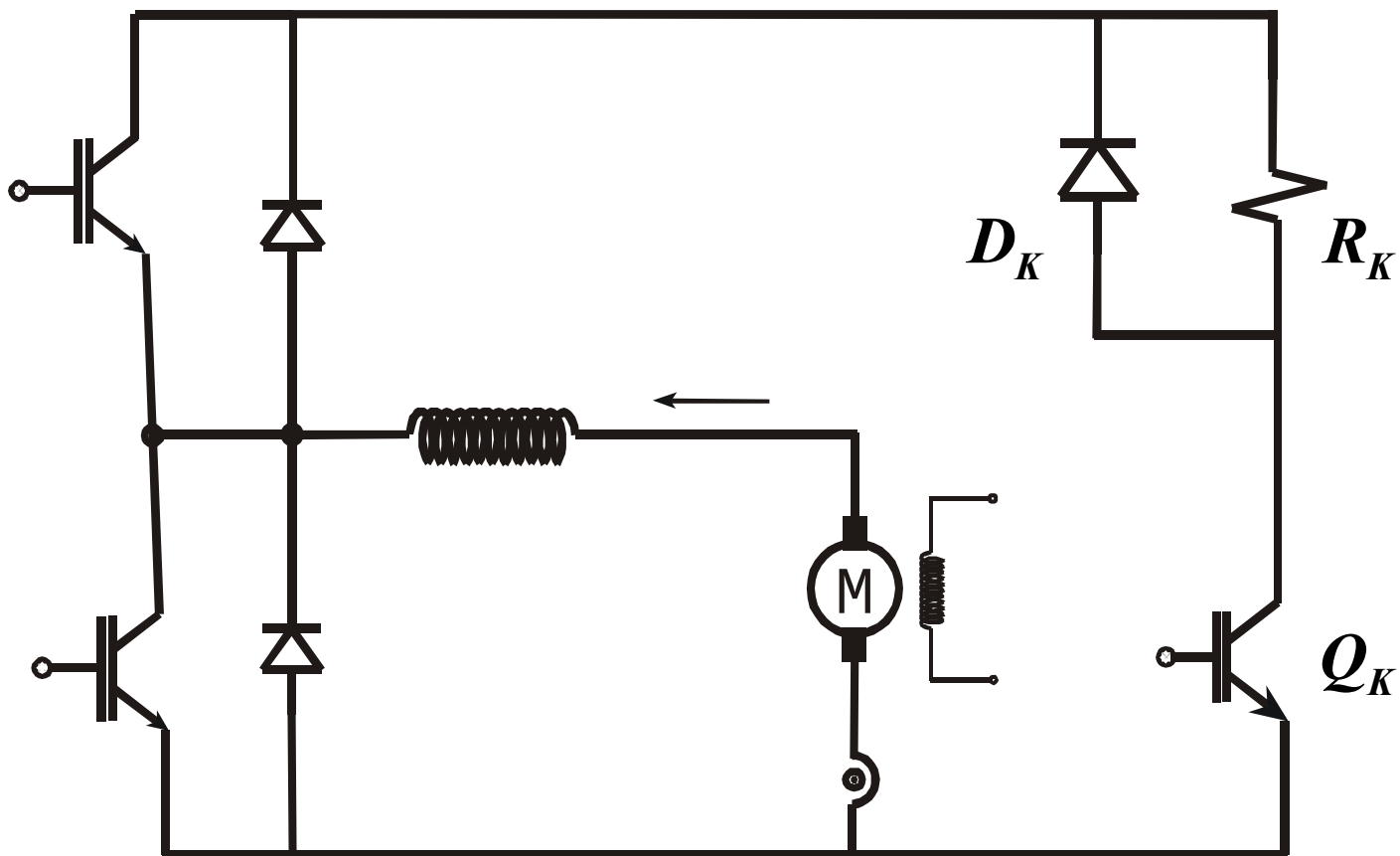
Ukoliko mreža nije u stanju da prihvati rekuperiranu energiju:

**za desetak milisekundi
napon će biti veći od U_{MAX}
što može da ošteti tranzistore**



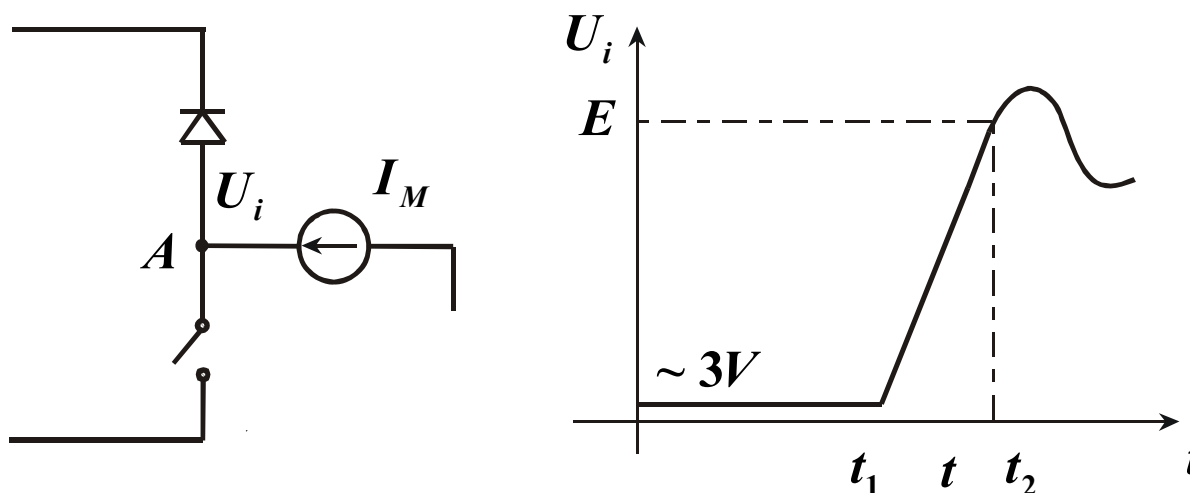
Struja rekuperacije preko gornje diode uvećava napon na C_F

