

## Zadaci: Zaštita od elektromagnetskih smetnji

- Z1. Nacrtati i proračunati sklop za zaštitu od prenapona s VD(R) otpornikom karakteristike  $U = 500 \cdot I^{0.032} [\text{V}]$ . Napon na mrežnim priključnicama uređaja može se opisati jednačbom  $U = 1800 \cdot \sin(\pi \cdot 10^6 \cdot t) \exp(-10^5 t) [\text{V}]$ . Zavojnica je induktiviteta  $L = 100 \mu\text{H}$ , a energetska izdržljivost VDR otpornika iznosi  $A = 1000 \text{ Ws} / \text{cm}^3$ .
- Koliki se prenapon pojavi na uređaju?
  - Koliki najmanje mora biti volumen VD(R) otpornika da bi mogao apsorbirati potrebnu energiju?

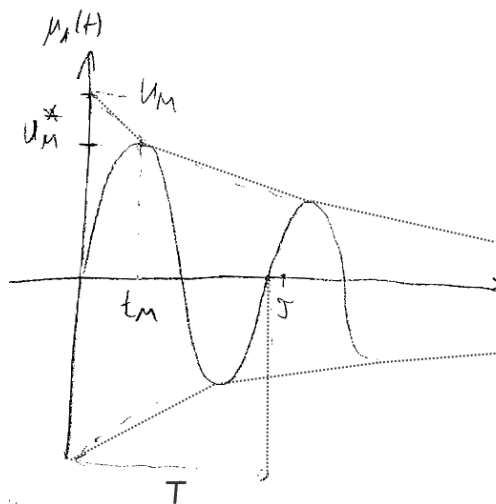
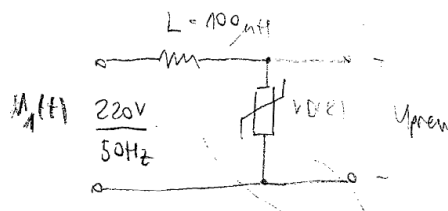
- a) [Rj:  $U_p = 521.8 \text{ V}$ ]  
 b) [Rj:  $V_{\min} = 29.68 \cdot 10^{-3} \text{ mm}^3$ ]

$$U = 500 \cdot I^{0.032} [\text{V}]$$

$$u(t) = 1800 \cdot \sin(10^6 \pi t) \exp(-10^5 t) [\text{V}]$$

a)  $U_{\text{pren}} = ?$

b)  $V_{\min} = ?$



Zavojnica služi za ograničavanje struje na VF (velika impedancije na VF).

$$u_1(t) = U_M e^{-t/\tau} \sin(2\pi f \cdot t)$$

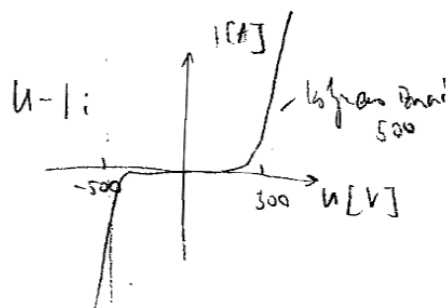
$$U_M = 1800 \text{ V}$$

$$\tau = 10^{-5} \text{ s}$$

$$f = 500 \text{ kHz}$$

$$X_L = 2\pi fL = 2\pi \cdot 500 \text{ k} \cdot 10 \mu = 314.16 \Omega$$

$$u_M^* = ?$$



$$\frac{du}{dt} = U_M \left[ -\frac{1}{\tau} e^{-t/\tau} \sin \omega t + e^{-t/\tau} \omega \cos \omega t \right] = 0 \quad (\text{u } t_M)$$

$$\operatorname{tg}(\omega \cdot t_M) = \omega \tau$$

$$t_M = \frac{1}{\omega} \operatorname{arctg}(\omega \tau)$$

$$t_M = 489.9 \text{ ns}$$

$$u_M^* = 1713.1 \text{ V}$$

Veličinu prenapona dobije se iz U-I karakteristike VDRa (najgori slučaj):

