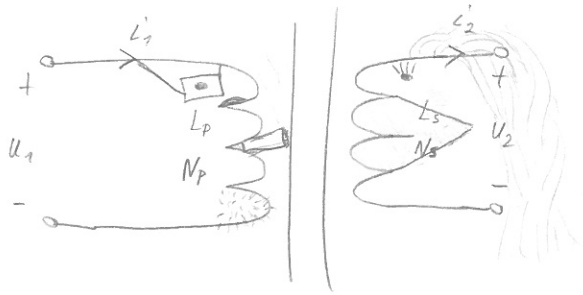
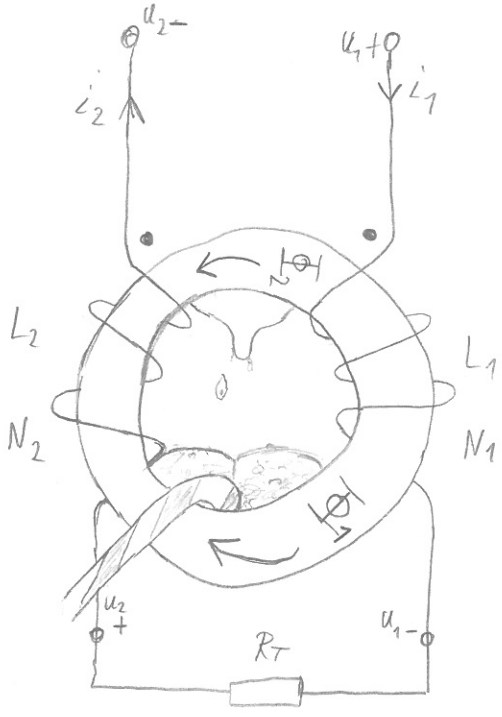
IZVORI

NAPAJANJA

ELEKTRONIČKIH

UREĐAJA





UVOD

– PROJEKTIRANJE IZVORA NAPAJANJA TREBA POČETI KAD I PROJEKTIRANJE CIJELOG UREĐAJA

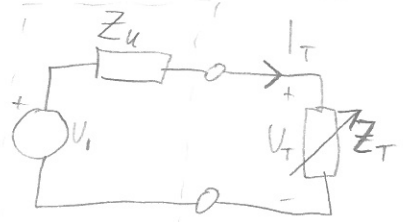
– VAŽNI PARAMETRI KOJE TREBA ŠTO PRIJE ODREDITI:

- POTREBNI NAPON (I)
- POTREBNA SNAGA
- ŽELJENI TRANZIJENTNI ODZIV (ŠTO SE DOGODI PRI BRZOJ PROMJENI TERETA)
- DOZVOLJENE DIMENZIJE
- POTREBE/MOGUĆNOSTI HLAĐENJA

– DOSTUPNI IZVORI ENERGIJE:

- ELEKTRIČNA MREŽA
- ELEKTROKEMIJSKI IZVORI:
  - → PRIMARNI (JEDNOKRATNI)
  - → SEKUNDARNI (PUNJIVI)
- OSTALO:
  - → SUPERKONDENZATORI
  - → SUNČANE ĆELIJE
  - → VJETROELEKTRANE
  - → GORIVE ĆELIJE
  - → ?

JE LI IZVOR NAPONSKI ILI STRUJNI?
OD ČEGA SE SASTOJI IZVOR?



IZVOR

$$U_T = \frac{Z_T}{Z_u + Z_T} \cdot U_1$$

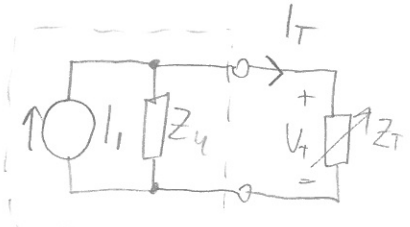
$$I_T = \frac{U_1}{Z_u + Z_T}$$

MIJENJA SE Z_T:

$|Z_u| << |Z_T| \Rightarrow U_T \tilde{=} \text{const.}$ NAPONSKI IZVOR

$|Z_u| >> |Z_T| \Rightarrow I_T \tilde{=} \text{const.}$ STRUJNI IZVOR

ILI



IZVOR

$$U_T = I_1 \cdot (Z_u \| Z_T)$$

$$I_T = \frac{Z_u}{Z_u + Z_T} \cdot I_1$$

MIJENJA SE Z_T:

$|Z_u| << |Z_T| \Rightarrow U_T \tilde{=} \text{const.}$ NAPONSKI IZVOR

$|Z_u| >> |Z_T| \Rightarrow I_T \tilde{=} \text{const.}$ STRUJNI IZVOR

U SLUČAJEVIMA IZMEĐU TIH KRAJNOSTI => IZVOR SE NE PONAŠA NI KAO STRUJNI NI KAO NAPONSKI

ELEKTRIČNA MREŽA

OSNOVNI PARAMETRI:

$U_{NAZ} = 230\ V_{RMS}$ +10%/−15%

$f = 50\ Hz$

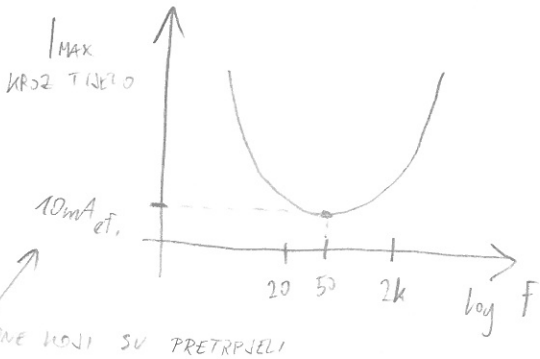
PREDNOSTI

- JEFTINO
- SVEPRISUTNO
- POUZDANO (SKORO 100%)

MANE

- OPASAN NAPON
- NEMOGUĆE IZVESTI MOBILNI UREĐAJ
- PREVISOK NAPON ZA IZRAVNO NAPAJANJE

NAJVIŠI SIGURNI NAPON NA 50 Hz : 25 V_{ef}

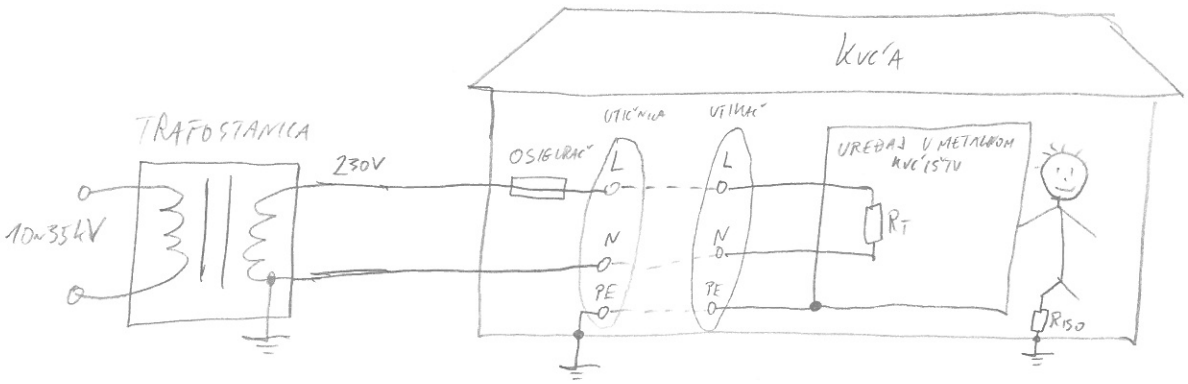


ZA ONE KOJI SU PREŽIVJELI INFARKT 10 μA VRŠNO ?

TRANSFORMATOR:

$|Z|\ (50Hz) \approx [100, 200]\ [M\Omega]$

RAZVOD ELEKTRIČNE INSTALACIJE OD TRAFOSTANICE DO KUĆE



KVAR UREĐAJA (FAZA DOTIČE METALNO KUĆIŠTE) => U SLUČAJU PREKIDA ZAŠTITNOG VODA STRUJA TEČE KROZ NESREĆNIKA KOJI JE PRIMIO KUĆIŠTE

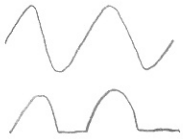
ISPRAVLJAČI

ZA DOBIVANJE REGULIRANOG ISTOSMJERNOG NAPONA PRVO JE POTREBAN ISTOSMJERNI NAPON

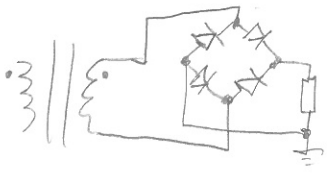
JEDAN SEKUNDAR

JEDAN NAPON

POLUVALNI

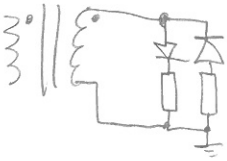


PUNOVALNI



DVA NAPONA

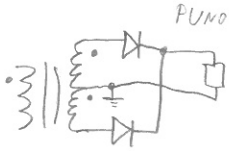
POLUVALNI



DVA SEKUNDARA

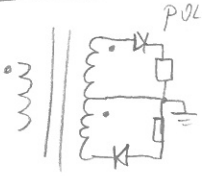
JEDAN NAPON

PUNOVALNI

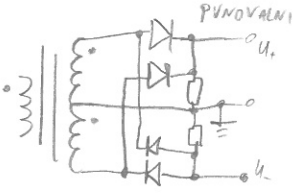


DVA NAPONA

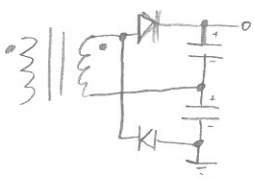
POLUVALNI



PUNOVALNI



UDVOSTRUČAVAČ NAPONA



ELEKTROKEMIJSKI IZVORI

USLIJED KEMIJSKE REAKCIJE U IZVORU, NA JEDNOJ NJEGOVOJ STRANI POJAVLJUJE SE VIŠAK ELEKTRONA. AKO JE KEMIJSKA REAKCIJA IREVERZIBILNA GOVORI SE O PRIMARNIM ELEKTROKEMIJSKIM IZVORIMA. U SUPROTNOM, MOGU SE PUNITI I NAZIVAJU SE SEKUNDARNIMA ILI AKUMULATORIMA (NASPRAM BATERIJA).

BITNI PARAMETRI ELEKTROKEMIJSKIH IZVORA:

- NAZIVNI NAPON – BITNO: min (ISPRAŽNJENI) I MAX (KOD PUNJENJA) NAPON!
- NAZIVNI KAPACITET: [Ah] (U = const.), [Wh] – BITNO: STRUJA PRAŽNJENJA, TEMPERATURA!
- GUSTOĆA ENERGIJE: [Wh/kg], [Wh/l] – 10 VS 100 (BENZIN: 12 kWh/kg!)
- GUSTOĆA SNAGE: [W/kg], [W/l]
- MAKSIMALNA STRUJA PRAŽNJENJA: [C] 1C = STRUJA UZ KOJU SE IZVOR ISPRAZNI ZA JEDAN SAT
- UNUTARNJI OTPOR
- DOZVOLJENI OPSEG TEMPERATURE: RADNA T I T SKLADIŠTENJA!
- DOZVOLJENI BROJ CIKLUSA PUNJENJA I PRAŽNJENJA – BITNO: STRUJA PRAŽNJENJA, TEMPERATURA
- SAMOPRAŽNJENJE

MANA SEKUNDARNIH IZVORA JE KOMPLEKSAN PROCES PUNJENJA: KRITIČNI NAPON, STRUJA I TEMPERATURA

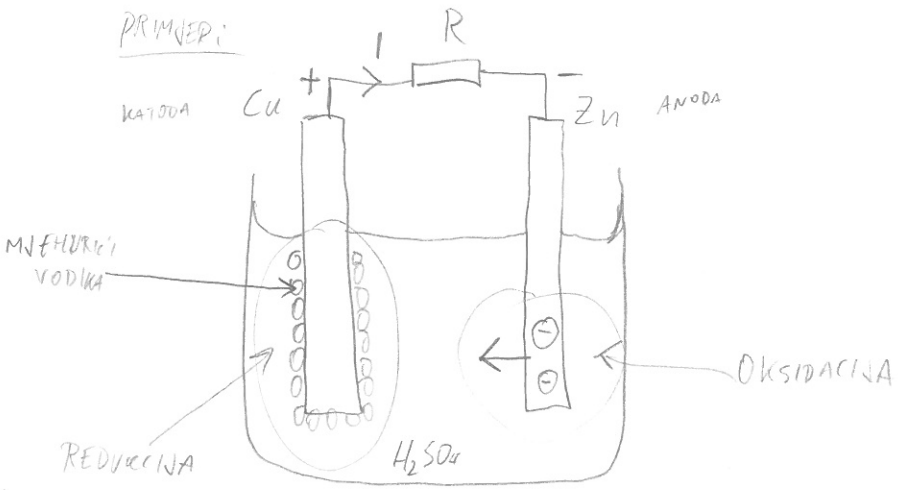
PREDNOSTI PRIMARNIH IZVORA:

- VEĆA GUSTOĆA ENERGIJE (2 – 3 PUTA)
- MANJA STRUJA SAMOPRAŽNJENJA (100 PUTA)

OSNOVNI OBLIK: VOLTIN ČLANAK

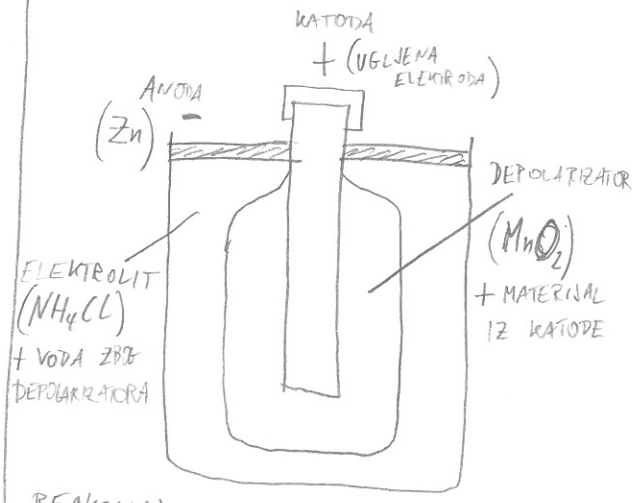
U ELEKTROLIT SE URANJAJU DVIJE ELEKTRODE NAČINJENE OD RAZLIČITIH METALA. IZMEĐU NJIH SE JAVLJA RAZLIKA POTENCIJALA, ZA SVAKI METAL POSTOJI POTENCIJAL PREMA STANDARDNOJ VODIKOVOJ ELEKTRODI U_H. $U_{BAT} = U_{H+} - U_{H-}$.

