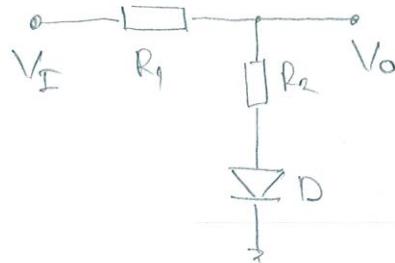


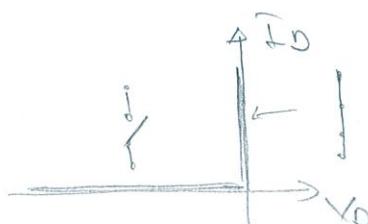
PRIMER 1: Nacrtati prenosnu karakteristiku kola prekorca na sluci korekcijen:

- Modela idealne diode
- Idealizovanog modela



Prenosna karakteristika daje zavisnost izlazne od ulazne veličine
 $V_O = f(V_I)$

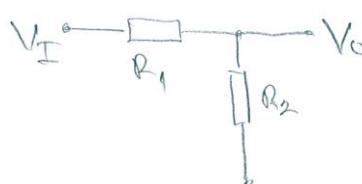
a) model idealne diode



$V_I < 0$ dioda je otvorena, $I_D = 0$

$$V_O = V_I$$

$V_I \geq 0$ dioda se uključuje i ponosi se kao kontakt spoj

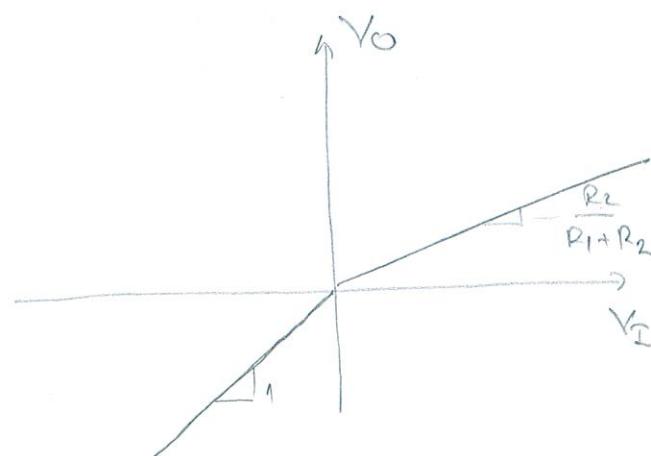


U naponskog razdelku je

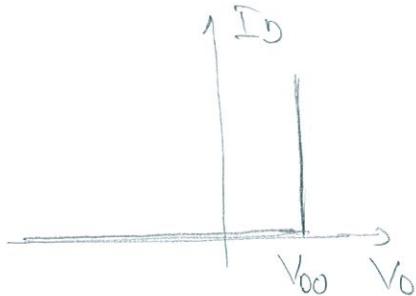
$$V_O = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot V_I$$

Prenosna karakteristika je:

$$V_O = \begin{cases} V_I, & V_I < 0 \\ \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot V_I, & V_I \geq 0 \end{cases}$$