\* na početku poteče velika struja i kada ne bi bilo zavojnice bilo bi  $I_{M0} = \infty$  (zbog U-I karakteristike na  $U_M^*$ )!

$$I_{M0} = \frac{u_M^*}{X_L} = 5.453 \text{ A}$$

$$U_{P0} = 500 \cdot I_{M0}^{0.032} = 527.889 \text{ V}$$

$$I_{M1} = \frac{u_M^* - U_{P0}}{X_L} = 3.773 \text{ A}$$

$$U_{P1} = 500 \cdot I_{M1}^{0.032} = 521.702 \text{ V}$$

$$I_{M2} = 3.792 \text{ A}$$

$$U_{P2} = 521.789 \text{ V}$$

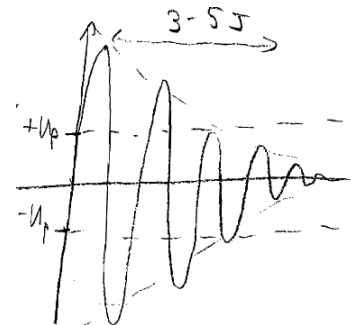
$$I_{M2} = 3.792 \text{ A}$$

$$U_{P3} = 521.788 \text{ V}$$

Dakle u  $t = 0^+$  poteče struja i prenapon:

$$\boxed{I_M = 3.8 \text{ A}}$$

$$\boxed{U_P = 521.8 \text{ V}}$$



b)

$$V_{\min} = ?$$

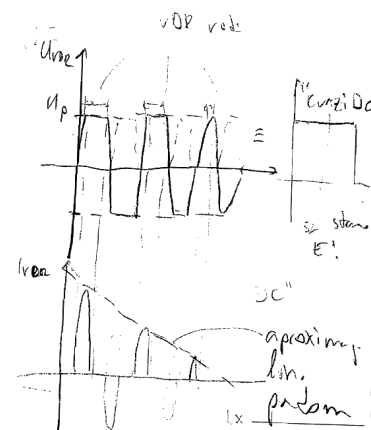
$$V_{\min} = \frac{E_{\max}}{A}$$

$$E \approx \frac{U_P I_M}{2} t_x \quad (\text{2 zbog aproksimacije linearnim padom!})$$

$$t_x \approx 3-5\tau$$

$$E = 29.68 \text{ mJ} \quad A = 1000 \text{ Ws} / \text{cm}^3$$

$$V_{\min} = \frac{E}{A} = 29.68 \cdot 10^{-3} \text{ mm}^3$$



Z2. Tranzistorskom (bipolarnom) sklopkom uključuje se i isključuje namot releja otpora  $R = 300\Omega$  i induktiviteta  $L = 10\text{mH}$  na napon napajanja  $U_{CC} = 24\text{V}$ . Tranzistor nazivnog napona  $80\text{V}$  ( $U_{CES} = 0.5\text{V}$ ) zaštićen je od prenapona diodom ( $U_D = 0.8\text{V}$ ,  $r_d \ll R$ ).

- Koliki je najveći iznos otpora koji se smije spojiti serijski s diodom?
- Koliko se skрати vrijeme isključivanja releja ako mu je struja otpuštanja 25% nazivne.

Z1. [Rj:  $R_{\text{MAX}} = 704.7\Omega$ ]

Z2. [Rj:  $\Delta t_x = 29,91\mu\text{s}$ ]

$$R = 300\Omega$$

$$L = 10\text{mH}$$

$$U_{CC} = 24\text{V}$$

$$U_{CES} = 0.5\text{V}, U_{CEN} = 80\text{V}$$

$$U_D = 0.8\text{V}, r_d \ll R$$

$$a) R_{S\text{max}} = ?$$

$$b) t_{\text{OFF}} = ? \quad (\text{ako je } I_{\text{OFF}} = 0.25 \cdot I_N)$$

$$I_N = \frac{U_{CC} - U_{CES}}{R} = i_L(0) = 78.3\text{mA}$$

$$\frac{C_{\text{ras}} U_{CE\text{max}}^2}{2} = \frac{L \cdot i_L^2(0)}{2}$$

$$U_{CE\text{max}} = \sqrt{\frac{L \cdot i_L^2(0)}{C_{\text{ras}}}} \gg \ll$$

( $U_{CE\text{max}}$  do par  $100\text{V}$  ili  $1000\text{V}$ )