PRIMJER:



POLARIZACIJA: NA KATODI SE USLIJED REAKCIJE NAKUPLJAJU MJEHURIĆI VODIKA KOJI USPORAVAJU REAKCIJU (POVEĆAVAJU UNUTARNJI OTPOR). POTREBAN JE DEPOLARIZATOR, TVAR KOJA POTIČE OKSIDACIJU MJEHURIĆA VODIKA, TAKO DA SE ONI IZDVOJE KAO VODA.

RJEŠENJE: LECLANCHÉOV ČLANAK



REAKCIJA:

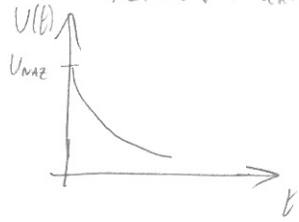
MATERIJAL ANODE + DEPOLARIZATOR → OKSID MAT. ANODE + REDUKS DEPOL.

VRSTE PRIMARNIH ELEKTROKEMIJSKIH IZVORA

CINK-UGLJIK BATERIJE

$U = 1{,}5\ V$

NEPOVOLJNA KRIVULJA PRAŽNJENJA



$30\ Wh/kg$

ALKALNE BATERIJE

ELEKTROLIT JE LUŽINA (ALKALIJ)

OPIS ČLANKA:

$$\text{-ELEKTRODA}\ (s)\ \Big|\ \underbrace{\text{OKSID -ELEKTRODE}\ (s)\ \Big|\ \text{LUŽINA}\ (aq)}_{\text{ELEKTROLIT}}\ \Big|\ \text{DEPOLARIZATOR}\ (s),\ \text{+ELEKTRODA}\ (s)$$

ALKALNI-MANGAN (BEZ ŽIVE I KADMIJA)

$$Zn(s)\ |\ ZnO\ (s)\ |\ KOH(aq)\ |\ MnO_2(s), C(s)$$

$$Zn + 2MnO_2 \rightarrow ZnO + Mn_2O_3$$

$U = 1{,}5\ V$

ŠIROK RASPON KAPACITETA: $[50, 15\,000]\ [mAh]$

T: $[-20, 55]\ [°C]$

$R_{un} < 1\Omega = const.$

$E/m = 130\ Wh/kg$

$E/V = 320\ Wh/l$

SKLADIŠTENJE: 95% NAKON 1 god.; 85% NAKON 4 god.

ŽIVIN (RUBEN-MALLORY CELL)

$$Zn(s)\ |\ ZnO(s)\ |\ KOH(aq)\ |\ HgO(s), C(s)$$

$$Zn(s) + HgO(s) \rightarrow ZnO(s) + Hg(l)$$

$U = 1{,}35\ V$

$100\ Wh/kg$

$550\ Wh/l$

90% NAKON 1 god.

NE RADI DOBRO NA NISKIM T

POVOLJNA KRIVULJA PRAŽNJENJA

KRATKI SPOJ NE UNIŠTAVA BATERIJU

CINK – SREBRNI OKSID

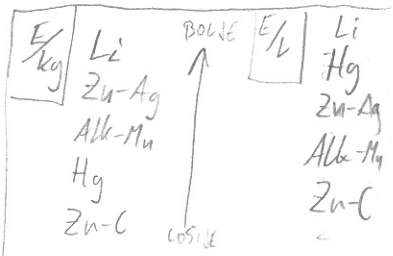
$$Zn(s)\ |\ ZnO(s)\ |\ KOH(aq)\ |\ Ag_2O(s), C(s)$$

$$Zn(s) + Ag_2O(s) \rightarrow ZnO(s) + 2Ag(s)$$

$U = 1{,}6\ V$

$-20 \div 50\ °C$

$130\ Wh/kg$; $500\ Wh/L$; 85% NAKON 2 god.



LITIJEVE BATERIJE

ANODA JE LITIJ – NAJVEĆI ELEKTRODNI POTENCIJAL

$U = 3\ V$

VELIK R_{un} (10Ω NA $1\ kHz$)

$-40 \div 70\ °C$

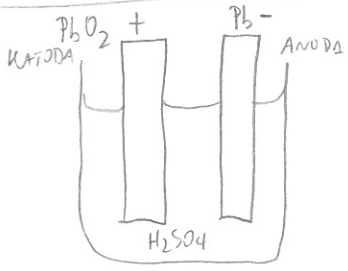
$270\ Wh/kg$

$690\ Wh/l$

97% NAKON 5 god.

VRSTE SEKUNDARNIH ELEKTROKEMIJSKIH IZVORA

OLOVNI AKUMULATOR



$$Pb + PbO_2 + 2H_2SO_4 \underset{\text{PUNJENJE}}{\overset{\text{PRAŽNJENJE}}{\rightleftharpoons}} 2PbSO_4 + 2H_2O$$

$U_{NAZ} = 2V$

$U_{PH} = 2,2V$

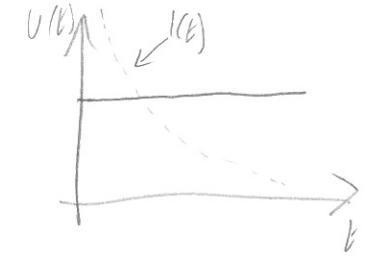
$U_{min} = 1,83V$

$U_{MAX} = 2,7V$

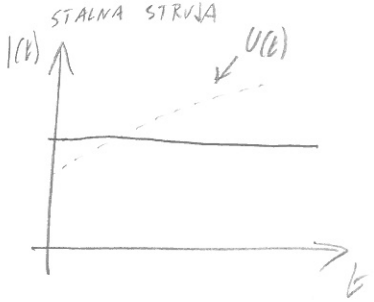
$30\ Wh/kg$

NAČINI PUNJENJA:

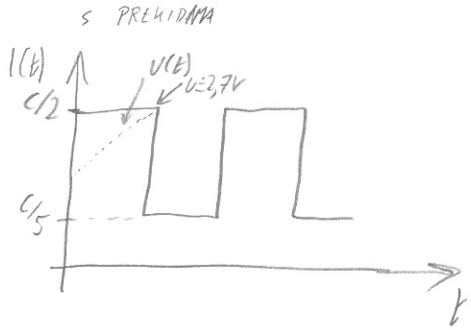
STALNI NAPON



STALNA STRUJA



S PREKIDIMA



Ni-Cd AKUMULATOR

$$2NiOOH + Cd + 2H_2O \underset{\text{PUNJENJE}}{\overset{\text{PRAŽNJENJE}}{\rightleftharpoons}} 2Ni(OH)_2 + Cd(OH)_2$$

$U_{NAZ} = 1,2V$

$U_{PH} = 1,3V$

$U_{min} = 1V$

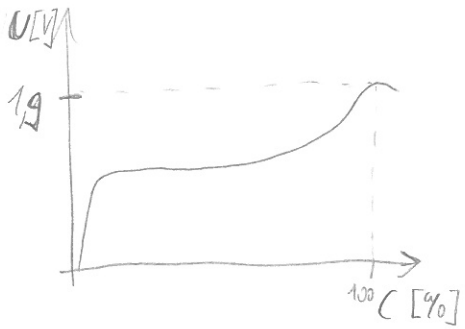
$U_{MAX} = 1,45V$

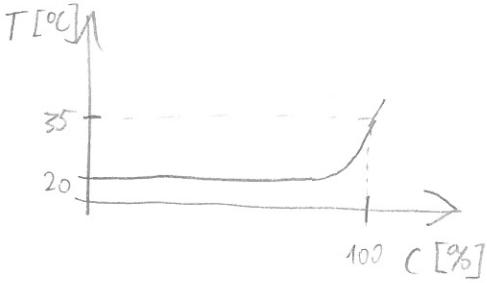
$30\ Wh/kg$

$60\ Wh/L$

C JE DEFINIRAN ZA $I = 0,2C$ NA 20°C

PUNJENJE:





Ni-MH AKUMULATOR

„METAL" JE SLITINA KOJA MOŽE POHRANITI PUNO VODIKA U SVOM VOLUMENU ($LaNi_5$, $TiMn_2$, $ZrMn_2$)

$$MH + NiOOH \underset{\text{PUNJENJE}}{\overset{\text{PRAŽNJENJE}}{\rightleftharpoons}} M + Ni(OH)_2$$

100 Wh/kg

180 Wh/L

$U_{NAZ} = 1{,}2V$ $U_{min} = 1V$

$U_{PU} = 1{,}3V$

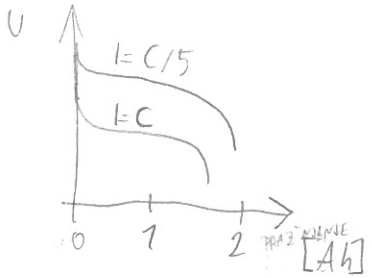
500 CIKLUSA PUNJENJA I PRAŽNJENJA

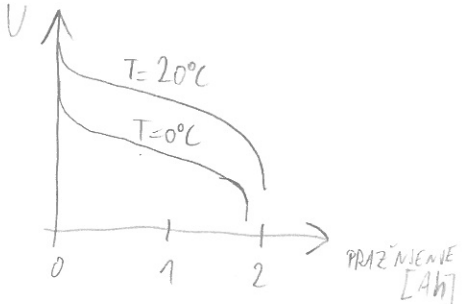
$R_{un} = 20m\Omega$

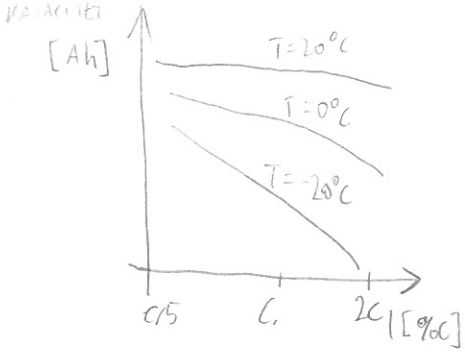
$-20 \div 40°C$

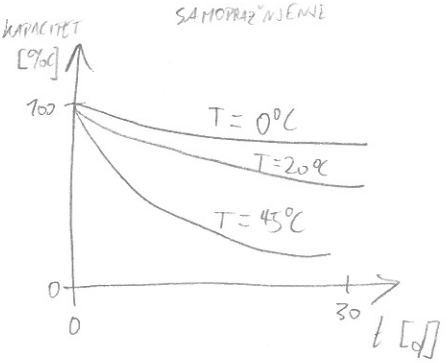
PODNOSI JAKE STRUJE PRAŽNJENJA I PUNJENJA

PRAŽNJENJE:

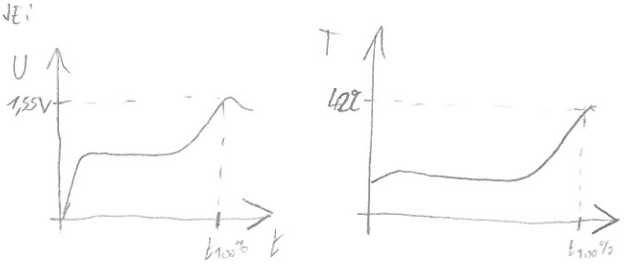








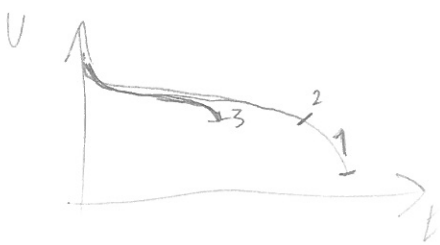
PUNJENJE:



PREKID PUNJENJA:

- KAD NAPON POČNE PADATI
- KAD TEMPERATURA DOSEŽE KRITIČNU VRIJEDNOST
- PROMATRANJE DERIVACIJE TEMPERATURE

MEMORY EFFECT – POJAVA GUBITKA KAPACITETA NAKON PUNJENJA NEPOTPUNO ISPRAŽNJENOG AKUMULATORA (DIJELU MATERIJALA KOJI NIJE BIO UKLJUČEN U CIKLUS PRAŽNJENJA I PUNJENJA POVEĆAVA SE OTPOR).