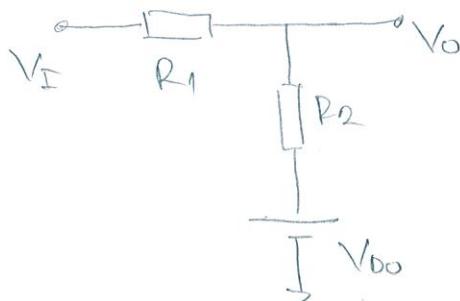


b) idealizovaný model



$V_I < V_{D0}$, dioda je mimošípovozaná
 $I_D = 0, p_0 \neq 0$
 $V_O = V_I$

$V_I \geq V_{D0}$ Dioda se vklýčuje a napětí se zvýší na V_O

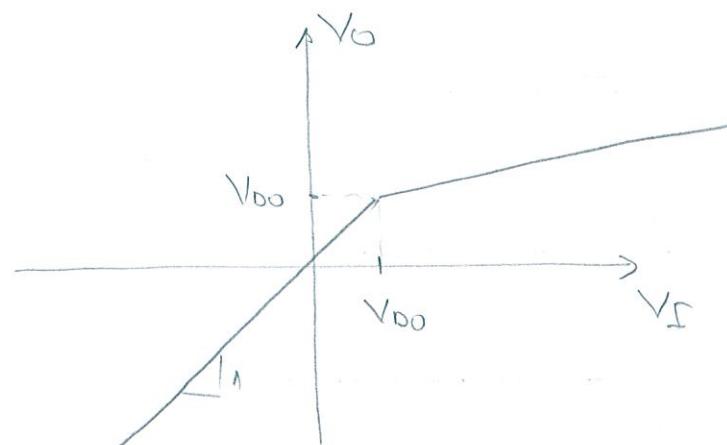


Metoda superpozice

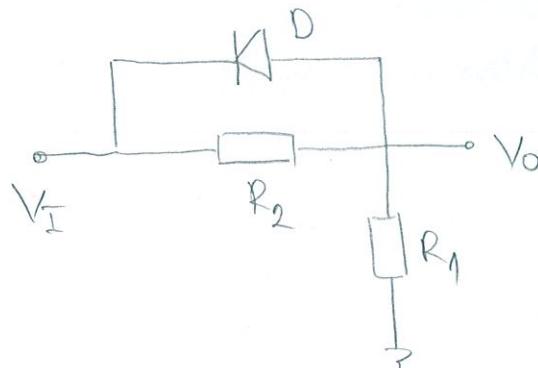
$$V_O = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot V_I + \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot V_{D0}$$

Přenosná károdejství je:

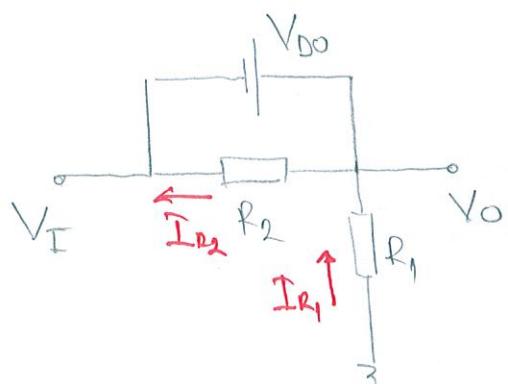
$$V_O = \begin{cases} V_I, & V_I < V_{D0} \\ \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot V_I + \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot V_{D0}, & V_I \geq V_{D0} \end{cases}$$



PRIMER 2: Hacetati prenosnu karakteristiku kola pekuzanog na slci. Koristi model konstantnog naponca (idealizovani model).



Pretpostavimo da $V_I \rightarrow -\infty$. Tada je potencijol anode veći od potencijola katode, pa dioda vodi (direktno je povezana)



$$V_O = V_I + V_{D0}$$

otporuk R_2 ne igra nikakvu ulogu, jer je na njemu konstantan napon V_{D0}

Da bi potpuno razumeli rad kola, odredimo struje:

$$I_{R2} = \frac{V_{D0}}{R_2} = \text{const}$$

$$I_{R1} = \frac{0 - V_O}{R_1} = \frac{-V_O}{R_1} = \frac{-V_I - V_{D0}}{R_1} \neq \text{const}$$

U nekom trenutku, u određenom vrednosti ulaznog napona, struje I_{R1} i I_{R2} se izjednajuće, pa je struja diode jednaka nuli. Tada dioda prestaje da vodi (isključuje se)

$$I_{R1} = I_{R2} \Rightarrow \frac{V_{D0}}{R_2} = -\frac{V_I - V_{D0}}{R_1}$$

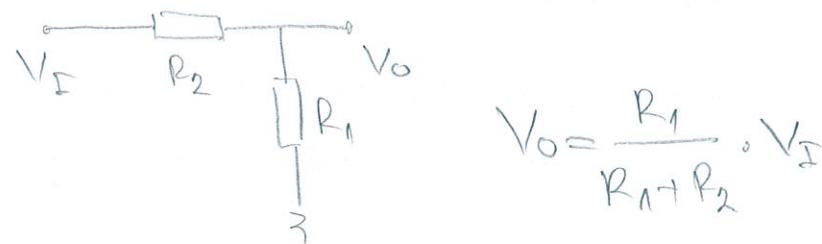
$$\frac{V_I}{R_1} = -\frac{V_{D0}}{R_1} - \frac{V_{D0}}{R_2} = -\frac{R_1 + R_2}{R_1 \cdot R_2} \cdot V_{D0}$$

Odaode sledi da je uobičajen nizak pri kojem dioda prestopi da vodi, $V_I = V_{ge}$, jednost:

$$V_I = V_{Ig} = -\frac{R_1 + R_2}{R_2} \cdot V_{DD} = -V_{DD} \left(1 + \frac{R_1}{R_2} \right)$$