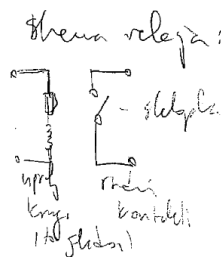
Što je  $C_{\text{ras}}$  manji to gore, a uvijek ga ima!

Kada se pojavi neki  $\varphi_C > U_{CC} + U_D$  dioda provede i drži C na potencijalu  $\varphi_C$  a L se prazni preko D.

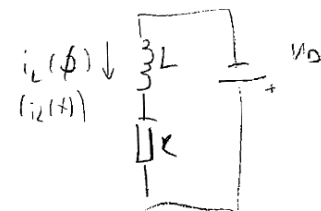
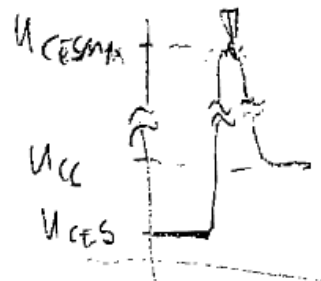
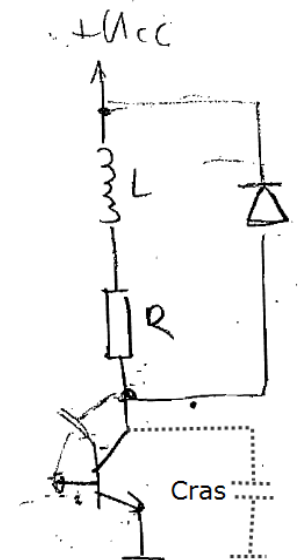
$$i_L(t) = i_L(0) e^{-t/\tau} - \frac{U_D}{R} (1 - e^{-t/\tau})$$

$$\tau = \frac{L}{R} = 33.3\mu\text{s}$$

$$U_{CE\text{max}} = U_{CC} + U_D = 29.8\text{V} \quad (< 80\text{V})$$



isključuje se  
kada upravljački  
napon padne  
ispod  $0.25 I_N$

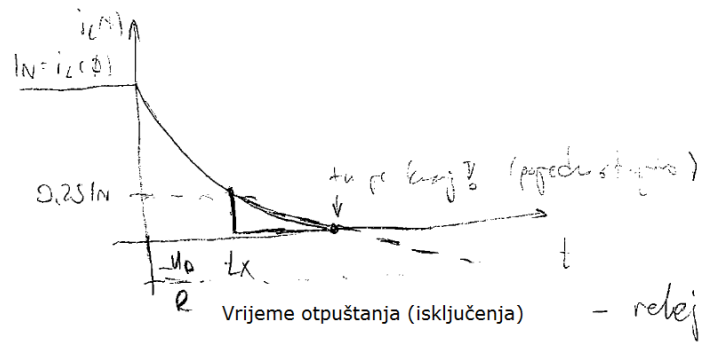


Vrijeme isključenja:

$$i_L(t_x) = 0.25 I_N = I_N e^{-t_x/\tau} - \frac{U_D}{R} (1 - e^{-t_x/\tau})$$

...

$$t_x = \tau \ln \frac{U_D + I_N R}{U_D + 0.25 I_N R} = 43.61 \mu s$$



Mi želimo da se sklop što brže isključuje.

To se može postići tako da se poveća prigušenje

sustava: smanjenjem  $\tau = L / R$  tako da se

R poveća, tj. da  $R' = R + R_S$ , gdje je  $R_S$  spojen

u seriju sa diodom.