$$\frac{dV_{CF}}{dt} = \frac{I_R}{C_F}$$



**Q_K se uključuje i rasterećuje C_F ,
višak energije se "spaljuje" na R_K**

Elektromagnetne smetnje vučnog čopera

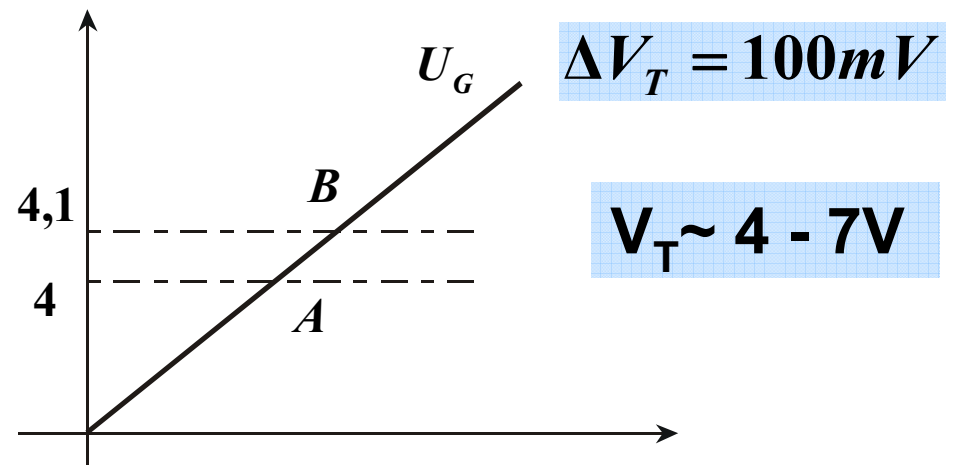
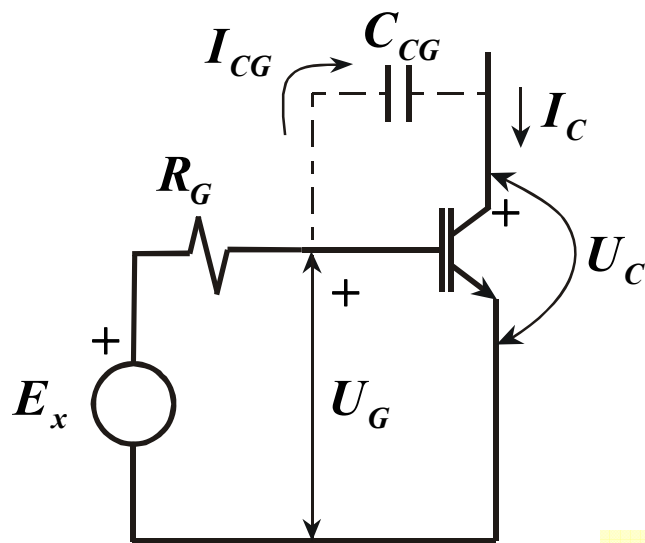


do t_1 prekidač vodi. U t_1 prekidač se otvara i dolazi do debalansa struja. Dioda još nije provela.

Da bi zaključili šta se događa moramo posmatrati parazitne kapacitivnosti C_p .

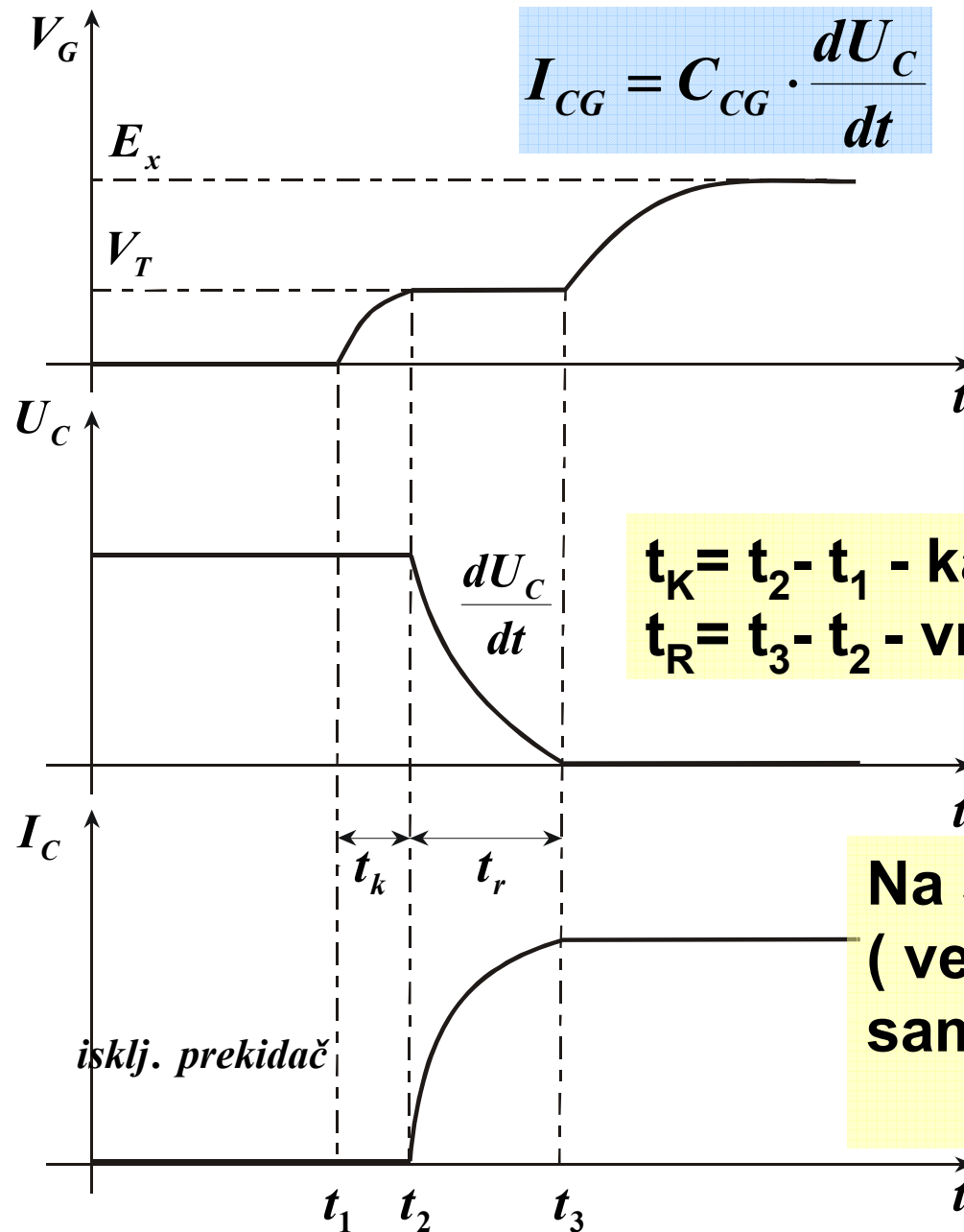
$$\frac{dU_i}{dt} = \frac{I_M}{C_p} \approx 20 \frac{V}{nsec}$$