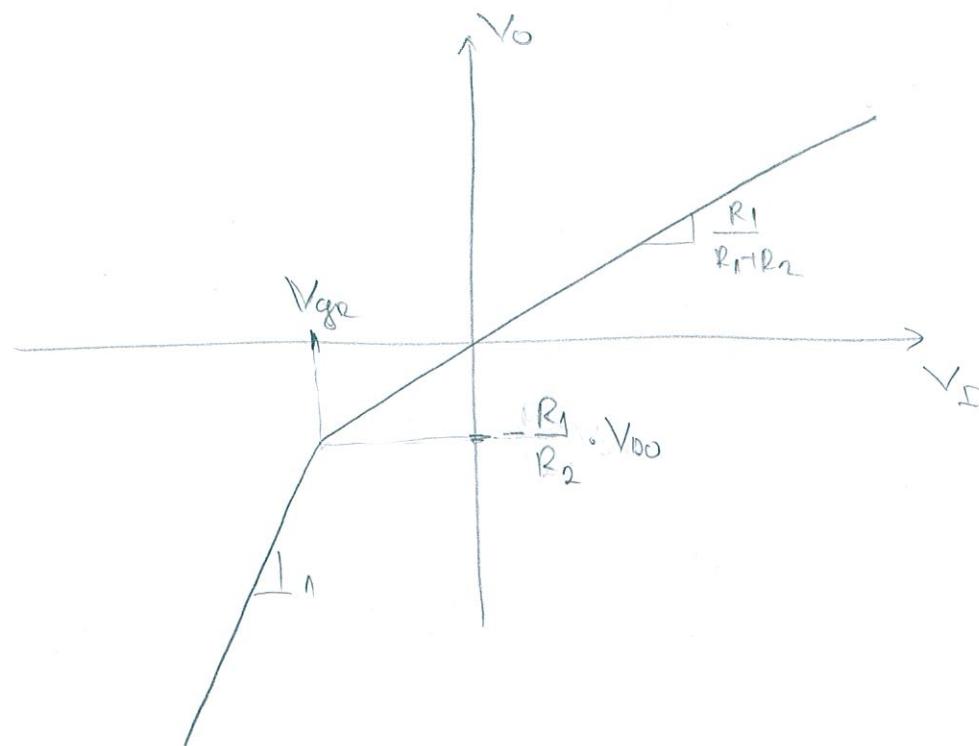
Za $\underline{V_I < V_{ge}}$, dioda vodi $V_o = V_{DD} + V_I$

Za $\underline{V_I \geq V_{ge}}$ dioda je isključena, tko se svedi na:



Prenosna karakteristika je

$$V_o = \begin{cases} V_{DD} + V_I & , V_I < V_{ge} \\ \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot V_I & , V_I \geq V_{ge} \end{cases}$$



PRIMER 3: Dioda je direktně polarisována. Kolik je potřebno povećati napětí V_D da bi se struja povećala 10 puta? Nech je $n=1$.

$$I_D = I_s \left(e^{\frac{V_D}{nV_t}} - 1 \right)$$

za $n=1$

$$I_D \approx I_s e^{\frac{V_D}{V_t}}$$

za V_{D1} $I_{D1} = I_s e^{\frac{V_{D1}}{V_t}}$

za V_{D2} $I_{D2} = 10 I_{D1} = I_s e^{\frac{V_{D2}}{V_t}}$

$$V_{D2} = ?$$

$$\Delta V_D = ?$$

$$\Delta V_D = V_{D2} - V_{D1}$$

$$V_{D1} = V_t \ln \frac{I_{D1}}{I_s} \quad \left. \begin{array}{l} \\ \end{array} \right\} \Delta V_D = V_{D2} - V_{D1} = V_t \ln \frac{I_{D2}}{I_s} - V_t \ln \frac{I_{D1}}{I_s}$$

$$V_{D2} = V_t \ln \frac{I_{D2}}{I_s} \quad \left. \begin{array}{l} \\ \end{array} \right\} = V_t \ln \frac{I_{D2}}{I_{D1}} = V_t \ln \frac{10 I_{D1}}{I_{D1}}$$