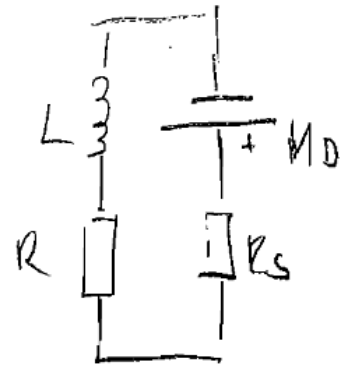
problem: na  $R_S$  dobiti napon koji približava  $U_{pren}$ !

$$U_{CEmax} = U_{CC} + U_D + I_N R_S < U_{CEN}$$

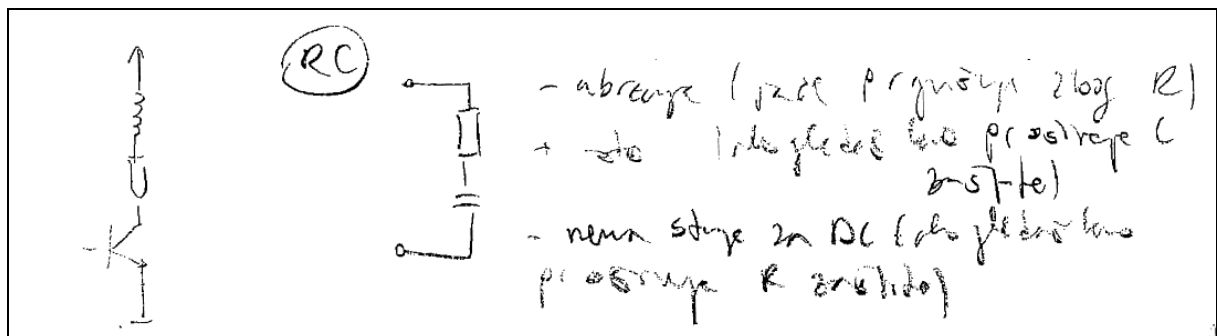
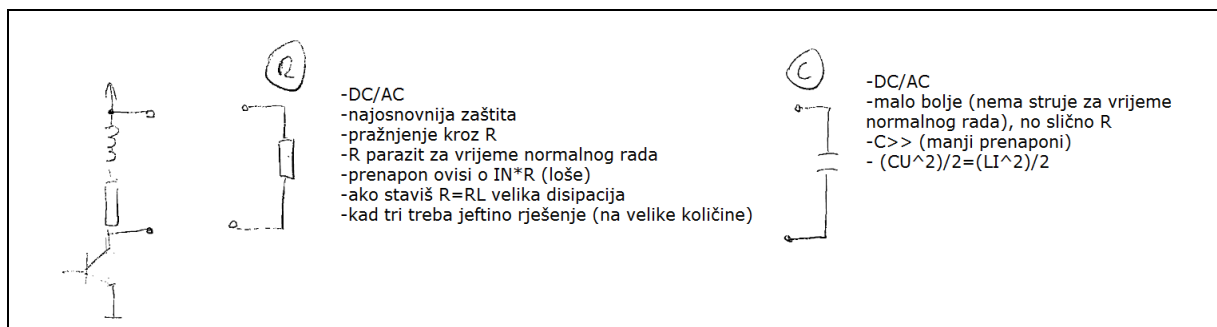
$$R_x < \frac{U_{CEN} - U_{CC} - U_D}{I_N} = 704.7 \Omega$$