U trenutku t_2 provede dioda. Najkritičniji je deo od t_1 do t_2 , javlja se problem elektromagnetne kompatibilnosti (velika strmina). Naročito opasno za komunikacione veze



u A prekidač počinje da se uključuje dok je u B već uključen

C_{CG} - parazitna kapacitivnost kolektor-gejt



$$I_{CG} = C_{CG} \cdot \frac{dU_C}{dt}$$

Balans struja u gejt
biće zadovoljen od t_2 do t_3
jer je I_{RG} ide kroz
 C_{CG} odnosno $I_{RG} = I_{CG}$

$$I_{RG} = \frac{E_X - V_T}{R_G}$$

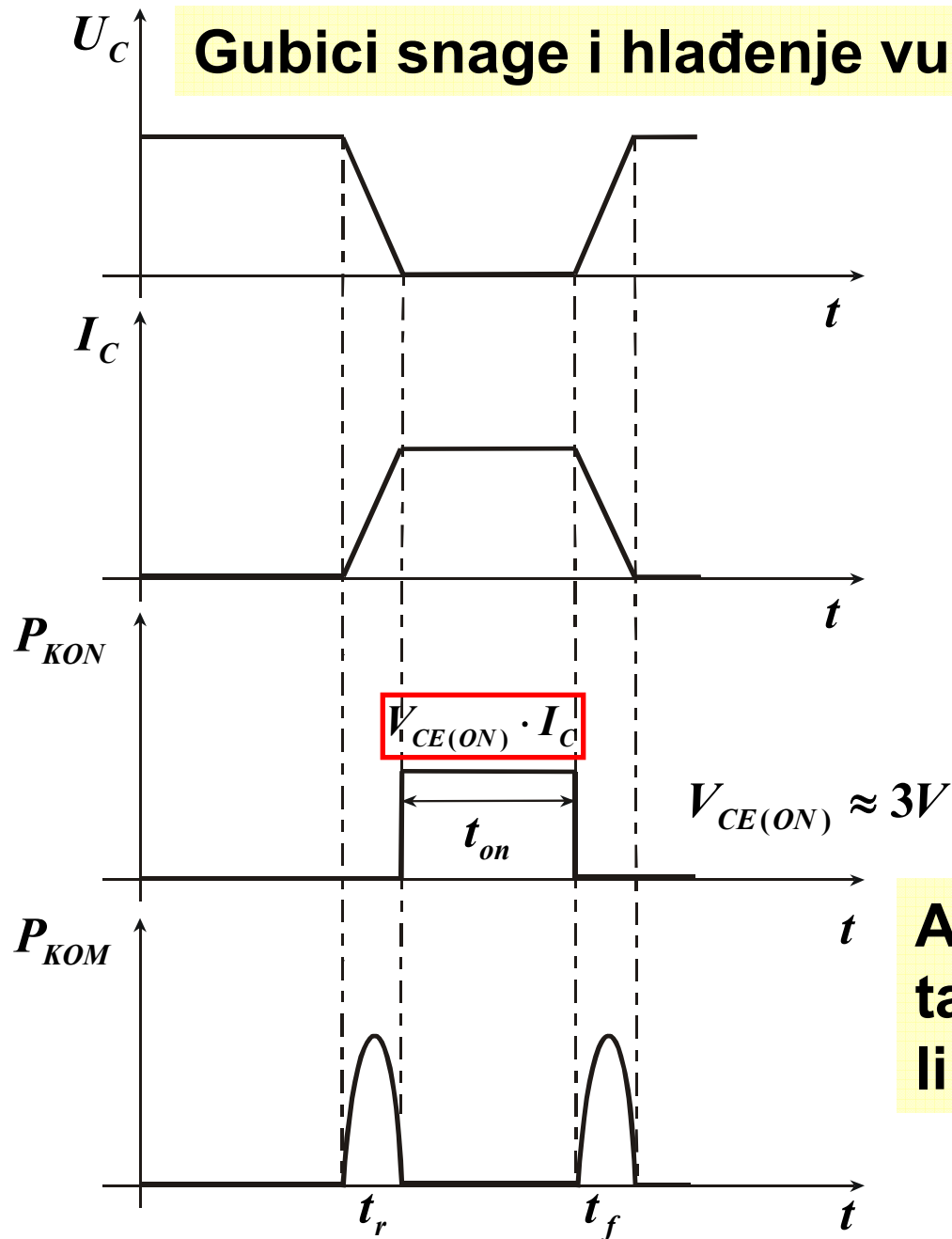
$$\frac{dU_C}{dt} = \frac{E_X - V_T}{R_G \cdot C_{CG}}$$

$t_K = t_2 - t_1$ - kašnjenje
 $t_R = t_3 - t_2$ - vreme uspona I_C

Na strminu utičemo izborom R_G
(veće R_G manja strmina a
samim tim i manje smetnje)

**Gubici usled komutacije imaju pik u t_R
pa stoga R_G ne sme biti preveliko**

Gubici snage i hlađenje vučnog čopera



Predavanja iz VUCE

$$P_\gamma = P_{KON} + P_{KOM}$$

P_{KON} – *kondukcija*

P_{KOM} – *komutacija*

$$P_{KON} = \frac{t_{ON}}{T} \cdot V_{CE} \cdot I_C$$

Ako usvojimo $t_R \approx t_F$ i da se talasni oblici U_C i I_C linearno menjaju

$$P_{KOM} = \frac{1}{2} \cdot U_C^{\max} \cdot I_C \cdot f_{PWM}$$

Dimenzije prekidača su 100x50x25 mm (za stotinak volti i 1500A) pa sledi da su gubici oko 1500W. Problem koji se javlja je kako odvesti toplotu da ne bi došlo do oštećenja.