$$= V_t \ln 10$$

$$\Delta V_D = V_t \ln 10$$

za $V_t \approx 26 \text{ mV}$

$$\Delta V_D = 26 \text{ mV} \cdot 2.3 \approx 60 \text{ mV}$$

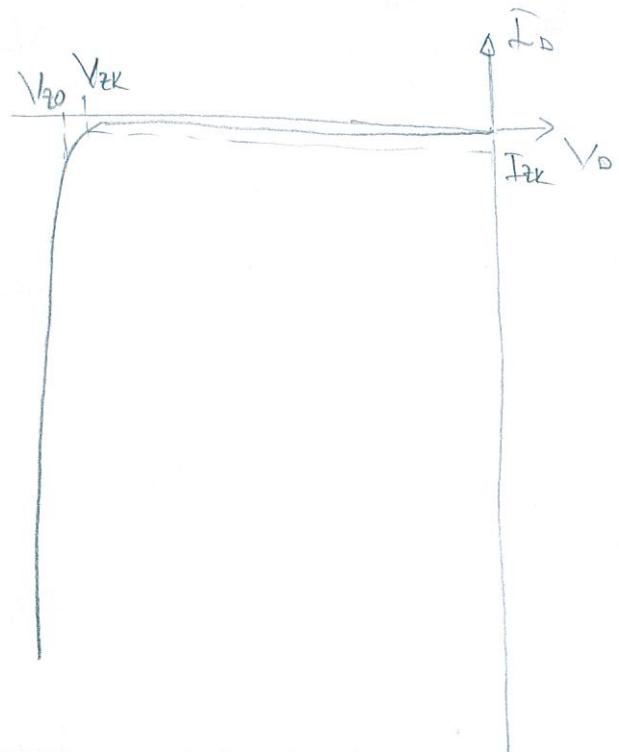
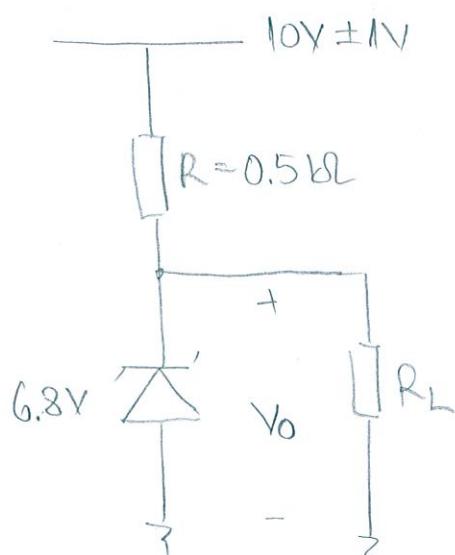
za $V_t = 25 \text{ mV}$

$$\Delta V_D = 25 \text{ mV} \cdot 2.3 \approx 57.5 \text{ mV}$$

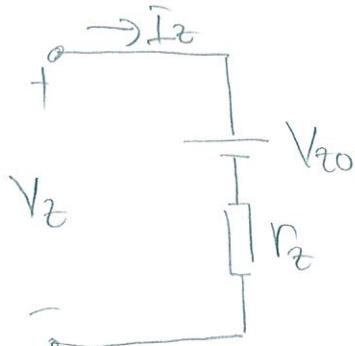
PRIMER 4: Za Zener diodu u klu sa sljedeće podatke je

$V_Z = 6.8V$ pri $I_Z = 5\text{mA}$, $R_Z = 20\text{k}\Omega$; $I_{ZK} = 0.2\text{mA}$. Napon na
pojačaju je $V_{DD} = 10V$ i može se menjati za $\pm 1V$.

- odrediti V_0 bez opterećenja pri nornalnoj vrednosti V_{DD} ,
- odrediti promenu napona V_0 usled promene napona napora-
juća,
- odrediti promenu napona V_0 usled opterećenja R_L , ako je
strukta opterećenja $I_L = 1\text{mA}$, a zatim odrediti regulaciju optere-
ćenja $\Delta V_0 / \Delta I_L$ u mV/mA ,
- odrediti promenu napona V_0 za $R_L = 2\text{k}\Omega$,
- odrediti V_0 za $R_L = 0.5\text{k}\Omega$,
- Pri kojoj minimalnoj vrednosti otpornosti R_L dioda još
radi u oblasti prekopa?



Određivanje parametra V_{Z0} :



$$V_z = V_{Z0} + r_z I_z$$

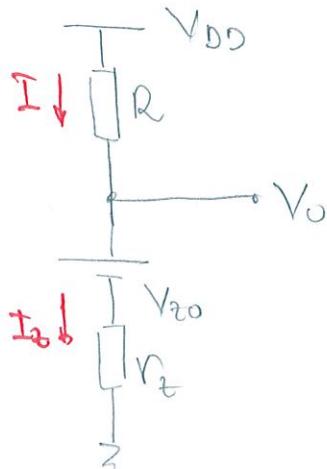
$$V_{Z0} = V_z - r_z I_z$$

$$\text{za } V_z = 6.8 \text{ V i } I_z = 5 \text{ mA}$$

$$V_{Z0} = 6.8 \text{ V} - 20 \Omega \cdot 0.005 \text{ A}$$

$$V_{Z0} = 6.7 \text{ V}$$

a) $V_o = ?$ za $R_L = \infty$ (nema opterećenja)