Li-ION AKUMULATOR

$U_{NAZ} = 3,6\,V$

150 Wh/kg
300 Wh/l

$-20 \div 60\,^{\circ}C$

$R_{un} = 20\,m\Omega$

500 – 1000 CIKLUSA PUNJENJA I PRAŽNJENJA

GUBI 5% C U MJESEC DANA

NEMA MEMORIJSKOG EFEKTA

OSTALI IZVORI

SUPERKONDENZATORI

$C = \varepsilon_0 \varepsilon_r \cdot \frac{S}{d}$ $\quad S \uparrow \Rightarrow C \uparrow$

$S_1 > S_2$

TAKVI MATERIJALI SU AKTIVIRANI UGLJIK ILI NANOČESTICE

$U_{MAX} \leq 2{,}5\,V$!

$\Delta C \approx 20\% C_{NAZ}$!

$R_u = 10\,m\Omega$

VEĆI NAPON → SERIJSKI SPOJ KONDENZATORA $\quad Q = C \cdot U \quad Q_1 = Q_2 \Rightarrow U_1 = \frac{Q}{C_1}$; $U_2 = \frac{Q}{C_2}$

$V = \frac{Q}{C}$ $\quad C \downarrow \Rightarrow U \uparrow$

$U > 2{,}5\,V \Rightarrow$ NIJE DOBRO

POTREBNO JE IZJEDNAČITI NAPONE NA KONDENZATORIMA (OTPORMA ILI AKTIVNA MREŽA — TROŠI STRUJU)

SUNČANE ĆELIJE

$U_{NAZ} \approx 0{,}5\,V$ — SERIJSKI SPOJ - PAZITI NA PRLJAVE ĆELIJE ILI ONE U SJENI

$I_{NAZ} \approx [mA, A]$ - PARALELNI SPOJ

$P_{OBLAČNO} \approx 5\% \sim 20\%\ P_{SUNČANO}$!

REGULATOR TREBA DRŽATI RADNU TOČKU ĆELIJE NA TOČKI MAKSIMALNE SNAGE

GORIVE ĆELIJE

KEMIJSKA REAKCIJA: VODIK, KISIK, KATALIZATOR → VIŠAK ELEKTRONA → EL. POLJE

NUSPRODUKT JE VODA

PROBLEM: PROIZVODNJA I SKLADIŠTENJE VODIKA

RJEŠENJE?: ĆELIJE NA METANOL ILI DRUGE UGLJIKOVODIKE?

IZBOR GOTOVOG REGULATORA

- VAŽNI PARAMETRI GOTOVIH REGULATORA:
  - IZNOS I TOLERANCIJA ULAZNOG NAPONA
  - IZNOS I TOLERANCIJA IZLAZNOG NAPONA
  - LINE REGULATION (PROMJENA IZLAZNOG NAPONA ZBOG PROMJENE ULAZNOG NAPONA)
  - LOAD REGULATION (PROMJENA IZLAZNOG NAPONA ZBOG PROMJENE IZLAZNE STRUJE)
  - VALOVITOST IZLAZNOG NAPONA
  - DOZVOLJENI TEMPERATURNI OPSEG

LINEARNI ILI PREKIDAČKI REGULATOR?

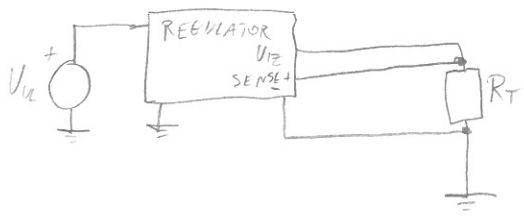
LINEARNI

- JEDNOSTAVNI
- MALA OSJETLJIVOST NA VANJSKE SMETNJE
- GENERIRA ZANEMARIVE SMETNJE
- MALA KORISNOST (20 – 60%)
- MALA VALOVITOST IZLAZNOG NAPONA ($5 mV_{pp}$)
- VELIKA BRZINA REGULACIJE
- VEĆI OD PREKIDAČKOG ZA ISTU SNAGU (OSIM ZA MALE SNAGE)

PREKIDAČKI

- KOMPLEKSNI
- VEĆA OSJETLJIVOST NA VANJSKE SMETNJE
- GENERIRA ZNAČAJNE SMETNJE (ZRAČENJE, VOĐENJE)
- VELIKA KORISNOST (>80%)
- SREDNJA VALOVITOST IZLAZNOG NAPONA ($50 mV_{pp}$)
- SREDNJA BRZINA REGULACIJE
- ŠTO JE FREKVENCIJA RADA VEĆA, TO JE REGULATOR MANJI

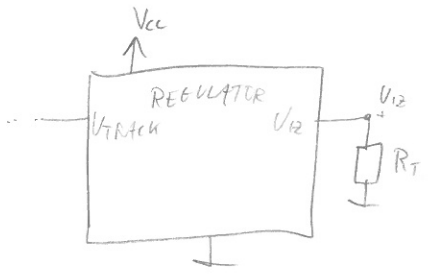
SENSE FUNKCIJA

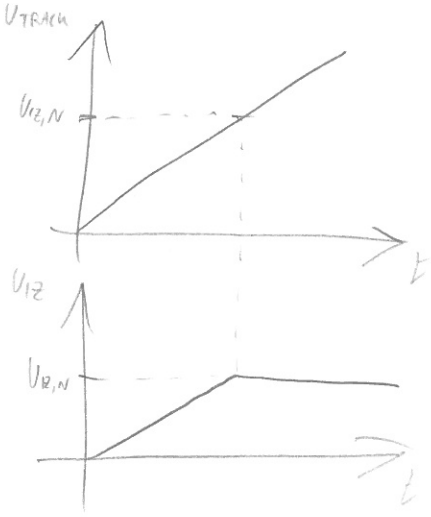


- ZA VELIKE IZLAZNE STRUJE ČAK I MALI OTPOR VODOVA UZROKUJE ZNAČAJAN PAD NAPONA ($I_{IZ} = 10 A$; $R_{VOD} = 0{,}1 \Omega$; $\Delta U = 1V$).
- SENSE VODOVI SU DODATNI VODOVI SPOJENI ŠTO BLIŽE TERETU KOJI MJERE NAPON NA TERETU (REGULACIJA REGULIRA NAPON NA TERETU, ANE NA IZLAZU IZ REGULATORA)
- ZBOG VELIKOG ULAZNOG OTPORA REGULACIJSKOG KRUGA SENSE VODOVI MOGU BITI TANKI (MALA STRUJA)

TRACK FUNKCIJA

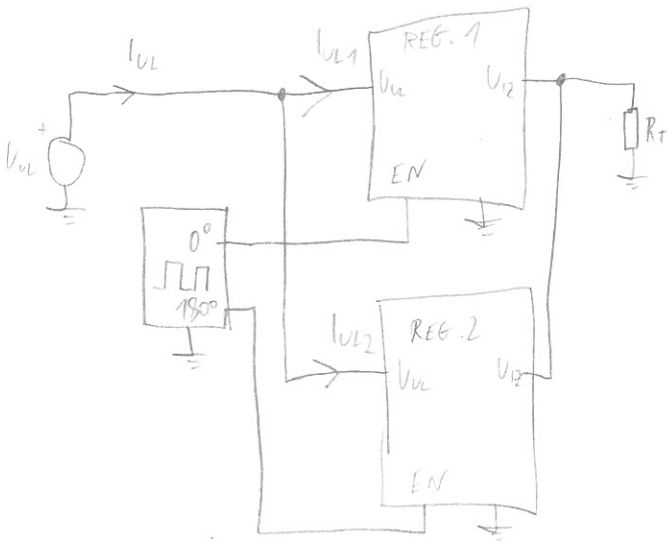
- NEKI SKLOPOVI TREBAJU VIŠE NAPONA NAPAJANJA KOJI SE TREBAJU UKLJUČITI NEKIM REDOSLIJEDOM.
- TRACK IZVOD PRIMA NEKI ULAZNI NAPON I PRATI GA SVE DOK NE DOĐE DO SVOG NAZIVNOG NAPONA

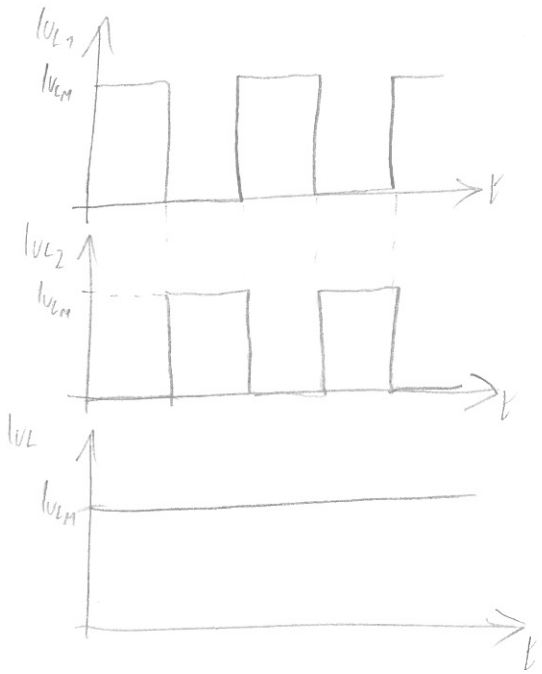




NAIZMJENIČNI RAD

- PREKIDAČKI REGULATORI ODLIKUJU SE VELIKIM I BRZIM PROMJENAMA ULAZNE STRUJE
- KAKO BI SE SMANJIO MAKSIMALNI IZNOS ULAZNE STRUJE I SUZIO NJEN SPEKTAR, POSTAVLJA SE VEĆI BROJ PARALELNO SPOJENIH REGULATORA KOJI RADE U PROTUFAZI
- TAKOĐER, LAKŠE JE OSMISLITI REGULATOR DVOSTRUKO MANJE SNAGE





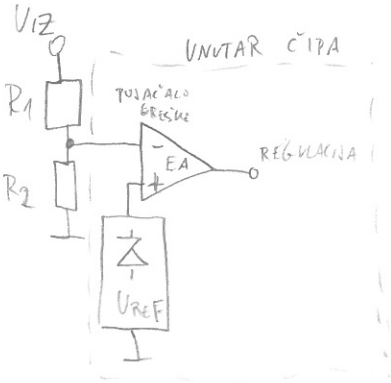
PREKOSTRUJNA ZAŠTITA

NAČINI RADA:

- PRESTANAK RADA REGULATORA
- STRUJNO OGRANIČENJE (REGULATOR POČINJE RADITI KAO STRUJNI IZVOR)
- „SOFT START" – KASNJENJE NAČIN RADA – REGULATOR POLAKO (NAKON HLAĐENJA) PODIŽE IZLAZNI NAPON I U SLUČAJU PONOVNOG STRUJNOG PREOPTEREĆENJA PONOVO ISKLJUČUJE NAPAJANJE

PRINCIP RADA LINEARNIH REGULATORA

- RADE TAKO DA PROMATRAJU IZLAZNI NAPON I PREMA POTREBI NAMJEŠTAJU PAD NAPONA NA AKTIVNOM ELEMENTU (NUŽNA DISIPACIJA)
- OČITO MORA POSTOJATI PAD NAPONA NA REGULATORU
- KAKO ZNATI KOLIKI JE NAPON NA IZLAZU? ⇒ POTREBAN JE DODATAN IZVOR REFERENTNOG NAPONA (U_{REF} OČITO $< U_{IZ}$) ⇒ POTREBNO SKALIRANJE U_{IZ} ZA POTREBE USPOREDBE

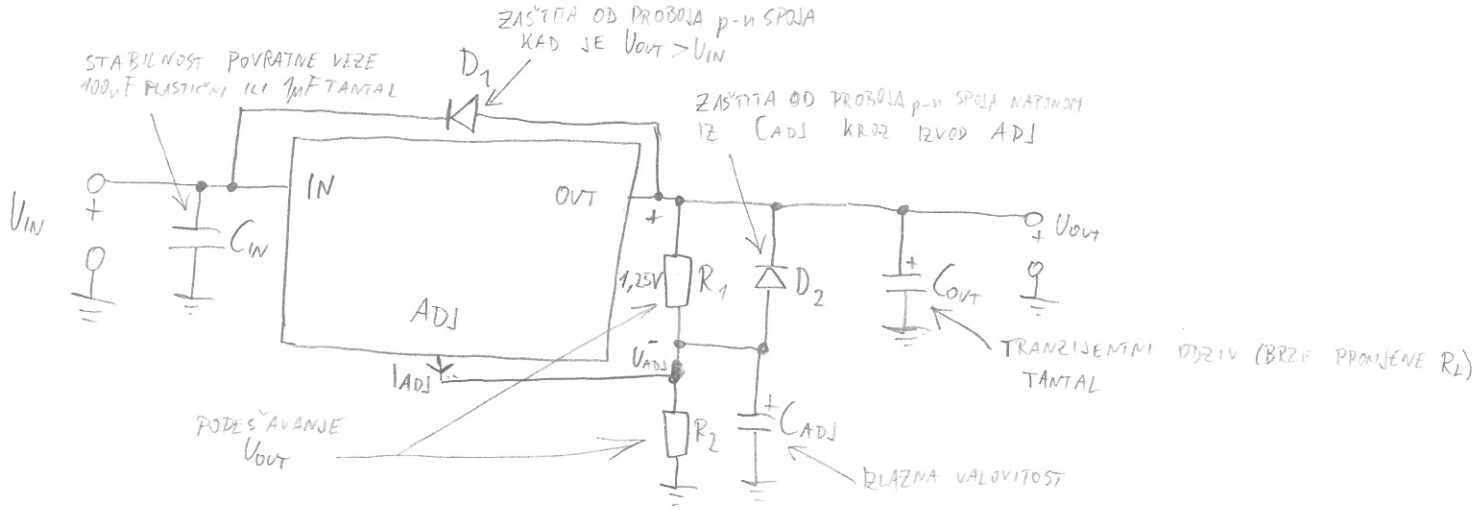


FIKSNI REGULATORI IMAJU I R_1 I R_2 NA ČIPU. POTREBNE PRECIZNE VRIJEDNOSTI R_1 I R_2!! (TRIMER?)