Mali prekidači imaju mali toplotni kapacitet pa se stoga montiraju na aluminijski hladnjak. Hlađenje ventilatorom nije moguće vršiti jer, u vuči, pretvarač mora biti izolovan

Za hlađenje se koriste toplotni ili freonske pumpe. Kao rashladno sredstvo koristi se freon

Sanduk za smeštaj pretvarača

Bakarna cev

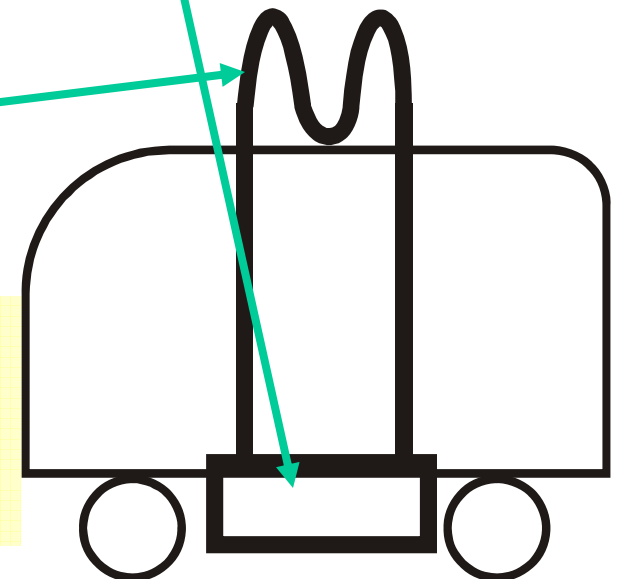
**Zid vozila
(češće krov)**

Freon

**Sistem cevi
(kondenzator)**

**Potpuno zatvoren
(veliki napon, velika struja, jako
elektro magnetno polje)**

Predavanja iz VIČE



$$\left\{ \begin{array}{l} 2 - 3 \text{ l freona} \\ 15 \text{ m Cu cevi} \end{array} \right\} \rightarrow \text{odvode oko } 3 \text{ kW}$$

Freon ugrožava životnu sredinu, koristi se samo u zatvorenim i bezbednim sistemima !



Regulacioni blok dijagram tranzistorskog vučnog čopera sa IGBT

meri se: I_a - armaturna struja

θ - temperatura

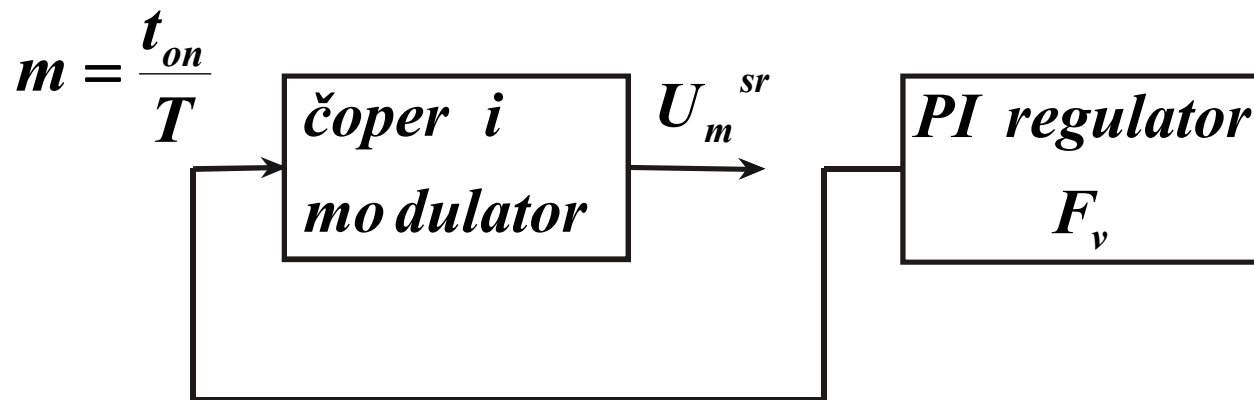
U_{ul} - ulazni napon čopera

Procenjuje se: ω_m - ugaona brzina obrtanja

$$\omega_m \approx \frac{U_M}{K_e \cdot \Phi}$$

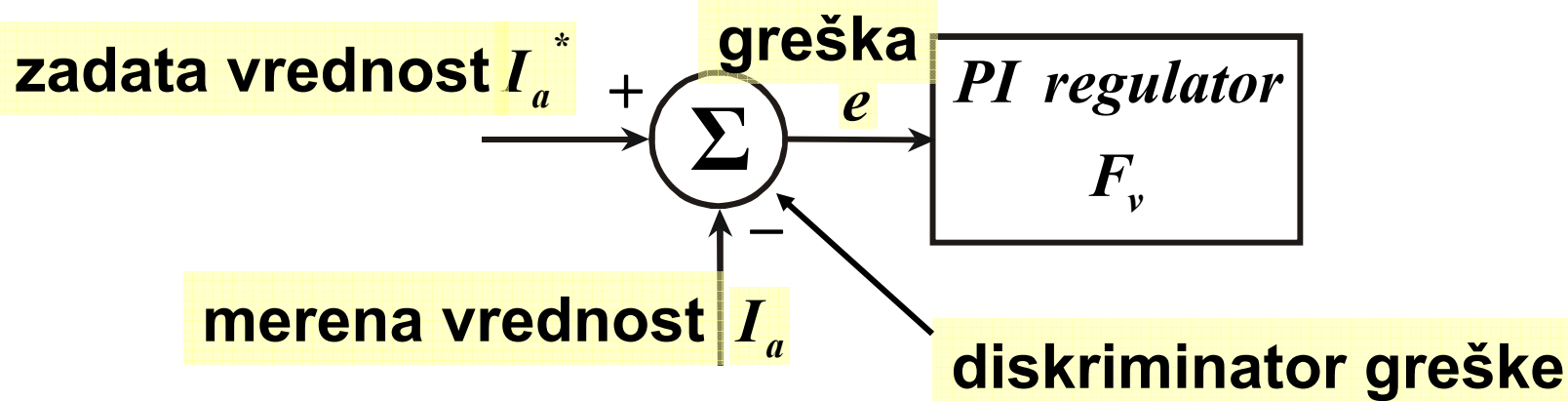
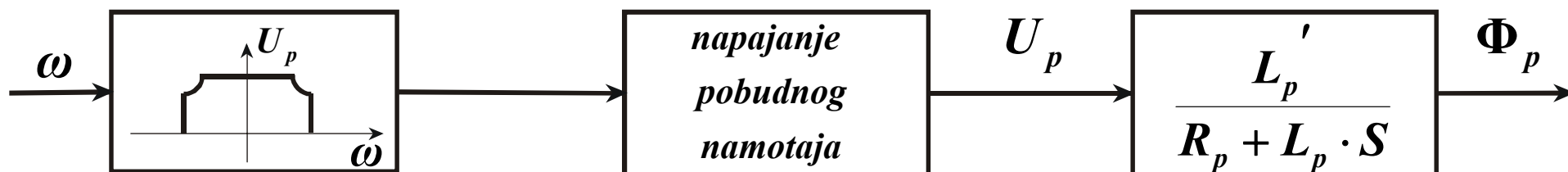
Zadaci regulacije:

- određivanje t_{on}
- određivanje napona napajanja pobudnog namota



$$I_a = \frac{U_M - E_{MS}}{R_a + (L_M + L_a) \cdot S}$$

$$U_a = f(m) \sim f(t_{on})$$



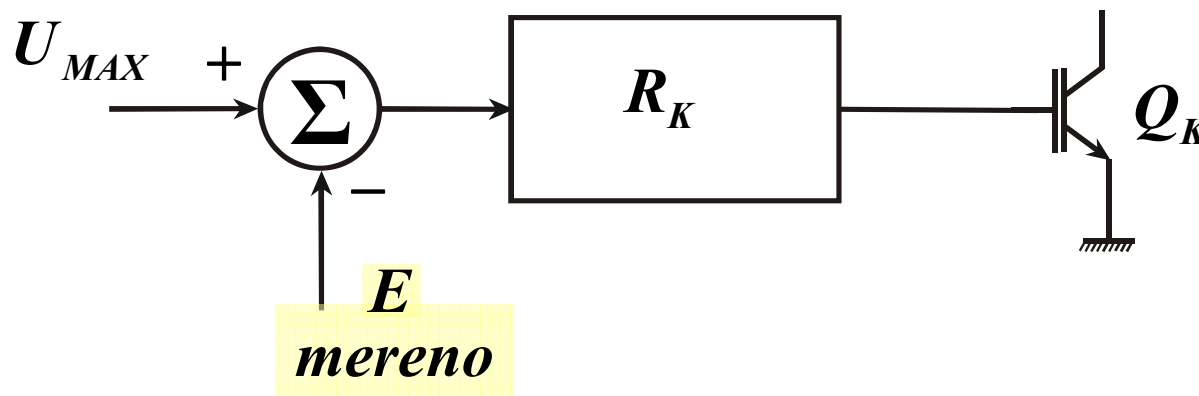
$$I_a = \frac{U_M - E_{MS}}{R_a + (L_M + L_a) \cdot S}$$

$$U_a = f(m) \sim f(t_{on})$$

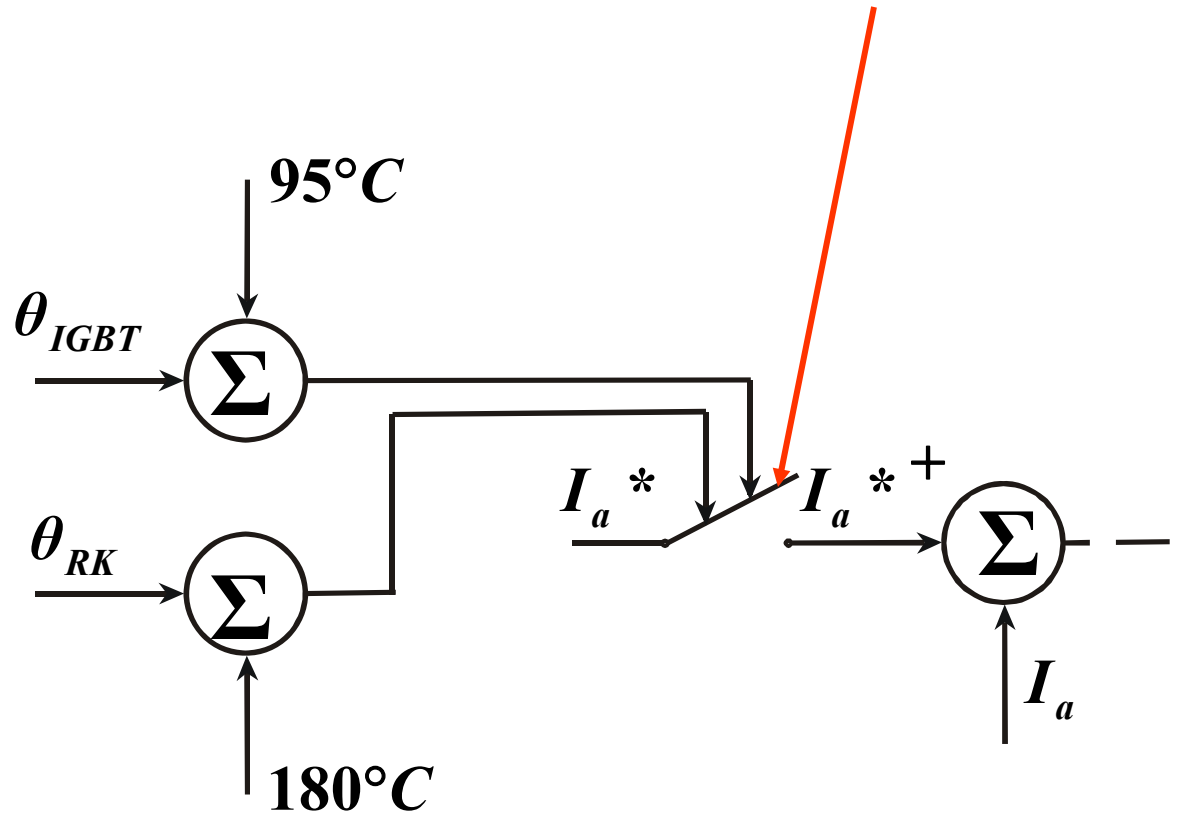
Kako se određuje I_a^* (željena armaturna struja):