$$I = I_z = \frac{V_{DD} - V_{Z0}}{R + r_z}$$

$$I = I_z = \frac{10 \text{ V} - 6.7 \text{ V}}{0.5 \text{ k} + 0.02 \Omega} = 6.35 \text{ mA}$$

$$V_o = V_{Z0} + r_z I_z$$

$$= 6.7 \text{ V} + 6.35 \text{ mA} \cdot 0.02 \Omega$$

$$= 6.83 \text{ V}$$

b) Promena $\frac{\Delta V_o}{\Delta V_{DD}}$ be zove naponska regulacija i izračun se izražava u mV/V.

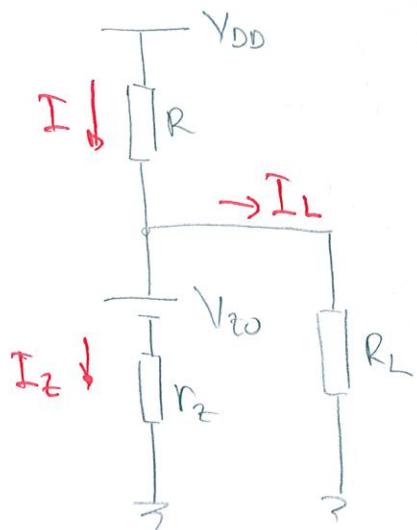
Za promenu naponu V_{DD} za $\pm 1 \text{ V}$ izlazni napon se menjat će

$$\Delta V_o = \frac{r_z}{r_z + R} \cdot \Delta V_{DD} = \pm 1 \text{ V} \cdot \frac{20}{20 + 500} = \pm 38.5 \text{ mV}$$

Sada je naponska regulacija (stabilizacija):

$$\frac{\Delta V_o}{\Delta V_{DD}} = \frac{\pm 38.5 \text{ mV}}{\pm 1 \text{ V}} = 38.5 \frac{\text{mV}}{\text{V}}$$

c) Kad je $R_L \neq \infty$, kroz opterećenje postoji struja I_L , pošte
struja Zener diode umanjuje za tu struju.



Promena struje diode je:

$$\Delta I_Z = -I_L = -1 \mu\text{A}$$

Promena izlaznog napona je:

$$\Delta V_O = R_L \cdot \Delta I_L = 20 \Omega \cdot (-1 \mu\text{A})$$

$$\Delta V_O = -20 \mu\text{V}$$

Regulacija (stabilizacija) opterećenja je:

$$\frac{\Delta V_O}{\Delta I_L} = \frac{-20 \mu\text{V}}{1 \mu\text{A}} = -20 \frac{\mu\text{V}}{\mu\text{A}}$$

d) Za $R_L = 2 \text{k}\Omega$, struja opterećenja je:

$$I_L = \frac{V_Z}{R_L} = \frac{V_0}{R_L} = \frac{6.8 \text{V}}{2 \text{k}\Omega} = 3.4 \mu\text{A}$$

Za koliko će se promeniti struja diode:

$$\Delta I_Z = -I_L = -3.4 \mu\text{A}$$

Sada je promena izlaznog napona:

$$\Delta V_O = R_L \cdot \Delta I_L = -68 \mu\text{V}$$

Rčunica je aproksimativna jer se ne upri struja I . Tačna
vrednost je rešenje izlaznog napona: $-70 \mu\text{V}$

c) Za $R_L = 0.5 \text{ k}\Omega$, struja opterećenja je:

$$I_L = \frac{V_0}{R_L} = \frac{6.8 \text{ V}}{0.5 \text{ k}\Omega} = 13.6 \text{ mA}$$

Ovo nije moguće, jer je struja kroz otpornik R jednaka:

$$I = \frac{V_{DD} - V_0}{R} = \frac{10 \text{ V} - 6.8 \text{ V}}{0.5 \text{ k}\Omega} = 6.4 \text{ mA}$$

Premda tome, Zener dioda je isključena. U ovom slučaju, izlazni napon je određen na osnovu neponustog razdelnika:

$$V_0 = \frac{R_L}{R_L + R} \cdot V_{DD} = \frac{0.5 \text{ k}}{0.5 \text{ k} + 0.5 \text{ k}} \cdot 10 \text{ V} = 5 \text{ V}$$