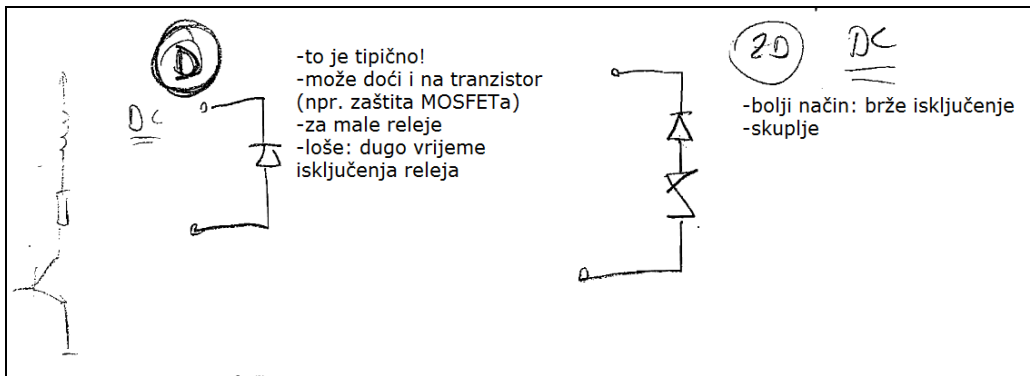
$$\tau_2 = \frac{L}{R + R_S} = 9.95 \mu s \text{ (prije je bilo } 33.3 \mu s)$$

$$t_{x2} = \tau_2 \ln \frac{U_D + I_N (R + R_S)}{U_D + 0.25 I_N (R + R_S)} = 13.5 \mu s$$



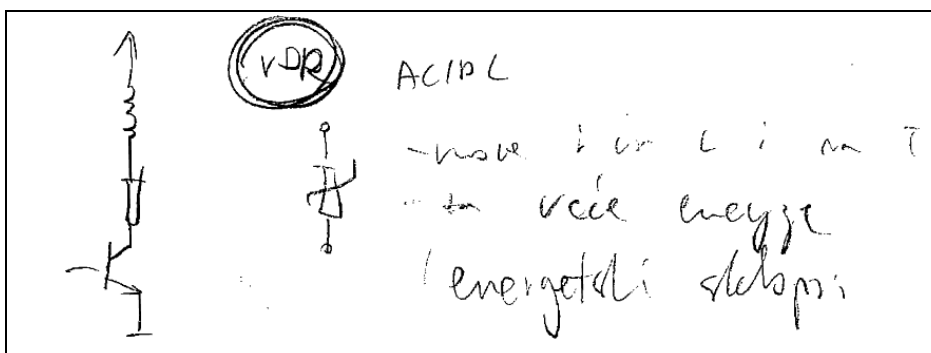
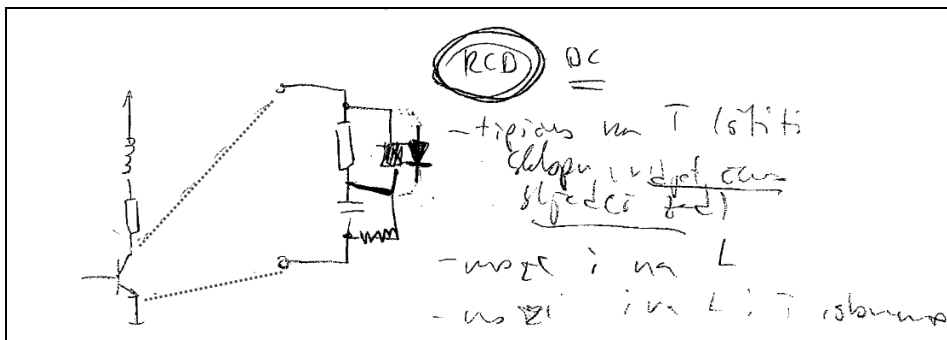
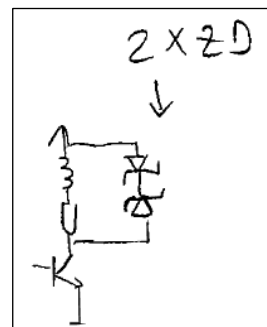
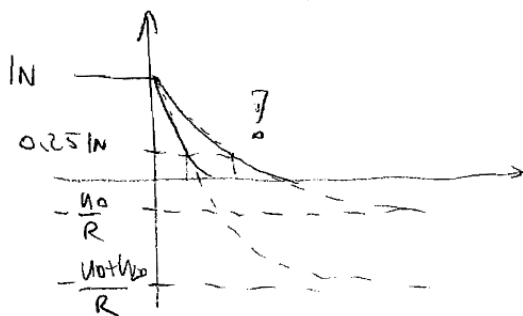
Loš način skraćanja vremena isključenja (ovisi o struji  $I_N$ ). Bolji način isključenja: Zener dioda.