- regulacija brzine – čovek
- diskriminator greške brzine – čovek
- pomeraj pedale gasa - zadata vučna sila (zadaje - čovek)

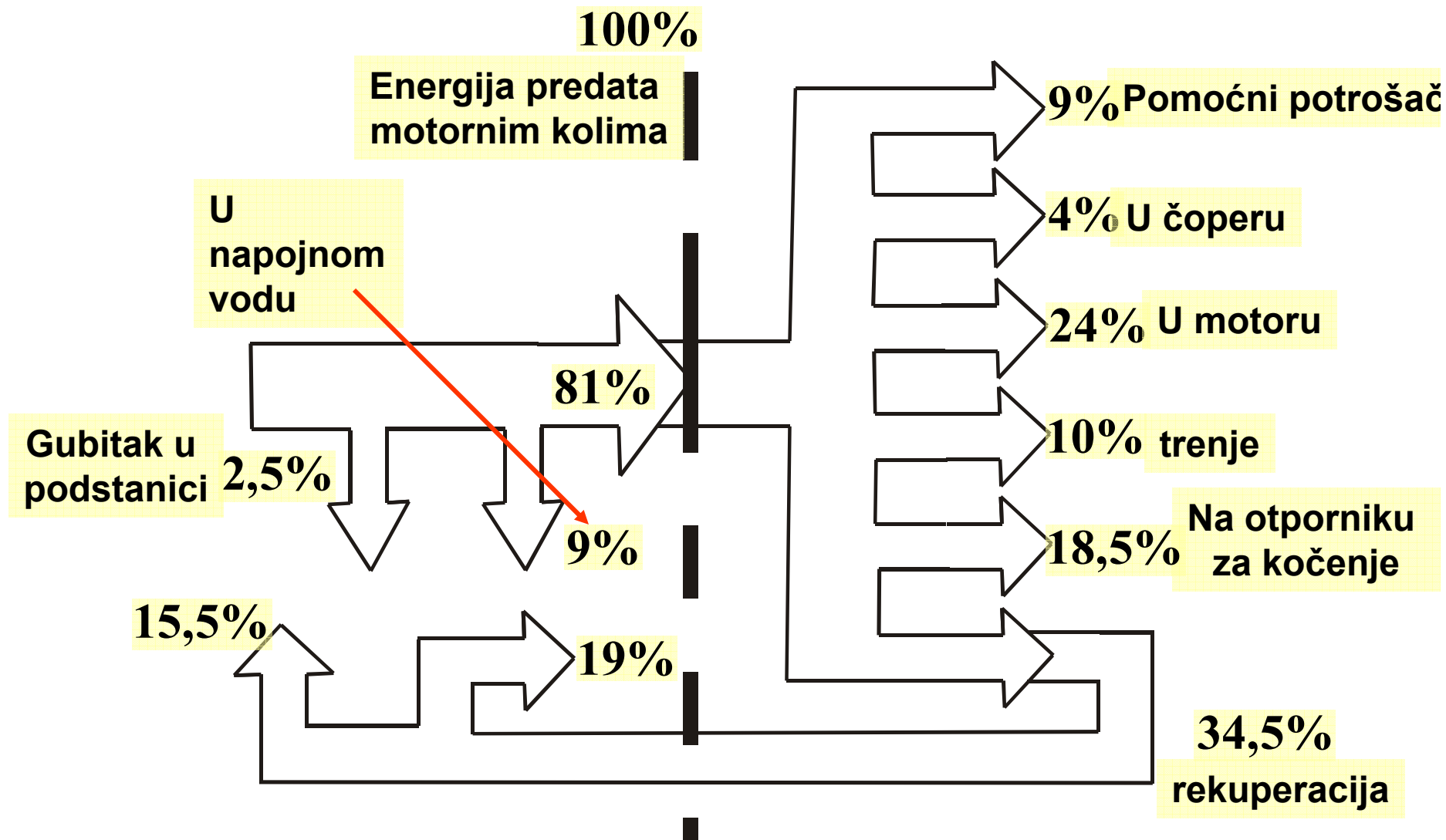
**Veoma često položaj pedale direktno određuje I_a^* .
Ovaj regulator ima zadatak da se obezbedi i ograničenje napona kojim se čoper napaja.**



Ručno – postoji mogućnost da se pusti u rad bez obzira na pregrevanje!