$V_0 < V_Z \Rightarrow$ Zener dioda ne radi u preboji

f) Za Zener diodi na granici preboja:

$$I_Z = I_{ZK} = 0.2 \text{ mA} \quad V_Z = V_{ZK} \approx 6.7 \text{ V}$$

U ovoj tački, u notošem slučaju, struja kroz otpornik je:

$$I = \frac{9 \text{ V} - 6.7 \text{ V}}{0.5 \text{ k}\Omega} = 4.6 \text{ mA}$$

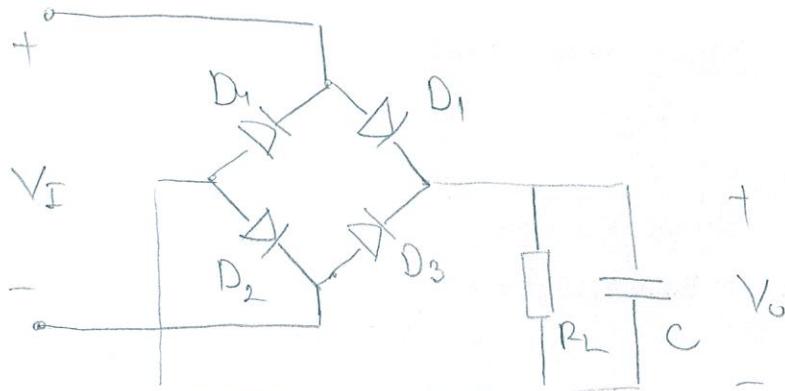
pošto je struja opterećenja:

$$I_L = I - I_{ZK} = 4.6 \text{ mA} - 0.2 \text{ mA} = 4.4 \text{ mA}$$

Odgovarajuća vrijednost otpornosti opterećenja je:

$$R_L = \frac{V_{ZK}}{I_L} = \frac{6.7 \text{ V}}{4.4 \text{ mA}} \approx 1.5 \text{ k}\Omega$$

PRIIMER 5: Projektovati duostruki ispravljač srednje snage na izlazu $2V$ i izlaznog napona $3.6V$, tako da odstupanje izlaznog napona usled proučaja kondenzatora bude $V_r \leq 0.2V$. Nekao je $V_{DD} = 0.8V$.



Ako je na izlazu potreban $3.6V$, a izlazni napon je:

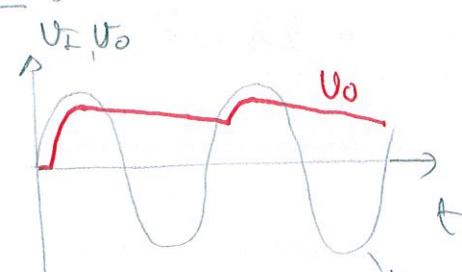
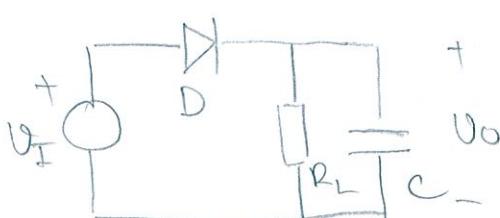
$$V_O = V_I - 2V_{DD}$$

sledi da je $V_I = V_O + 2V_{DD}$. Za izlazni napon $V_O = 3.6V$, amplituda ulaznog napona je:

$$V_I = V_O + 2 \cdot V_{DD} = 3.6V + 2 \cdot 0.8V = 5.2V$$

$V_r \leq 0.2V$ (ripple) - odstupanje usled proučaja kondenzatora
Tipično je V_r do $(5 \div 10)\%$. Hodišnog naponu nu izlazu, a to se regulise izborom kondenzatora odeljene kapacitivnosti:

Jednostavni ispravljač:



$$V_O = V_{DD} \cdot e^{-\frac{t}{T}} = (V_{Im} - V_{DD}) \cdot e^{-\frac{t}{T}} \quad T = R_L \cdot C$$

Da bi V_e bilo dovoljno malo, mora biti rezistor je uslov $T \gg T$. U tom slučaju je $e^{-x} \approx 1-x$ kada je $x \ll 1$. Sada je razljeni napon:

$$V_o(t) = (V_{in} - V_{o0}) \left(1 - \frac{t}{R_L C} \right)$$

$$V_o(t) = \underbrace{V_{in} - V_{o0}}_{V_{om}} - \underbrace{\frac{V_{in} - V_{o0}}{R_L} \cdot \frac{t}{C}}_{{\text{stoga pravljena}} \atop {\text{konecno vremena}}}$$