PRIMJER: LM317 (BOLJA REGULACIJA OD 78xx)

KARAKTERISTIKE:
- $U_{OUT} \in [1{,}25,\ 37]$ [V]
- $I_{OUT} \leq 1{,}5$ A
- ZAŠTITA OD PREGRIJAVANJA I PREOPTEREĆENJA
- PLUTAJUĆI REGULATOR

NAPOMENE:
- $U_{OUT} - U_{ADJ} = 1{,}25$ V
- $I_{ADJ} \approx 50\,\mu$A



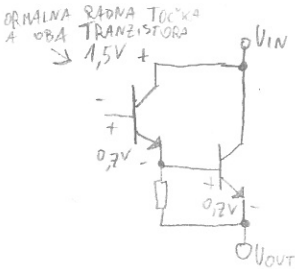
U STACIONARNOM STANJU (C_{ADJ} PUN), UZ $I_{ADJ} = 0$, VAŽI:

$$\frac{R_2}{R_1+R_2} \cdot U_{OUT} = U_{OUT} - 1{,}25\,V \Rightarrow \left(\frac{R_2}{R_1+R_2} - 1\right) \cdot U_{OUT} = -1{,}25\,V$$

$$\Rightarrow U_{OUT} = \frac{1{,}25\,V}{1 - \frac{R_2}{R_1+R_2}} = \frac{\frac{1{,}25\,V}{1}}{\frac{R_1+R_2-R_2}{R_1+R_2}} = 1{,}25\,V \cdot \frac{R_1+R_2}{R_1} = \boxed{U_{OUT} = 1{,}25\,V \cdot \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)}$$

UZ UTJECAJ I_{ADJ}:

$$\boxed{U_{OUT} = 1{,}25\,V \cdot \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) + I_{ADJ} \cdot R_2}$$



$U_{IN} - U_{OUT} = 0{,}7\,V + 0{,}7\,V + 1{,}5\,V = 2{,}9\,V$

$U_{IN} - U_{OUT} \geq 2{,}9\,V \Rightarrow$ MOGUĆA VELIKA DISIPACIJA

VERZIJA ZA NEGATIVNI NAPON: LM337:
- 10x VEĆI C_{IN}
- NUŽAN C_{OUT}

- LDO (LOW DROPOUT) REGULATORI:
  - MANJI PAD NAPONA NA REGULATORU
  - LOŠIJA STABILIZACIJA
  - ZNAČAJNO VEĆA VLASTITA POTROŠNJA
  - KRITIČNA KVALITETA ULAZNOG I IZLAZNOG KONDENZATORA

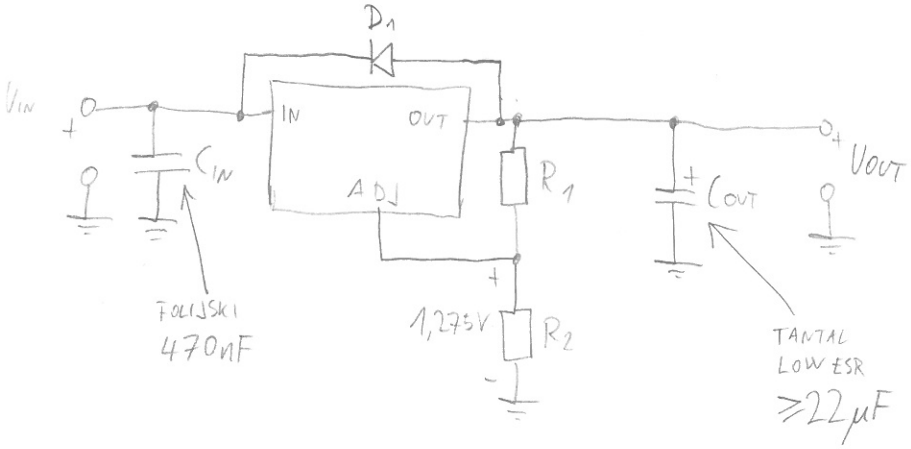
PRIMJER: LM2941

KARAKTERISTIKE: $(U_{IN} - U_{OUT})_{min} = 1V$

$I_{ADJ} = 60mA$ ZA $I_{OUT} = 1A$

$I_{ADJ} = 20mA$ ZA $I_{OUT} = 5mA$

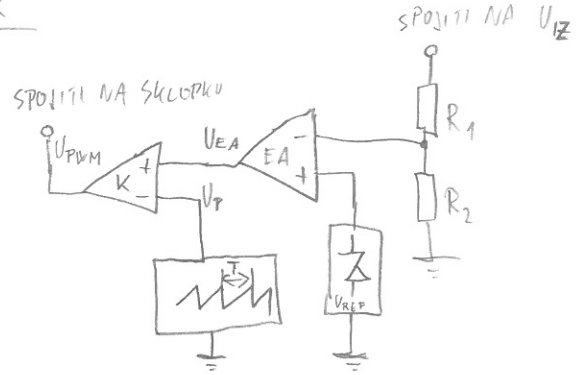
NAPOMENA: $U_{ADJ} = 1,275V$



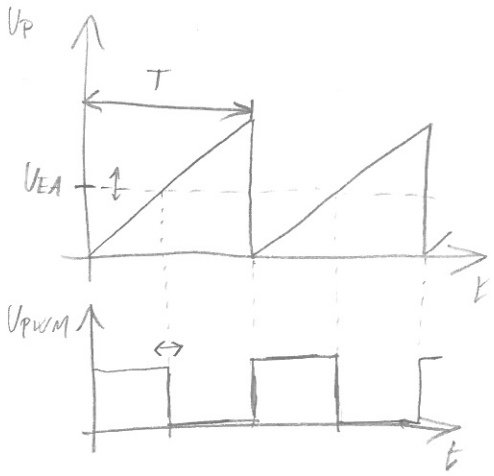
$$U_{OUT} \cdot \frac{R_2}{R_1+R_2} = 1,275V \Rightarrow U_{OUT} = \frac{\frac{1,275V}{1}}{\frac{R_2}{R_1+R_2}} = 1,275V \cdot \frac{R_1+R_2}{R_2} = \boxed{U_{OUT} = 1,275V \cdot \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right)}$$

PRINCIP RADA PREKIDAČKIH REGULATORA

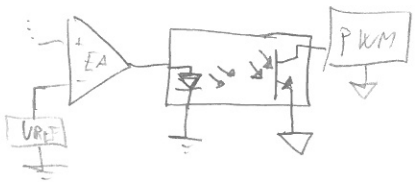
PWM REGULATOR



RAZLIKA DOBIVENOG I ŽELJENOG NAPONA SE POJAČAVA I USPOREĐUJE S PILASTIM NAPONOM – KADA JE RAZLIKA VEĆA, SKLOPKA TREBA BITI ZATVORENA DUŽE.

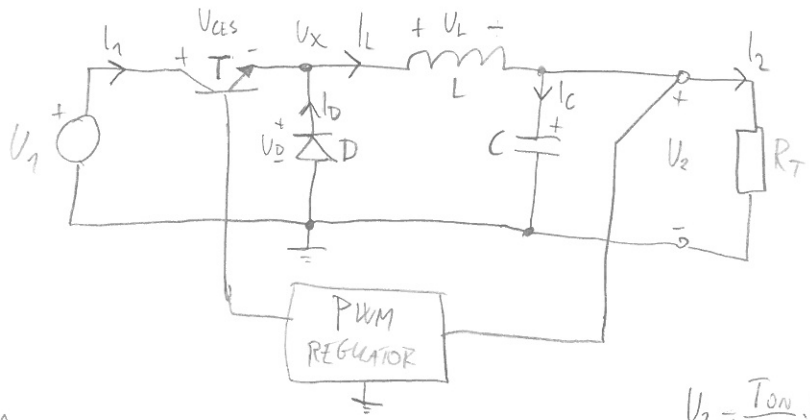


KADA JE POTREBNA GALVANSKA IZOLACIJA, IZMEĐU POJAČALA GREŠKE I PWM STUPNJA NALAZI SE OPTOCOUPLER:



BUCK REGULATOR (PROPUSNI)

$U_2 \leq U_1$



NAPOMENA: $U_D = U_{CES} = 0$

SKLOPKA VODI: $I_D = 0$

$$i_L(t) = \frac{1}{L}\int u_L(t)\,dt + I_{L0}$$

$$U_L = U_1 - U_2$$

$$I_L = \frac{\Delta U}{L}\cdot t + I_{L0} \rightarrow \text{STRUJA RASTE}$$

$$U_2 = \frac{T_{ON}}{T}\cdot U_1$$

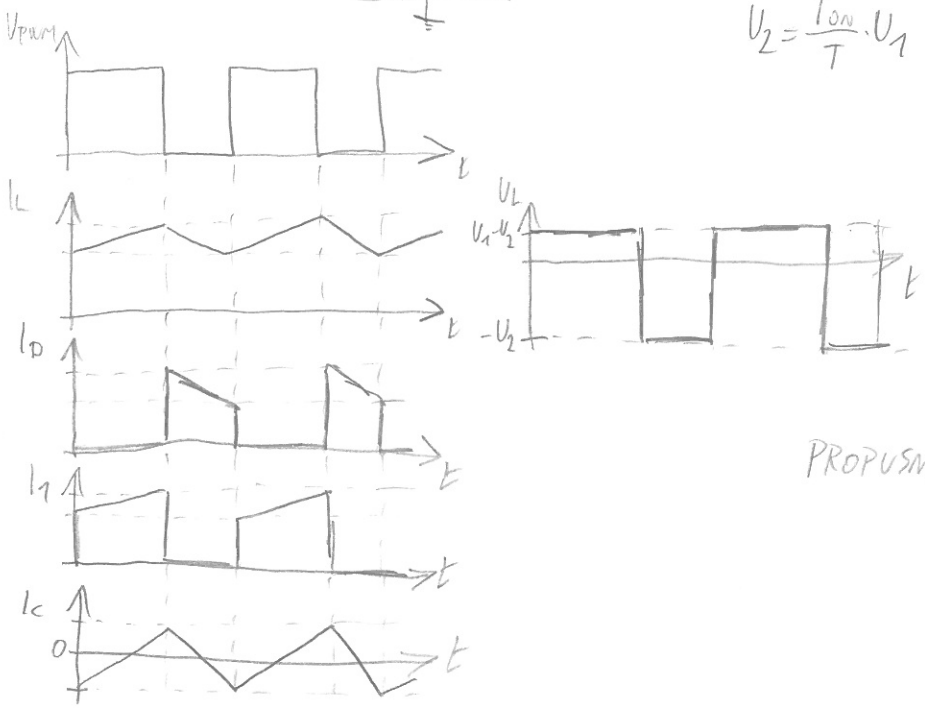
SKLOPKA NE VODI

$$U_L(t) = L\cdot\frac{di_L(t)}{dt} \Rightarrow U_L \text{ MIJENJA PREDZNAK}$$

PA JE $U_X < 0$ $(=0)$

$$U_L = U_X - U_2 < 0$$

$$I_L = \frac{\Delta U}{L}\cdot t + I_0 \rightarrow \text{STRUJA PADA}$$

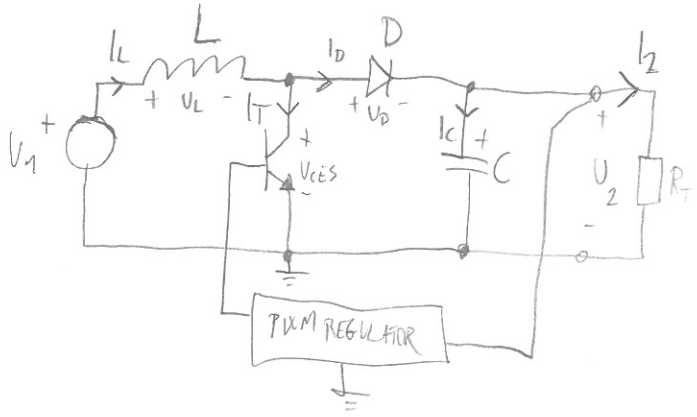


PROPUSNI – JER VOĐENJE SKLOPKE „PROPUŠTA" TOK ENERGIJE PREMA TROŠILU.