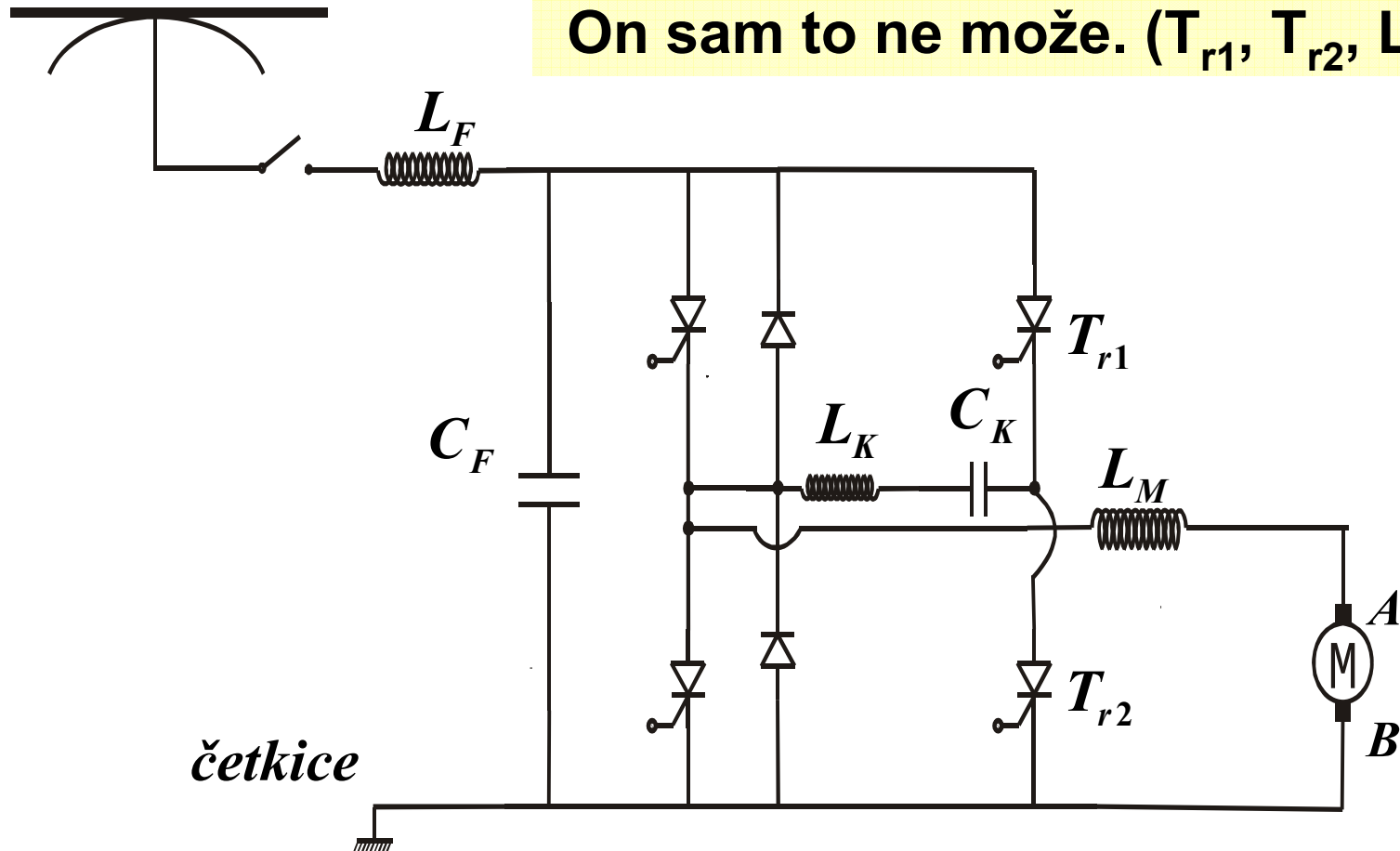


Bilans utrošene električne energije



Tiristorski vučni čoper

Komutaciona kola isključuju tiristor.
On sam to ne može. (T_{r1} , T_{r2} , L_K , C_K)



$$\tau_K \sim \pi \sqrt{L_K \cdot C_K}$$

**C_K mora svaku narednu komutaciju da dočeka na određenom potencijalu
U toku t_{on} mora da se završi cela komutacija.**

$$U_{SR} = E \cdot \frac{t_{on}}{T} ; U_{SR}^{\min} = E \cdot \frac{t_{on}^{\min}}{T} = (R_a + R_{L_m})$$

**Problem je kada $U_{SR}^{\min} > U_{M\ pol}$
 $T \uparrow$, $f_{PWM} \downarrow$; $f_{PWM}^{nom} \sim 200 - 800\ Hz$**

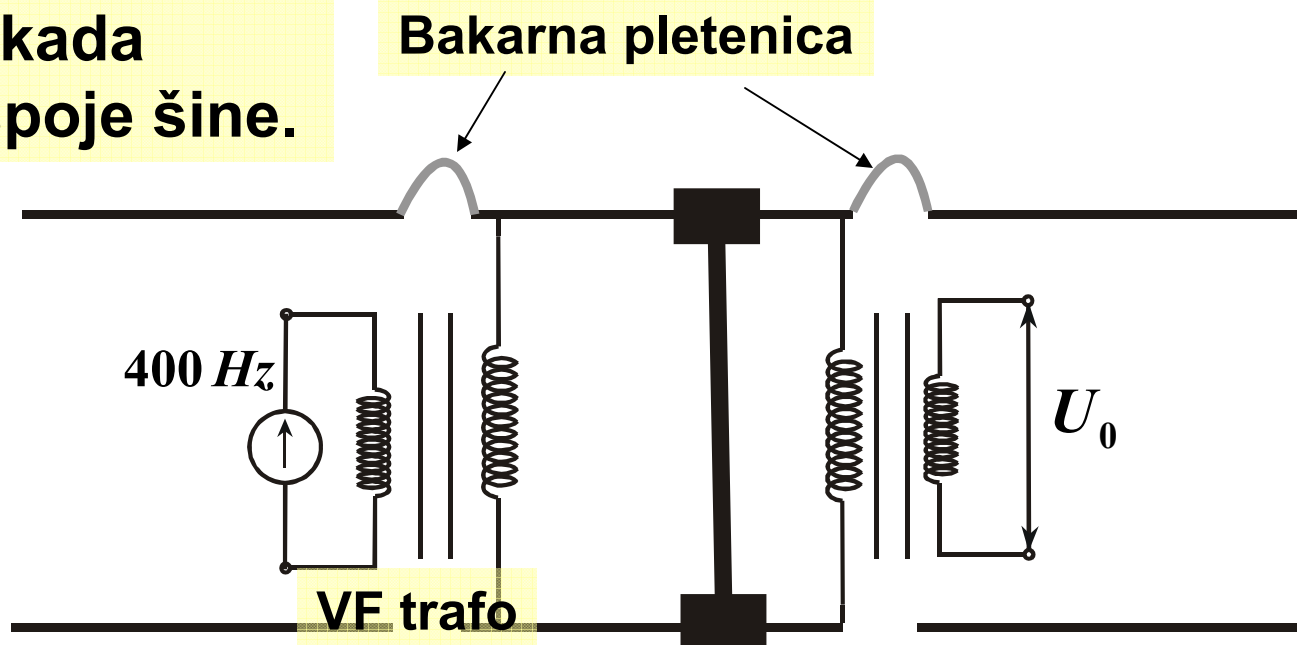
Pri polasku $f \in [0, f_{nom}]$ javljaju se karakteristični zvuci pri polasku