V_{om}
početna struja

napon za koji se konecno
ispunjavi

$$V_e \approx \frac{V_{in} - V_{o0}}{R_L} \cdot \frac{T_E}{C} \Rightarrow V_e = \frac{V_{om}}{R_L} \cdot \frac{T_E}{C} = \frac{V_{om}}{R_L} \cdot \frac{1}{f_I \cdot C}$$

$$V_e = \frac{I_L}{f_I C}$$

Dvostruki ispravljač

$$T_R = \frac{T_E}{2} = \frac{1}{f \cdot 2} \Rightarrow V_e = \frac{I_L}{2 f_I C}$$

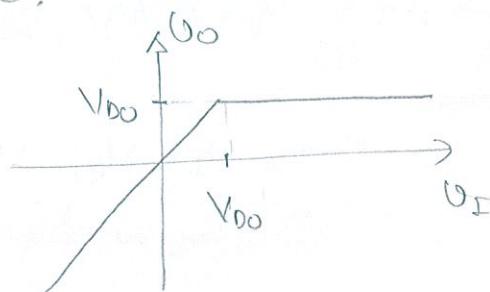
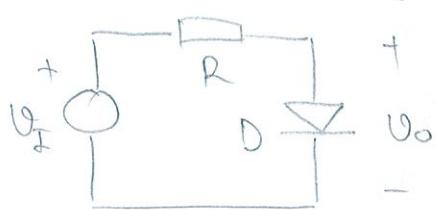
$$I_2 P_0 = V_o \cdot I_L \Rightarrow I_L = \frac{2 \cdot V_o}{3.6 V} = 0.56 A$$

$$I_2 V_e = \frac{I_L}{2 f_I C} \Rightarrow C = \frac{I_L}{2 f_I V_e}$$

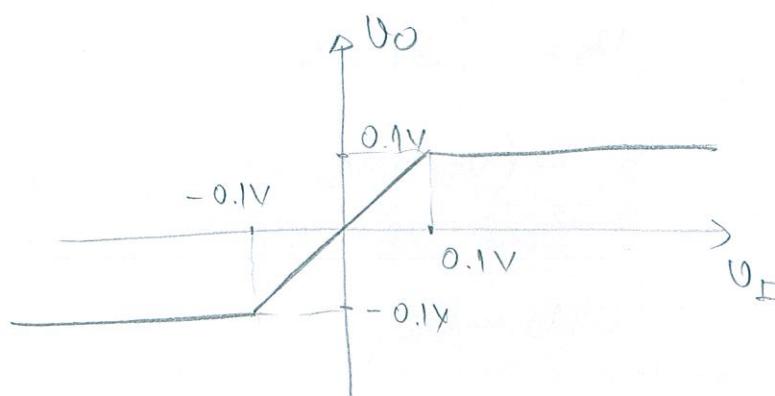
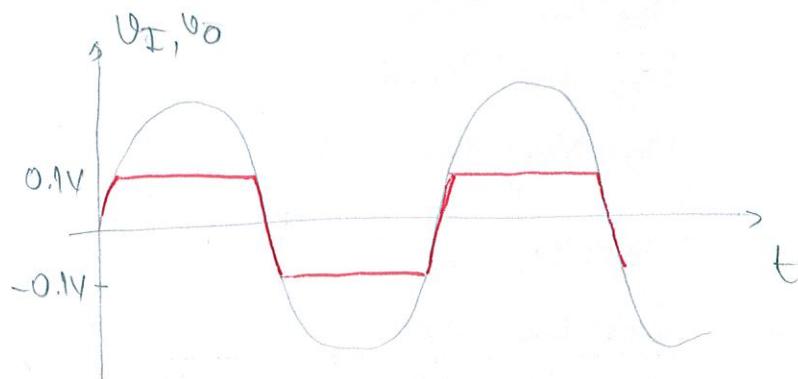
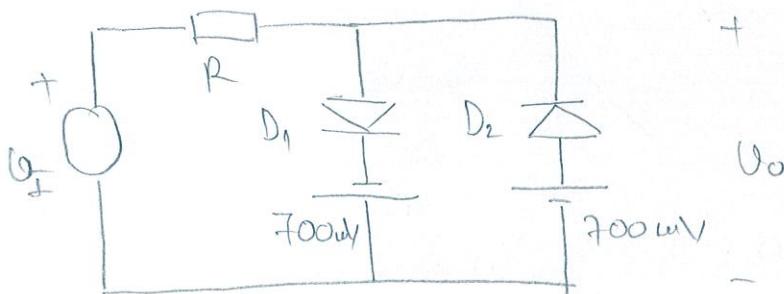
$$C = \frac{0.56 A}{2 \cdot 0.2 V \cdot 50 Hz} = 128 \mu F$$

PRIMER 6: Projektovat kolo tak, aby vlna výstupu byla omezena na vlnnost $\pm 100 \text{ mV}$. Uvažte idealizovaný model diody i smotřte, že je $V_{D0} = 800 \text{ mV}$.