BOOST REGULATOR (ZAPORNI)

$U_2 \geq U_1$

NAPOMENA: $U_D = U_{CES} = 0$



SKLOPKA VODI: $I_D = 0$

$I_T = I_L$ $\quad I_L = \frac{1}{L}\int U_1(t)dt + I_{L_0}$

$U_L = U_1$ $\quad I_L = \frac{U_1}{L} \cdot t + I_{L_0}$ → STRUJA RASTE

SKLOPKA NE VODI

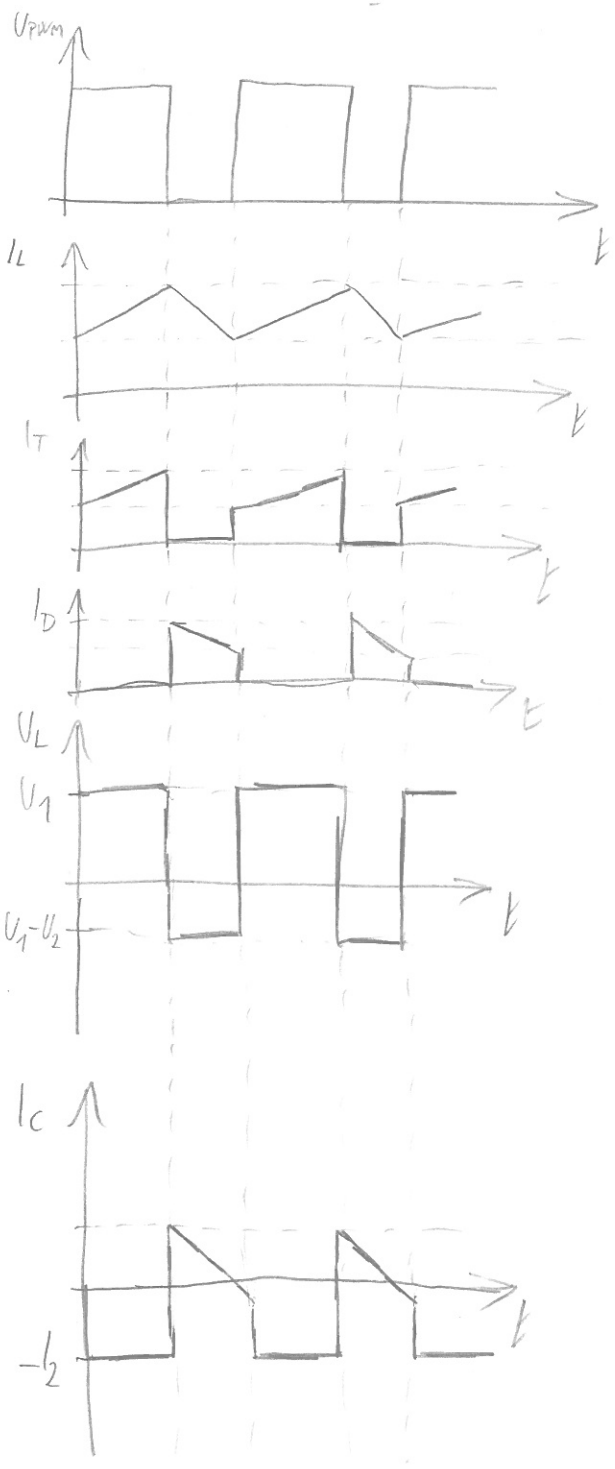
$U_L = L \cdot \frac{di_L(t)}{dt}$ ⇒ U_L MIJENJA PREDZNAK

$U_L = U_1 - U_2 < 0$

$I_D = I_L$; $I_T = 0$

$I_C = I_L - I_2$ ⇒ DOK $I_L > I_2$ ⇒ $I_C > 0$

$$U_2 = \frac{U_{UL}}{1 - \frac{T_{ON}}{T}}$$



$I_L = \frac{U_1 - U_2}{L} \cdot t + I_{L_0}$ → STRUJA PADA

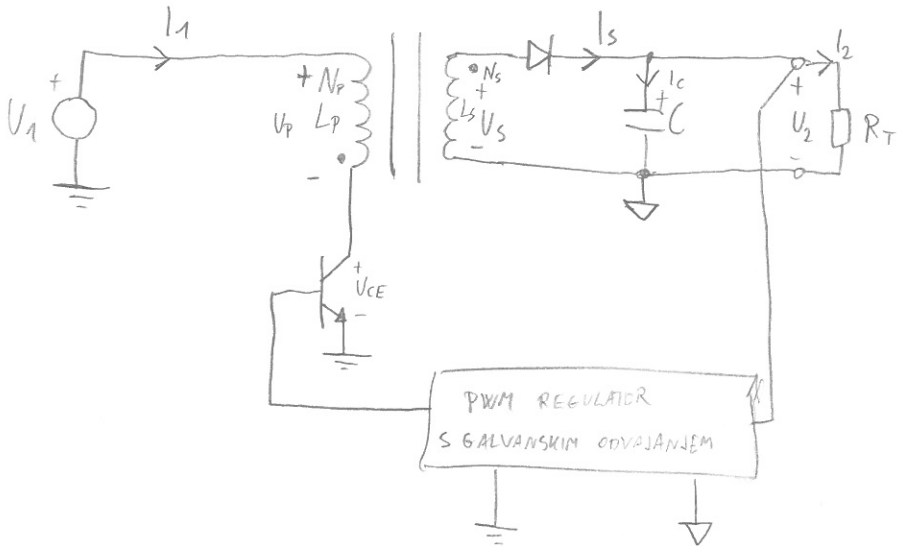
ZAPORNI – JER VOĐENJE SKLOPKE „ZATVARA" TOK ENERGIJE PREMA TROŠILU.

FLYBACK REGULATOR (ZAPORNI S GALVANSKOM IZOLACIJOM)

– BOOST S TRANSFORMATOROM UMJESTO ZAVOJNICE

$U_2 \lessgtr U_1$

NAPOMENA: $U_D = U_{CES} = 0$



SKLOPKA VODI:

$I_1 = \frac{1}{L_P} \int U_1(t)\,dt + I_{1_0}$

$I_1 = \frac{U_1}{L_P} \cdot t + I_{1_0}$ → STRUJA RASTE

$U_P = U_1 \Rightarrow U_S = -U_1 \frac{N_S}{N_P} \Rightarrow I_S = 0$

$I_C = -I_2$

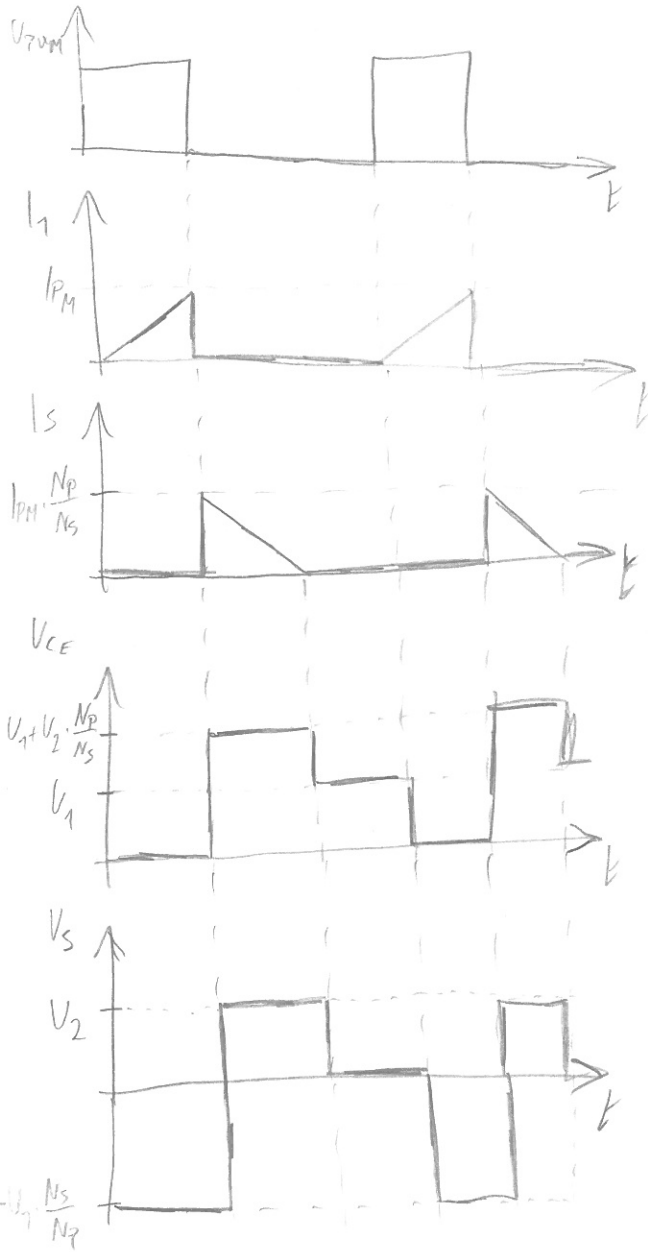
SKLOPKA NE VODI:

$U_S = U_2$

$U_{PI} = U_2 \cdot \frac{N_P}{N_S} \Rightarrow U_{CE} = U_1 + U_2 \cdot \frac{N_P}{N_S}$

DOK $I_S > 0$

(DOK SE NE POTROŠI ENERGIJA IZ ZAVOJNICE)



ZAPORNI – JER VOĐENJE SKLOPKE „ZATVARA" TOK ENERGIJE PREMA TERETU.

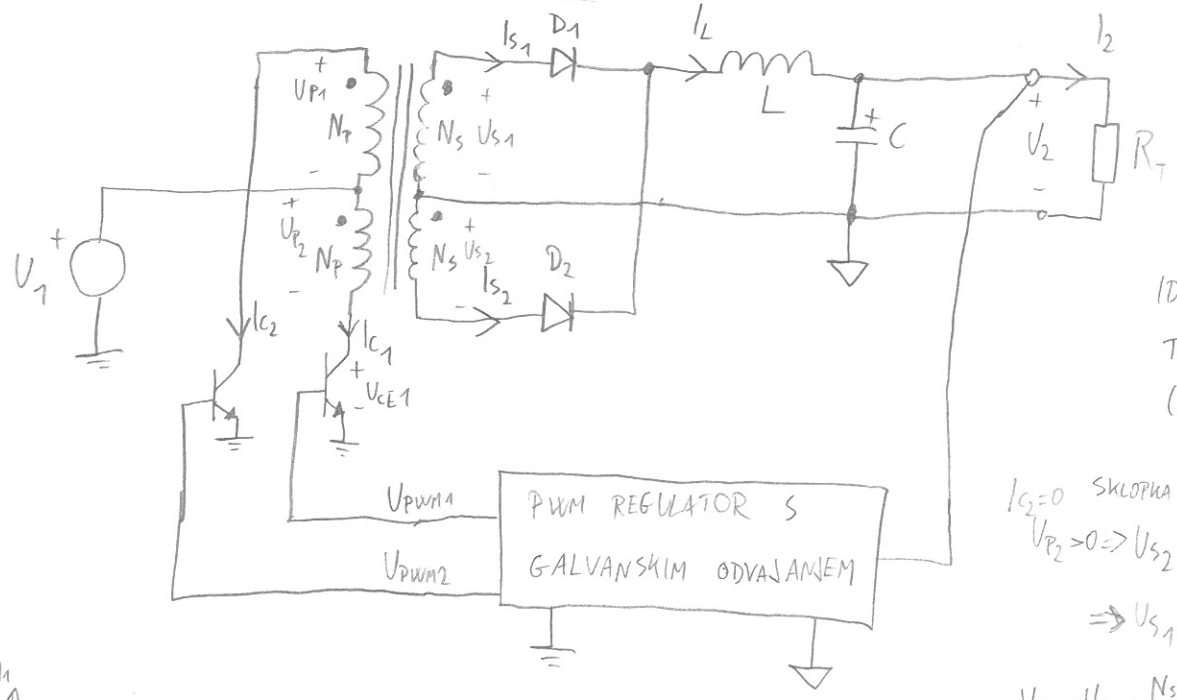
DODAVANJEM SEKUNDARNIH NAMOTA DOBIVA SE VIŠE IZLAZA.