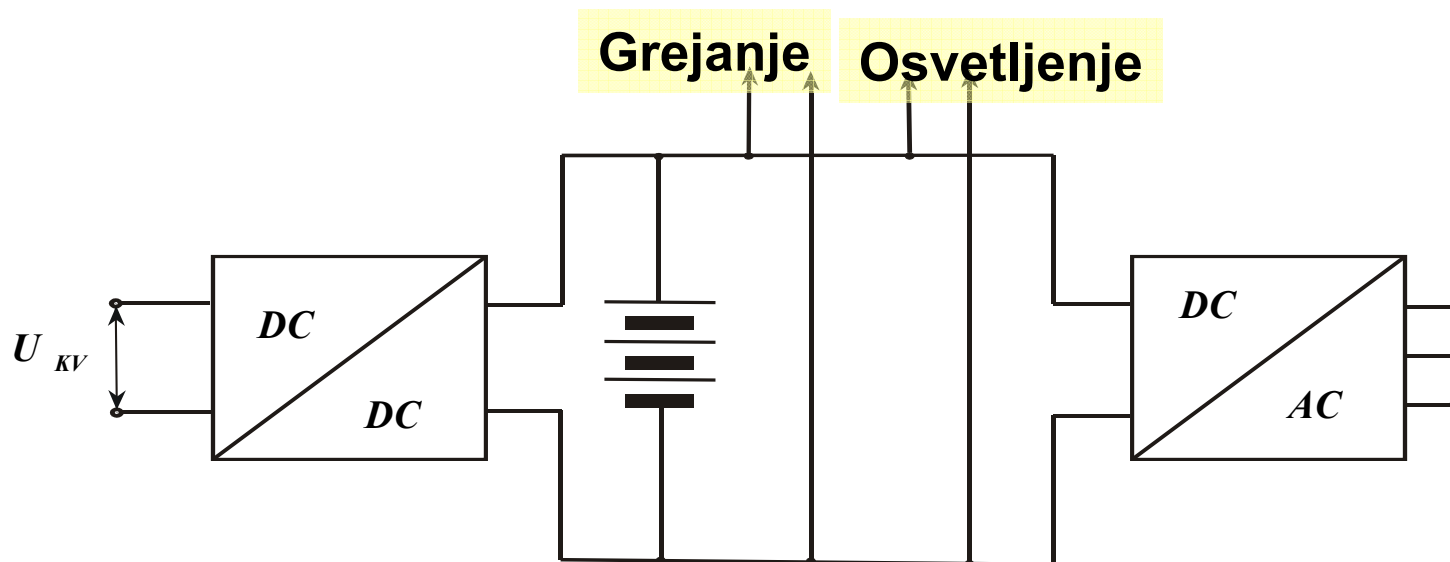
Pomoćna oprema vozila za masovni prevoz putnika

- signalizacija i detekcija voza
- grejanje i klimatizacija
- "glavno" i "dežurno" svetlo

Detekcija voza - uređaj je lociran u šinama.
Jedna od šina je sekcionisana.

U_0 - detekcioni signal.
Mnogo je manji kada
točkovi kratko spoje šine.





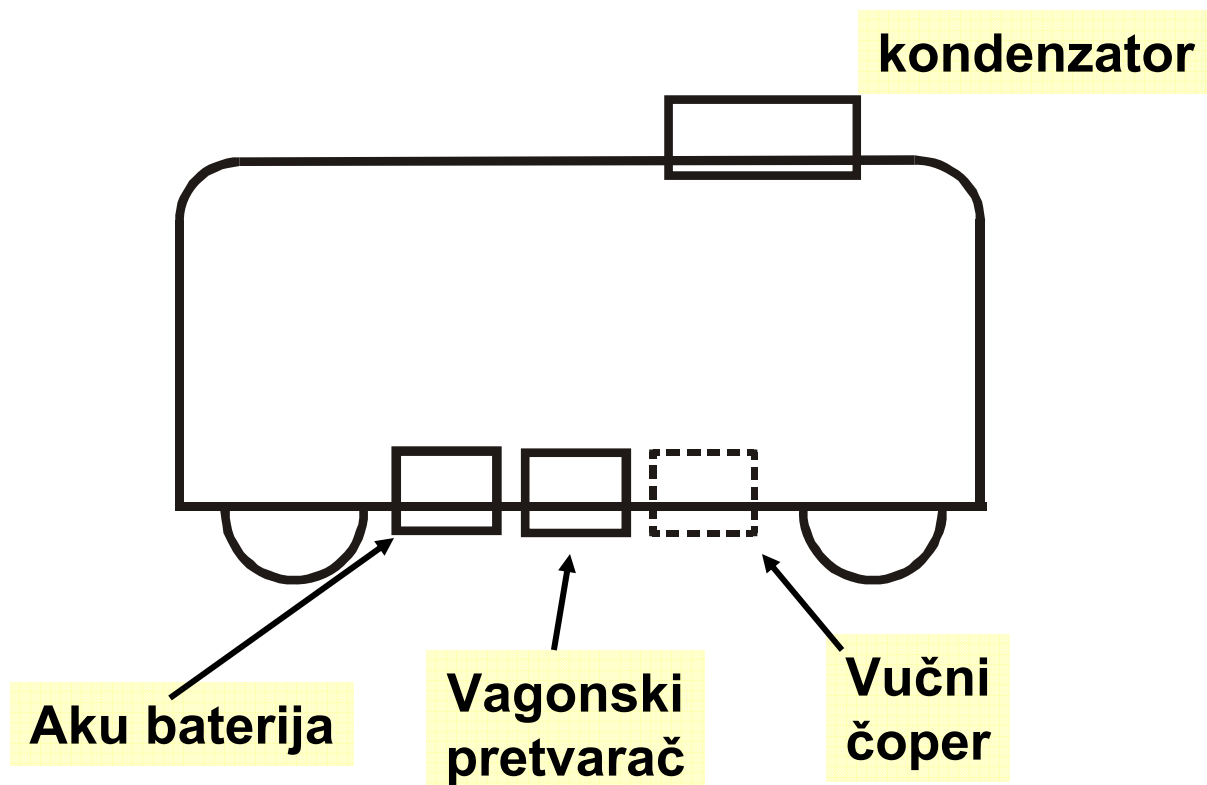
Frekvencija je stalna (ista) za jednu podsekciju.

Osvetljenje:

$$P_{osv} \approx 2,2kW$$

Grejač:

$$\approx 50 kW / koli ma$$



**U svakim kolima mora da postoji:
vagonski pretvarač
akumulatorska baterija**