Jednostruční omezení:



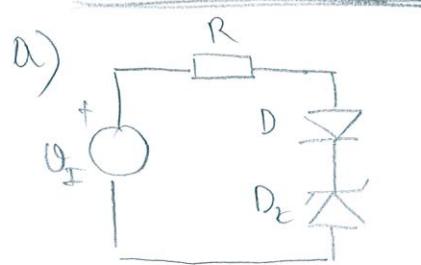
Dvostruční omezení prema zahtevám:



PRIMER 7: a) Nacrtati schemu jednostranog ogranicjivaca sa jednom diodom i jednom Zener diodom. Odrediti slike naponu i prenosnu fazu.

b) Nacrtati schemu dvostranog ogranicjivaca sa dve Zener diode, pa skicirati slike naponu i prenosnu fazu.

Pronadlo je $V_{D0} = 0.7 \text{ V}$, $V_z = 5.1 \text{ V}$, $V_I(+)=V_{zmbiwl}$, $V_{in} > V_z + V_{D0}$



1° za $V_I < V_{D0} + V_z$

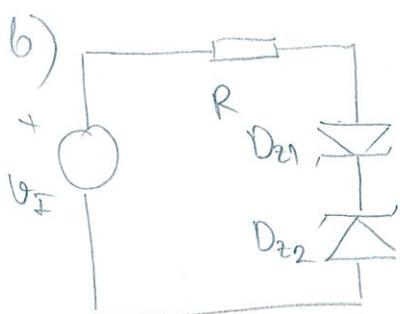
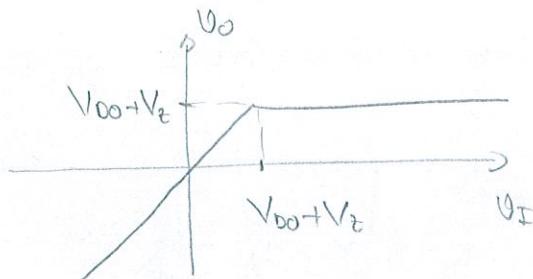
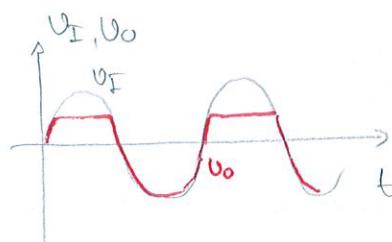
D₁, D₂ su iskljucene

$$U_O = V_I$$

2° $V_I > V_{D0} + V_z$

D₁, D₂ su ukljucene

$$U_O = V_{D0} + V_z = 5.8 \text{ V}$$

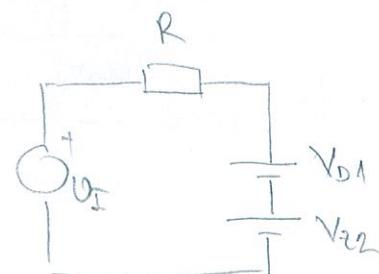


1° $V_I > 0$ i $V_I > V_{D1} + V_{Z2}$

D_{Z1} kao slijeka

D_{Z2} kao Zener

$$U_O = V_{D1} + V_{Z2} = 5.8 \text{ V}$$

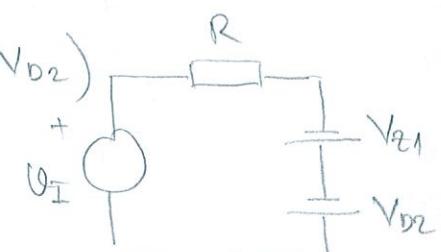


2° $V_I < 0$ i $V_I < -(V_{Z1} + V_{D2})$

D_{Z1} kao Zener

D_{Z2} kao slijeka

$$U_O = -(V_{Z1} + V_{D2})$$



3° $-(V_{Z1} + V_{D2}) < V_I < V_{D1} + V_{Z2}$

diode ne vode i ne rade u prilogu

$$U_O = V_I$$