IZLAZNI NAPONI OVISE O BROJU ZAVOJA SEKUNDARA (REGULATOR MOŽE BITI I SILAZNI I UZLAZNI)

PUSH-PULL REGULATOR (PROTUTAKTNI)

$U_2 <=> U_1$

NAPOMENA:
$U_D = U_{CES} = 0$



IDEJA: UJEDNAČENIJE TROŠITI STRUJU (SKLOPKA VIŠE VODI)

$I_{C2}=0$ SKLOPKA 1 VODI:

$U_{P2} > 0 \Rightarrow U_{S2} > 0 \Rightarrow I_{S2} = 0$

$\Rightarrow U_{S1} > 0 \Rightarrow I_{S1} > 0$

$U_{S1} = U_{P2} \cdot \frac{N_S}{N_P}$ $\quad I_{S1} = I_L$

$$I_L = \frac{1}{L}\int U_L(t)dt + I_{L0}$$

$$I_L = \frac{\Delta U_L}{L} \cdot t + I_{L0}$$

$$I_L = \frac{U_{P2} \cdot \frac{N_S}{N_P} - U_2}{L} \cdot t + I_{L0}$$

- STRUJA RASTE

SKLOPKA 2 VODI:

$I_{C1}=0$

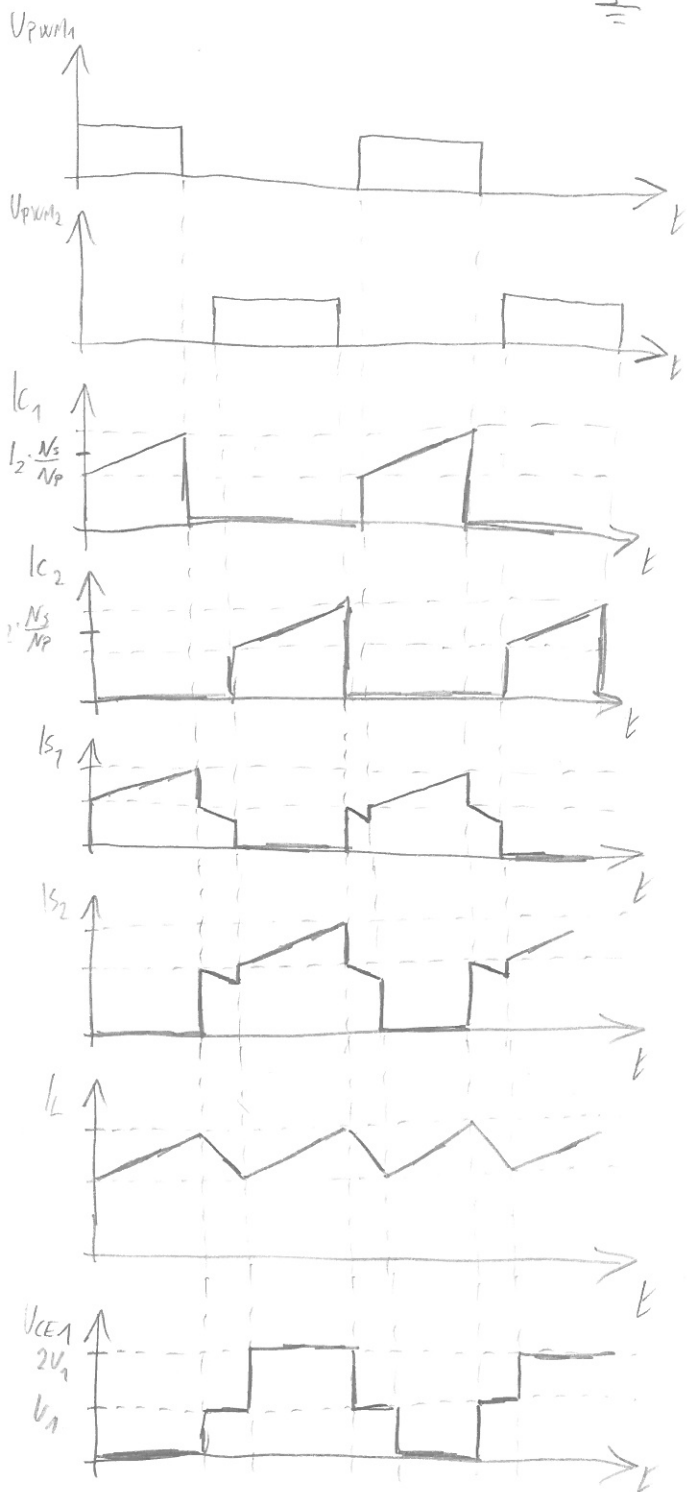
$U_{P1} < 0 \Rightarrow U_{S1} < 0 \Rightarrow I_{S1} = 0$

$\Rightarrow U_{S2} < 0 \Rightarrow I_{S2} > 0$

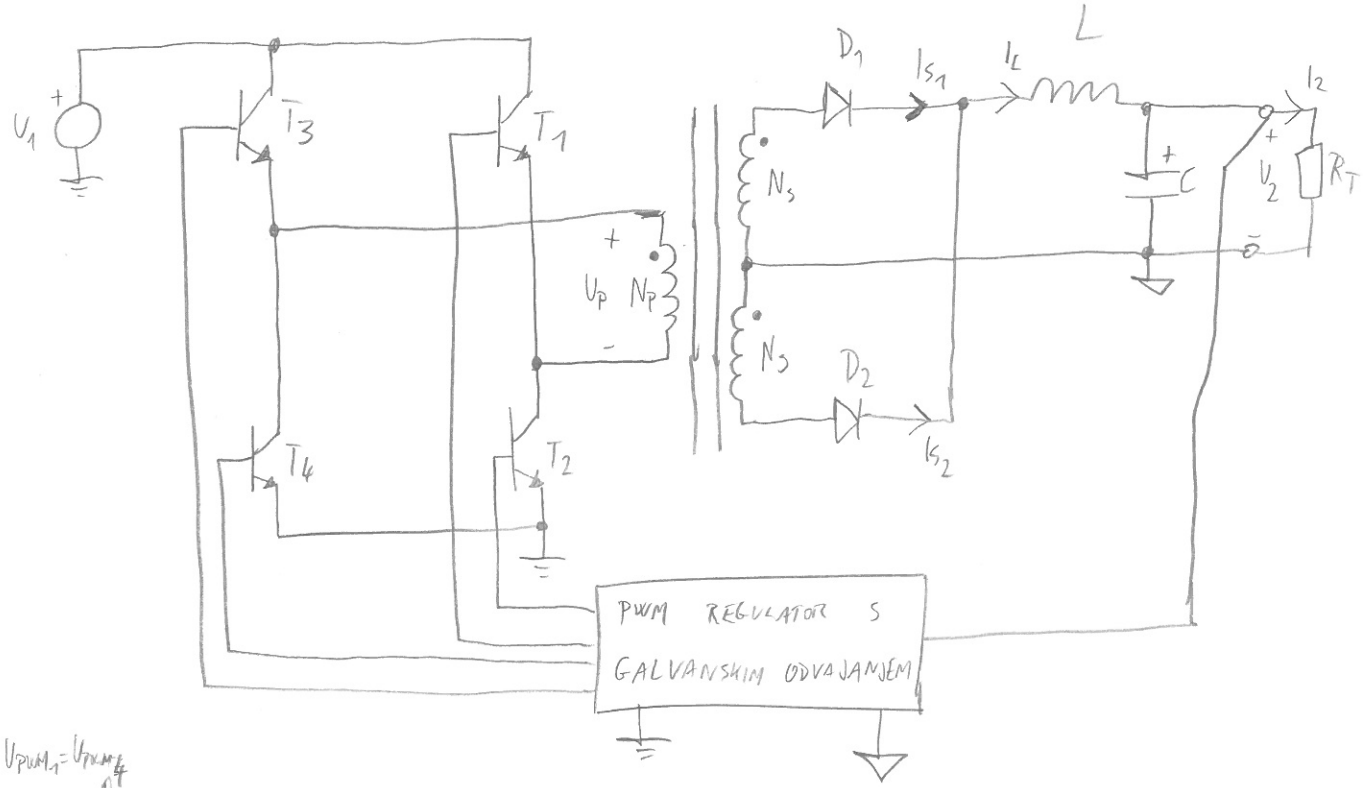
$U_{S2} = -U_1 \cdot \frac{N_S}{N_P}$ $\quad I_{S2} = I_L$

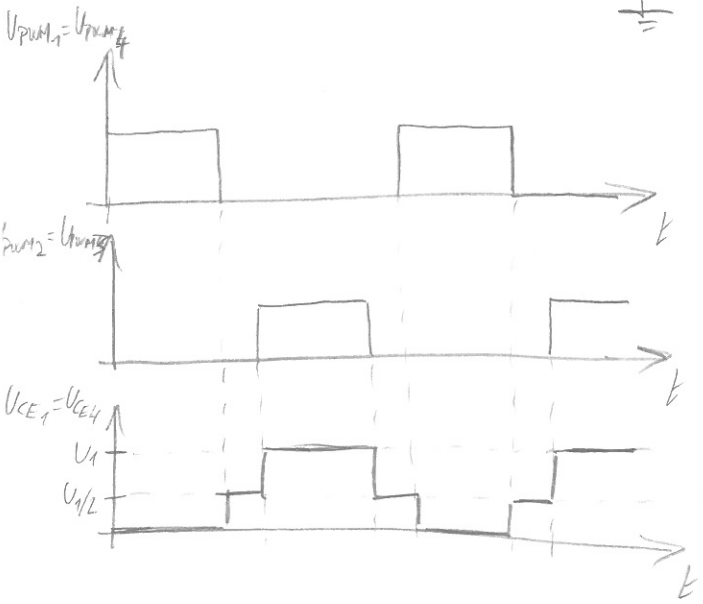
(ISTO)

MOGUĆE JE DODATI JOŠ SLABIJE REGULIRANIH IZLAZA

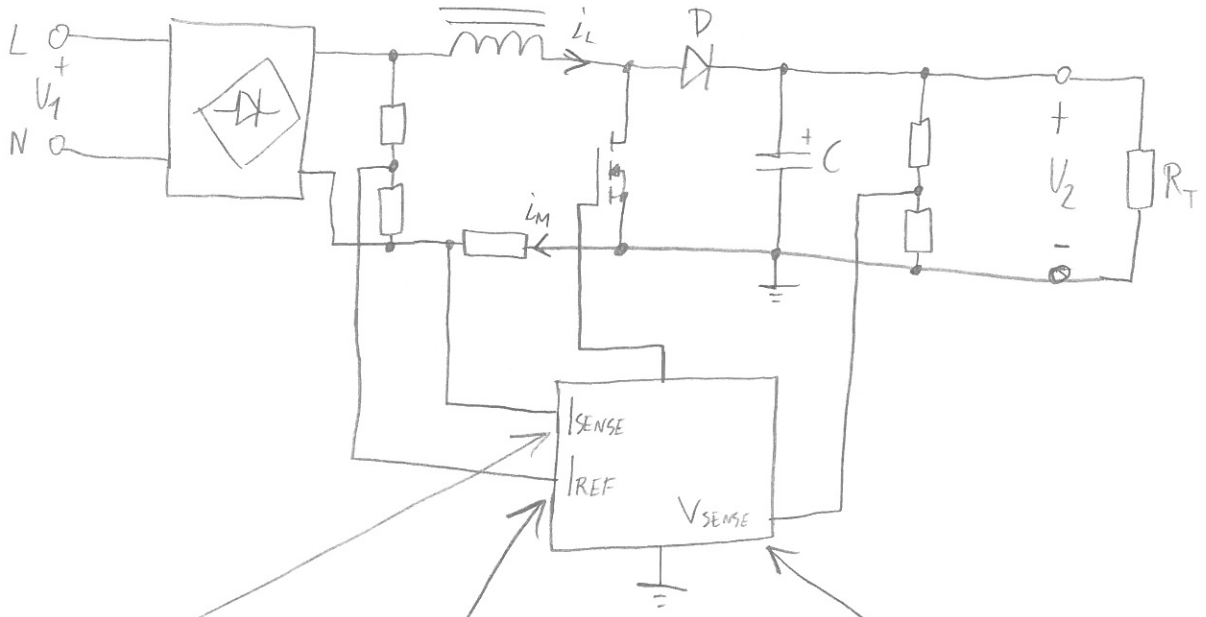


FULL BRIDGE REGULATOR (MOSM)





KOREKCIJA FAKTORA SNAGE



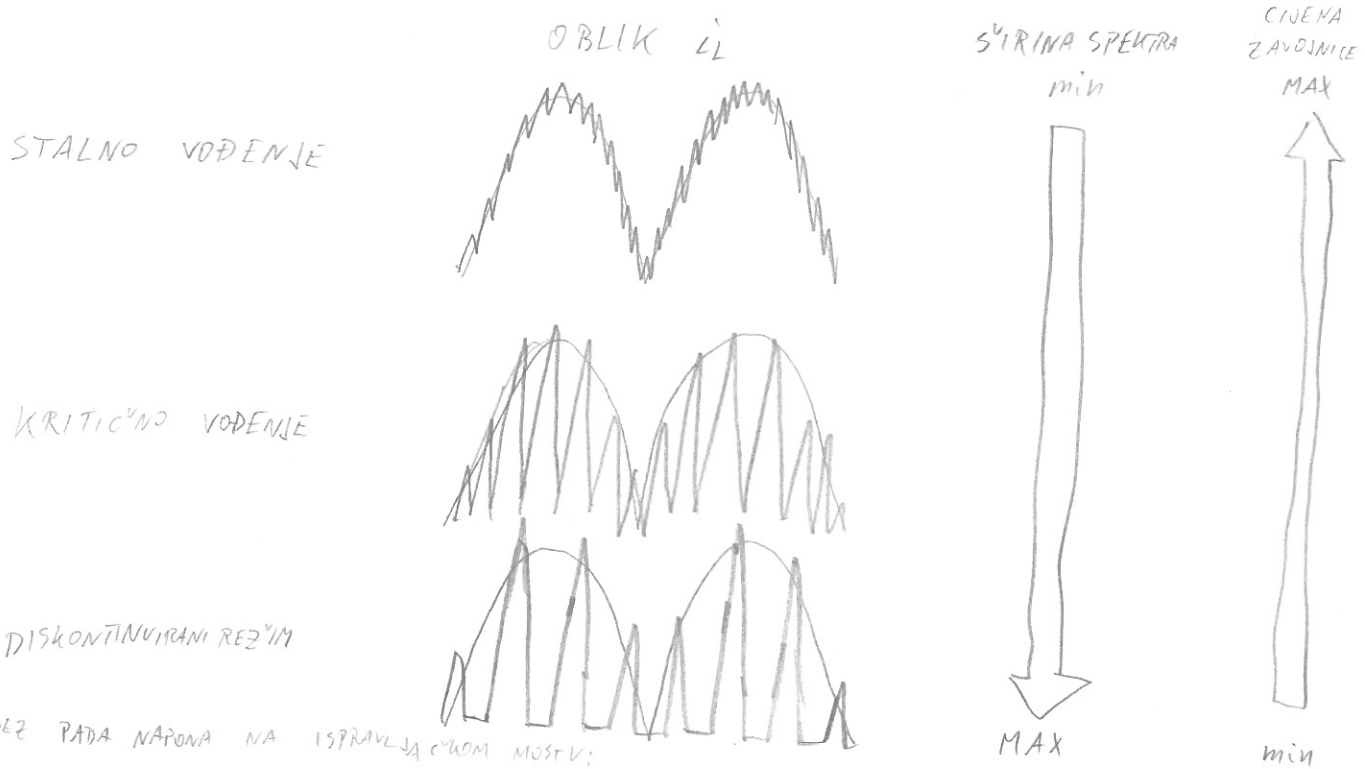
PRATI OBLIK IZLAZNE STRUJE (MJERI PAD NAPONA NA MALOM OTPORU)

PRATI OBLIK NAPONA NA ULAZU (TAKVA TREBA BITI STRUJA)

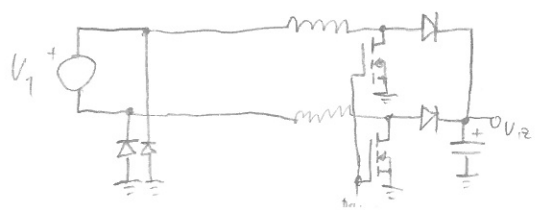
PRATI OBLIK IZLAZNOG NAPONA I ODRŽAVA GA KONSTANTNIM KOLIKO JE MOGUĆE (STRUJNA REGULACIJA IMA PREDNOST)

POSTAVLJA SE KAO PREDREGULATOR I NASTOJI SE MREŽI PRIKAZATI KAO OMSKI TERET.