$$U_{CE\max} = U_{CC} + U_{ZD} + U_D$$

$$i_L(t) = i_L(0)e^{-t/\tau} - \frac{U_D + U_{ZD}}{R}(1 - e^{-t/\tau})$$



Za AC krugove: R, C, RC, VDR ali i 2xZD

Z3. Kontaktima releja je priključeno induktivno trošilo otpora  $R_L = 100\Omega$  i induktiviteta, na napon napajanja  $U = 100V$ . Najveća dopuštena struja kontakata releja je  $I_{KN} = 5A$ . Proračunajte i nacrtajte RCD sklop za zaštitu kontakata.

[Rj:  $R_{min} = 20\Omega$ ,  $C_{min} = 15\mu F$ ]

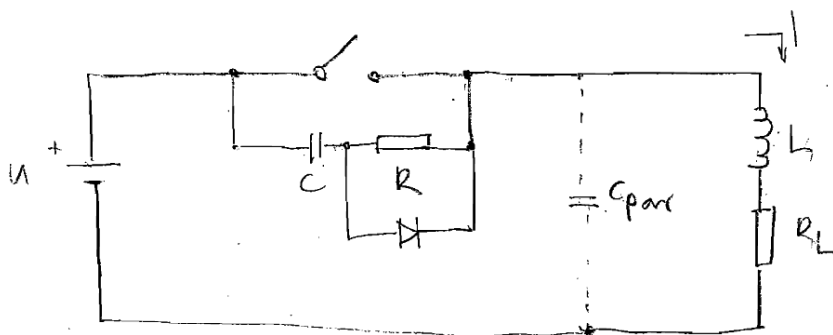
$$R_L = 100\Omega$$

$$L = 1H$$

$$U = 100V$$

$$I_{KN} = 5A$$

RCD sklop

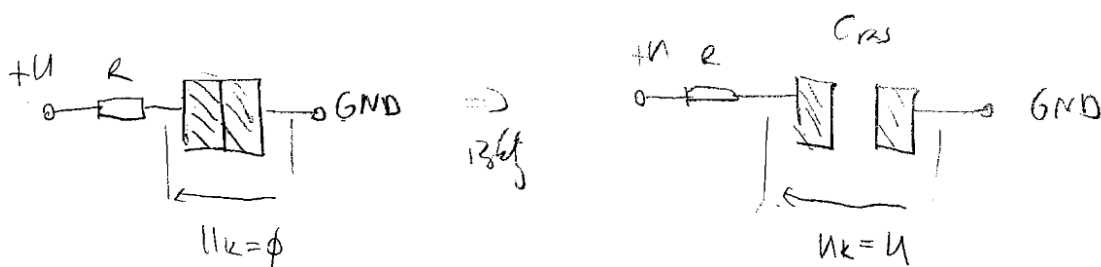


$C$  = smanjuje  $du/dt$  prilikom otvaranja kontakta

$R$  = prilikom otvaranja sklopke –

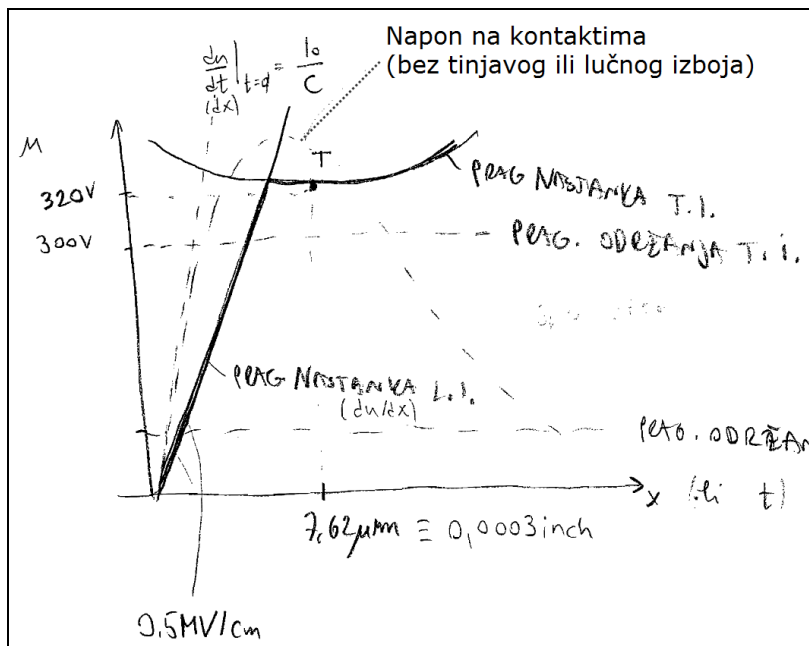
= prilikom zatvaranja sklopke  $\frac{U_C}{0} = \infty$  jer se  $C$  prazni preko sklopke, a  $R$  ograničava struju

Problem kod mehaničkih sklopki je lučni izboj – trošenje materijala sklopke, a nastaje zbog visokog gradijenta polja  $\frac{du}{dx} > 500 kV/cm$ .



Kada bi bilo ovako,  $\frac{du_k}{dt}$  bi bio  $\infty$  u trenutku isključenja  $t = t_{isklj}$ .

Ako pak kontakte gledamo kao  $C_{ras}$  preko  $RC_{ras}$  je ipak  $\frac{du_k}{dt} < \infty$ .



#### (1) ZAŠTITA OD LUČNOG IZBOJA

$$\frac{du}{dt} < 1V / \mu s = F \quad (\text{zaštita od lučnog izboja})$$