REŽIMI RADA REGULACIJE:

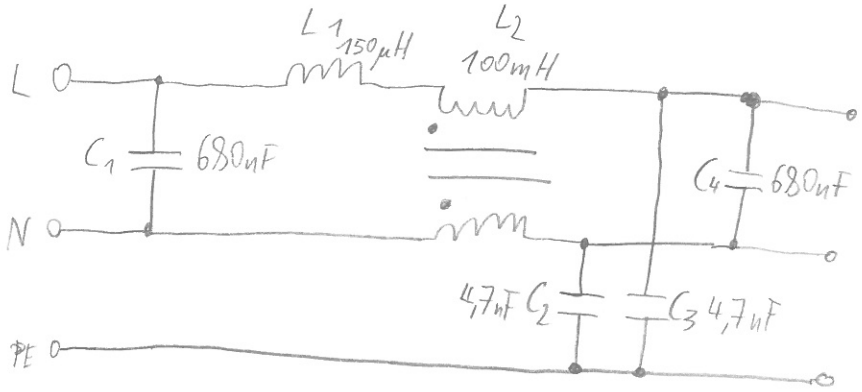


RJEŠENJE BEZ PADA NAPONA NA ISPRAVLJAČKOM MOSTU:



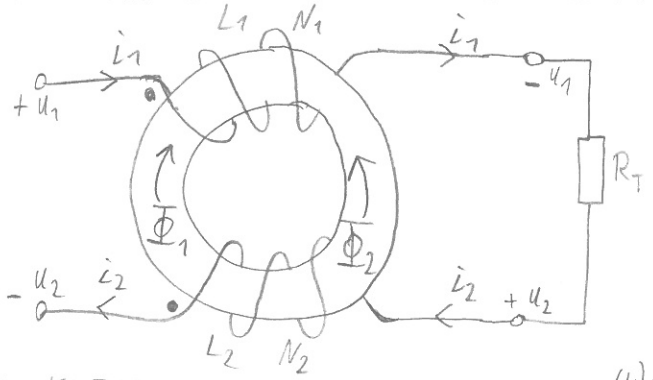
VLAZNI FILTAR

- POSTAVLJA SE PRIJE PFC ILI PRETVARAČA



KONSTRUKCIJA L2 (ZAVOJNICA ZA POTISKIVANJE ISTOFAZNIH SMETNJI)

OBIČNO
$N_1 = N_2$
$L_1 = L_2$
$M_{12} = M_{21}$



$$u_1(t) = L_1 \cdot \frac{di_1}{dt} - M \cdot \frac{di_2}{dt}$$

$$u_2(t) = L_2 \cdot \frac{di_2}{dt} - M \cdot \frac{di_1}{dt}$$

ZA ISTOFAZNE SMETNJE $-i_1 = i_2$:

$$u_1(t) = 2L_1 \cdot \frac{di_1}{dt}$$

$$u_2(t) = 2L_2 \cdot \frac{di_2}{dt}$$

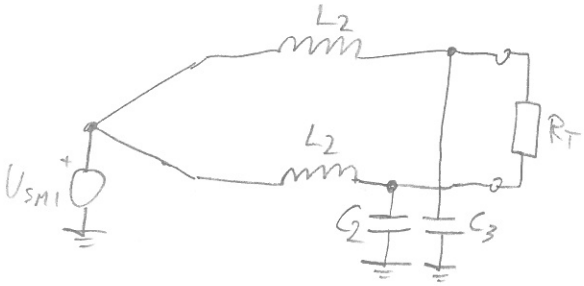
ZA DIFERENCIJALNE SMETNJE $i_1 = i_2$:

$$u_1(t) = 0$$

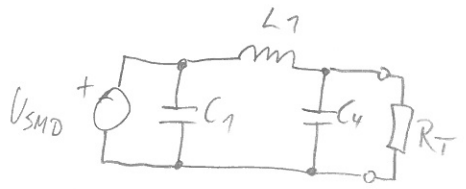
$$u_2(t) = 0$$

DAKLE, FILTAR IZGLEDA OVAKO U TA DVA SLUČAJA:

ZA ISTOFAZNE SMETNJE

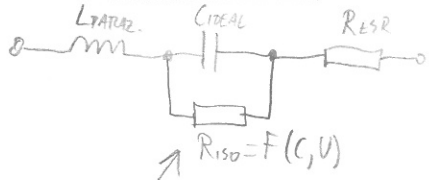


ZA DIFERENCIJALNE SMETNJE



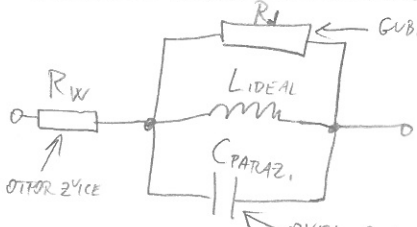
SVOJSTVA PASIVNIH KOMPONENATA BITNIH ZA REGULATORE

KARAKTERISTIKE KONDENZATORA

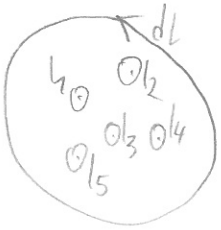


ZA VISOKONAPONSKI ELEKTROLITSKI KONDENZATOR ~ 1 MΩ

KARAKTERISTIKE ZAVOJNICA



AMPERE'OV ZAKON



$$H = \frac{N \cdot I}{l}$$

$$I = \frac{H \cdot l}{N}$$

$$\oint \vec{H} \cdot d\vec{L} = N \cdot I$$

PO ZATVORENOM PUTU

STRUJA PO ZAVOJU

MAGNETSKO POLJE [A/m]

BROJ ZAVOJA

PROTJECANJE STRUJE STVARA MAGNETSKO POLJE I OBRNUTO

FARADAYEV ZAKON

$$u(t) = N \cdot \frac{d\Phi}{dt}$$

$$\Phi = \int B \cdot dA \quad \leftarrow \text{ČESTO const.}$$

GUSTOĆA TOKA [T]

$$\Phi = B \cdot A$$

$$u(t) = N \cdot A \cdot \frac{dB}{dt}$$

$$\Delta\Phi = \frac{1}{N} \int u(t)\,dt$$

PROMJENA MAG. TOKA

PROMJENA MAGNETSKOG TOKA INDUCIRA NAPON I OBRNUTO

PERMEABILNOST

$$\mu = \mu_0 \cdot \mu_r = \frac{B}{H}$$

INDUKTIVITET

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

$$u_L(t)\,dt = L \cdot di(t) \quad / \int$$

$$\int u_L(t)\,dt = \int L \cdot di$$

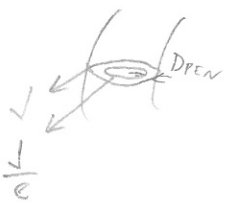
$$N \cdot \Delta\Phi = L \cdot \frac{H \cdot l}{N}$$

$$L = N^2 \cdot \frac{B \cdot A}{H \cdot l}$$

$$L = N^2 \cdot \underbrace{\mu_0 \mu_r \cdot \frac{A}{l}}_{= A_l}$$

VODLJIVOST MAGNETSKOG TOKA

SKIN EFFECT – STRUJA ŽELI ŠTO MANJE ENERGIJE PREDATI U MAGNETSKO POLJE VODIČA
– ZATO NA VISOKIM FREKVENCIJAMA TEČE KROZ POVRŠINU VODIČA
– RJEŠENJE: LICNASTA ŽICA



$$D_{PEN} = \sqrt{\frac{\rho}{\pi \mu_0 \mu_r \cdot F}} \quad \leftarrow \text{SPECIFIČNI OTPOR}$$

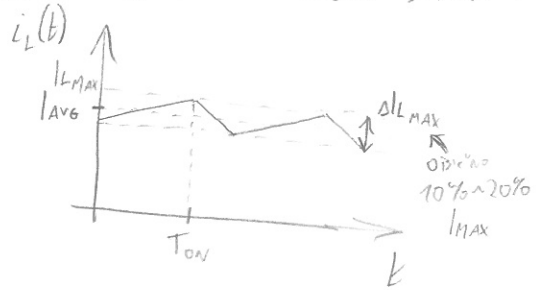
Cu: $D_{PEN} = \frac{7{,}6}{\sqrt{f}}$ [cm]

PROXIMITY EFFECT
– NABOJI SE RASPOREĐUJU PO POVRŠINI POD DJELOVANJEM MAGNETSKOG TOKA
– MAGNETSKO POLJE JEDNE ŽICE INDUCIRA STRUJU U DRUGOJ; TO POVEĆAVA OTPOR I ZAGRIJAVA ŽICU
– RJEŠENJE:

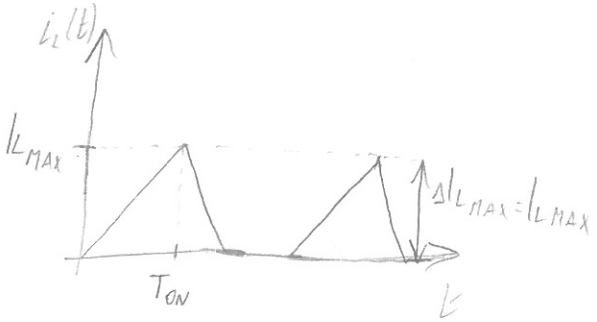
NAČIN RADA ZAVOJNICE

- SLUŽI ZA SPREMANJE ENERGIJE
- BITNI PARAMETRI:
  - L
  - B_{MAX}
  - ΔB_{MAX}
  - $R_{L_{DC}}$

IZ PRIMJENE JE POZNAT OBLIK STRUJE KROZ ZAVOJNICU:



KONTINUIRANI REŽIM RADA



DISKONTINUIRANI REŽIM RADA

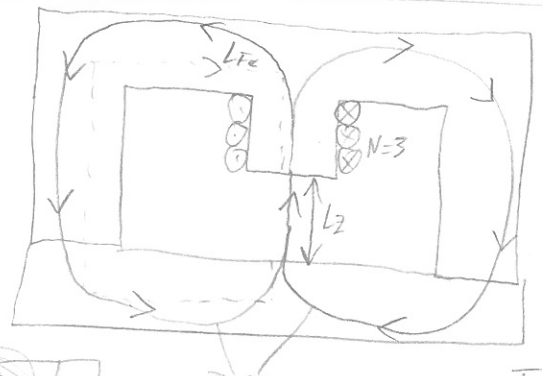
$I_{L_{MAX}} \uparrow \Rightarrow B_{MAX} \uparrow \Rightarrow$ MOGUĆE ZASIĆENJE!

$\Delta I_{L_{MAX}} \uparrow \Rightarrow \Delta B_{MAX} \uparrow \Rightarrow$ GUBICI U JEZGRI $\uparrow \Rightarrow$ ZAGRIJAVANJE!

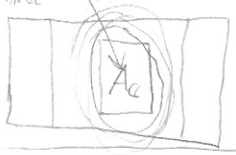
$$E_L = \frac{1}{2} L \cdot I_{L_{MAX}}^2$$

KOLIKA JE GUSTOĆA TOKA B?

PRIMJER: EI JEZGRA SA ZRAČNIM RASPOROM



POVRŠINA REDNJEG STUPA



$\frac{\Phi}{2}$ $\frac{\Phi}{2}$

AMPERE'OV ZAKON: $H \cdot L = N \cdot I$

PERMEABILNOST: $\mu = \frac{B}{H}$

$\Phi = B \cdot A$

MAGNETSKI KRUG: $\Phi_1 = \Phi_2 = \dots = \Phi_n$

$\sum_i H_i l_i = N \cdot I$

DALJE:

$\Phi_{Fe} = \Phi_z$;

$\mu_0 \mu_{r_{Fe}} \cdot H_{Fe} \cdot A_{Fe} = \mu_0 \cdot H_z \cdot A_{Fe}$

$H_{Fe} = \frac{H_z}{\mu_{r_{Fe}}}$; $\mu_{r_{Fe}} \tilde{\approx} [10^3, 10^4]$

$\Rightarrow H_{Fe} << H_z$

POLJE JE KONCENTRIRANO BAŠ U ZRAČNOM RASPORU!

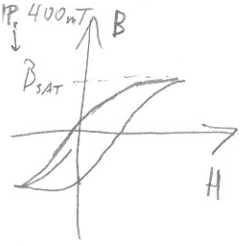
$H_z \cdot l_z + H_{Fe} \cdot L_{Fe} = N \cdot I$ $\quad H_z = \frac{B}{\mu_0}$; $H_{Fe} = \frac{B}{\mu_0 \mu_{r_{Fe}}}$

$B \cdot \frac{l_z}{\mu_0} + B \cdot \frac{L_{Fe}}{\mu_0 \mu_{r_{Fe}}} = N \cdot I$

$B \cdot \frac{1}{\mu_0} \left(l_z + \frac{L_{Fe}}{\mu_{r_{Fe}}} \right) = N \cdot I$

$$B = \frac{N \cdot I}{\frac{1}{\mu_0}\left(l_z + \frac{L_{Fe}}{\mu_{r_{Fe}}}\right)} = \boxed{B \approx \frac{N \cdot I \cdot \mu_0}{l_z}}$$

ČESTO ZANEMARUJU



$l_z \uparrow \Rightarrow$ BLAŽA KARAKTERISTIKA

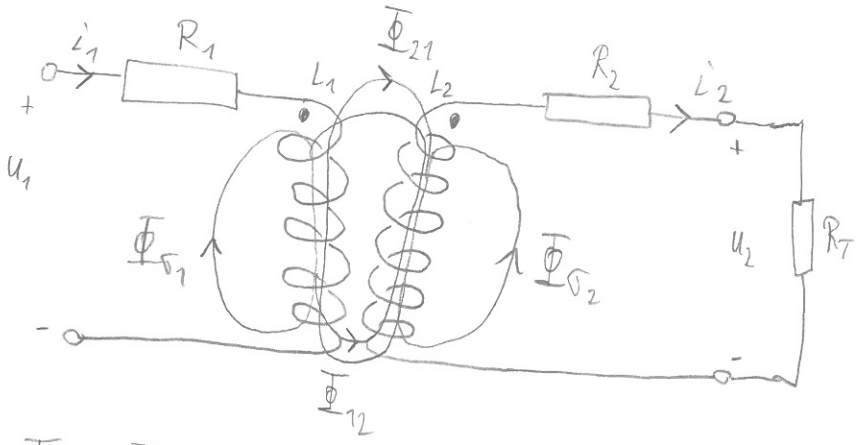
$l_z \uparrow \Rightarrow L \downarrow$

$T \uparrow \Rightarrow B_{SAT} \downarrow$!

PREPORUKA: $B_{MAX} = \frac{2}{3} B_{SAT}$ $\quad L = N^2 \cdot A_L$

NAČIN RADA TRANSFORMATORA

– NE SLUŽI ZA SPREMANJE, VEĆ ZA PRIJENOS ENERGIJE



OBJE ZAVOJNICE IMAJU OTPOR VODOVA (R_n), RASIPNI TOK (Φ_{σ_n}) I VLASTITI TOK KOJI SE ZATVARA KROZ DRUGU ZAVOJNICU (Φ_{nm}). UKUPNI TOK ZAVOJNICE OZNAČENJE S Φ_n.

$$\Phi_1 = \Phi_{\sigma_1} + \Phi_{12}$$
$$\Phi_2 = \Phi_{\sigma_2} + \Phi_{21}$$

FARADAYEV ZAKON: $u(t) = N \cdot \frac{d\Phi}{dt}$

$$u_1(t) = i_1 \cdot R_1 + N_1 \cdot \frac{d\Phi_1}{dt} - N_1 \cdot \frac{d\Phi_{21}}{dt}$$

$$0 = i_2 \cdot R_T + i_2 \cdot R_2 + N_2 \cdot \frac{d\Phi_2}{dt} - N_2 \cdot \frac{d\Phi_{12}}{dt}$$

INDUKTIVITET: $u_L(t) = L \cdot \frac{di(t)}{dt}$

$$\int u_L(t)\,dt = \int L \cdot di$$
$$N \cdot \Delta\Phi = L \cdot I$$
$$N \cdot \frac{d\Phi}{dt} = L \cdot \frac{di}{dt}$$

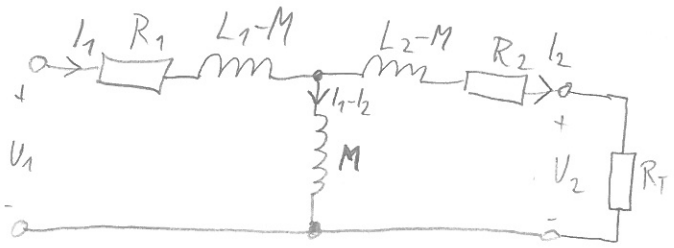
$$N_1 = N_2$$

$$u_1(t) = i_1 \cdot R_1 + L_1 \cdot \frac{di_1}{dt} - M \cdot \frac{di_2}{dt}$$

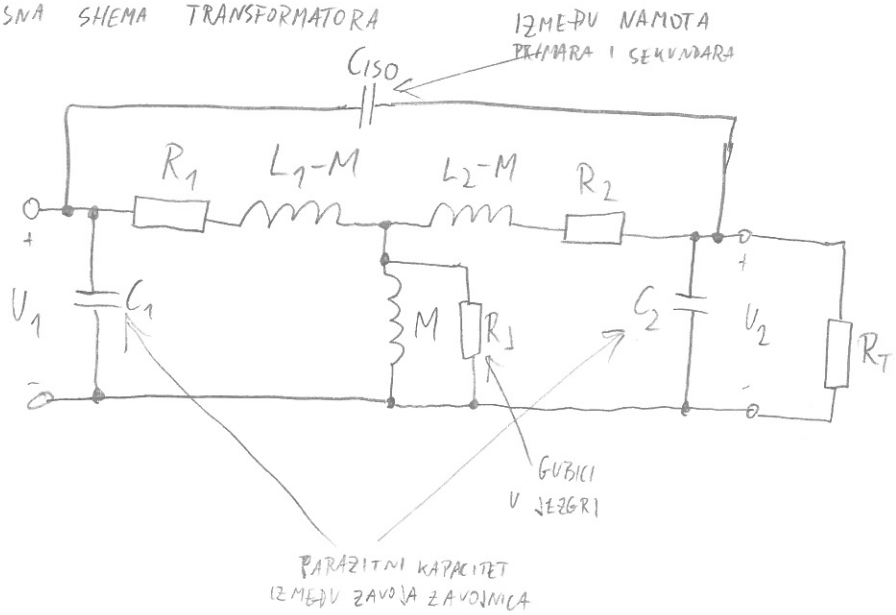
$$0 = \underbrace{i_2 \cdot R_T}_{u_2} + i_2 \cdot R_2 + L_2 \cdot \frac{di_2}{dt} - M \cdot \frac{di_1}{dt}$$

$$U_1 = I_1 R_1 + j\omega L_1 I_1 - j\omega M I_2 + (j\omega M I_1 - j\omega M I_1)$$
$$U_2 = j\omega M I_1 - I_2 R_2 - j\omega L_2 I_2 + (j\omega M I_2 - j\omega M I_2)$$

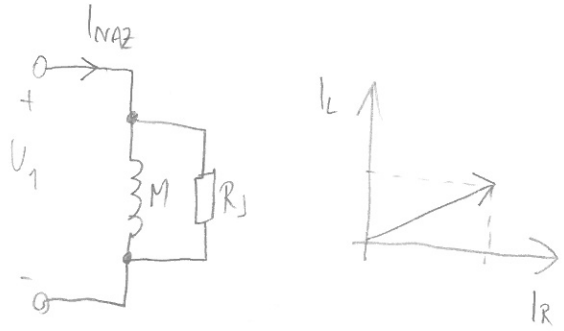
$$\left.\begin{aligned} U_1 &= I_1 R_1 + j\omega (L_1 - M) I_1 + j\omega M (I_1 - I_2) \\ U_2 &= j\omega M (I_1 - I_2) - I_2 R_2 - j\omega (L_2 - M) I_2 \end{aligned}\right\}$$ DOVODE DO NADOMJESNE SHEME TRANSFORMATORA (T-MODEL)



DOPUNJENA NADOMJESNA SHEMA TRANSFORMATORA

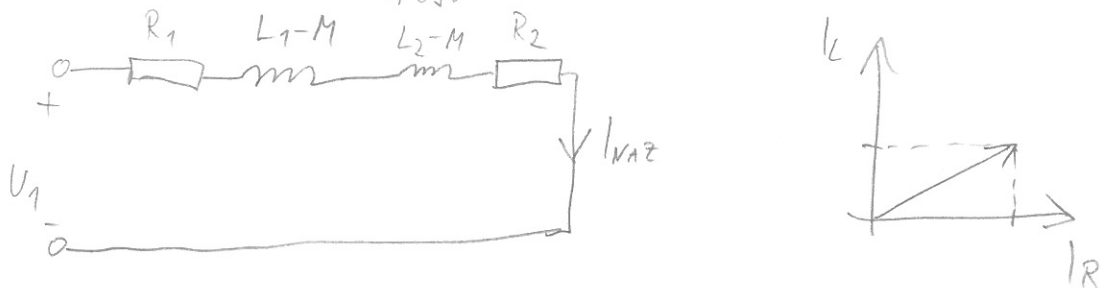


MJERENJE U PRAZNOM HODU



MJERI SE: • MEĐUINDUKTIVITET
• GUBICI U JEZGRI ZBOG HISTEREZE I VRTLOŽNIH STRUJA

MJERENJE U KRATKOM SPOJU



MJERI SE: • RASIPNI INDUKTIVITETI
• OTPOR VODOVA

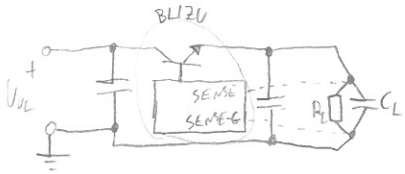
KONSTRUKCIJA REGULATORA

PROJEKTIRANJE TISKANE PLOČICE S IZVOROM NAPAJANJA

- PLOČICA S JEDNIM ILI DVA SLOJA

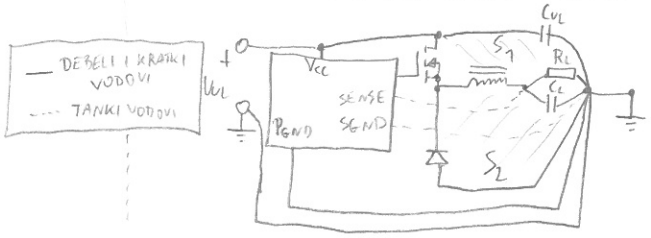
LINEARNI REGULATOR

- SMANJITI DULJINU VODOVA
- POVEĆATI ŠIRINU VODOVA
- ZVJEZDASTO RAZVOĐENJE MASE I NAPAJANJA



PREKIDAČKI REGULATOR

- SMANJITI DULJINU VODOVA
- POVEĆATI ŠIRINU VODOVA
- ZVJEZDASTO RAZVOĐENJE MASE I NAPAJANJA
- SMANJITI POVRŠINU PETLJI (DJELUJU KAO ANTENE)



$S_1, S_2 \ll$

- VIŠESLOJNA PLOČICA

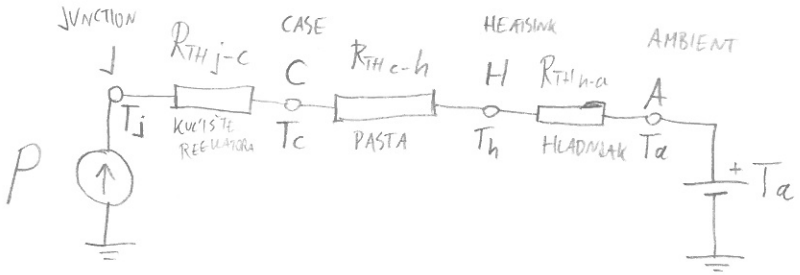
- KORISTITI PROSPOJE NA POSEBNI SLOJ ZA MASU (GROUND PLANE)

HLAĐENJE

ANALOGIJA TOPLINSKIH I ELEKTRIČNIH VELIČINA:

TOPLINSKA VELIČINA			ELEKTRIČNA VELIČINA		
NAZIV	OZNAKA	MJ. JED.	NAZIV	OZNAKA	MJ. JED.
TOPLINSKA SNAGA	P	W	EL. STRUJA	I	A
TOPLINSKI OTPOR	R_{TH}	°C/W	EL. OTPOR	R	Ω
TEMPERATURA	T	°C	EL. NAPON	U	V

$$P = \frac{T}{R_{TH}} \qquad I = \frac{U}{R}$$



NAPOMENA:

ZA Si $T_j \leq 110°C$

ZA SiC $T_j \leq 150°C$

$$T_h = T_a + P \cdot R_{TH\,h-a}$$
$$T_c = T_h + P \cdot R_{TH\,c-h}$$
$$T_j = T_c + P \cdot R_{TH\,j-c}$$