$$\frac{du}{dt} < \frac{I_0}{C}$$

$$C > \frac{I_0}{F} = \frac{U}{R_L F} = 1 \mu F < C_1$$

#### (2) ZAŠTITA OD TINJAVOG IZVOJA

$$U < 300V$$

$$\frac{LI_0^2}{2} = \frac{CU_M^2}{2}$$

$$C > L \frac{I_0^2}{U_T^2} = 11.1 \mu F < C_2$$

#### (3) $I_{KM} < I_{KN}$

$$I_{KM} = \frac{U}{R}$$

$$R > \frac{U}{I_{KN}} = \frac{100}{5} = 20 \Omega$$

#### (4) Uvjet za aperiodičan odziv

$$C > 4 \frac{L}{R_L^2} = 4 \frac{1}{100^2} = 400 \mu F < C_3$$

$C > C_1, C_2$  da nema lučnog i tinjavog izvoja

$C > C_3$

Biramo  $C > 11.1 \mu F$

Z3. Za prigušen je smetnji u radiofrekvencijskom području, nastalih izvan i unutar uređaja, spojena je zaštitna LC mreža (šesteropol) između mrežnih priključnica i primara izvora napajanja ( $L_1 = L_2 = L_i = 27mH$ ,  $L_3 = L_4 = L_d = 100\mu H$ ,  $C_{X1} = C_{X2} = C_X = 100nF$ ,  $C_{Y1} = C_{Y2} = C_Y = 2.2nF$  - uobičajene vrijednosti za srednje snage - od par desetaka do par stotina W).

a) Koliko je potiskivanje istofaznih i diferencijalnih smetnji nastalih izvan uređaja, pri prolazu kroz zaštitnu mrežu,

b) a koliko istofaznih nastalih unutar uređaja u protivnom smjeru?

Pretpostaviti potpunu simetriju.

$$a) [Rj: \left| \frac{U_{1d}}{U_{2d}} \right| = 17.8 = 25dB \quad \left| \frac{U_{1i}}{U_{2i}} \right| = 52.8 = 34dB]$$

$$b) [Rj: \left| \frac{U_{2i}}{U_{1i}} \right| = 22371.4 = 87dB]$$


---