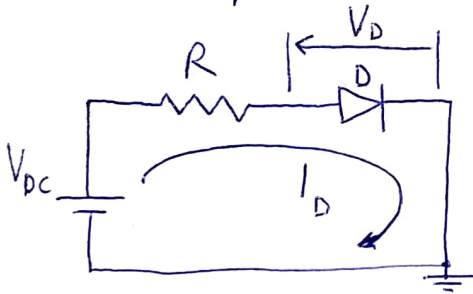# КОЛА СА ДИОДАМА

• Разматрамо основно диодно коло приказано на слици:

$$I_D = \frac{V_{DC} - V_D}{R} \quad \left(\begin{array}{l}\text{Ова једначина се користи} \\ \text{за одређивање радне праве}\end{array}\right)$$

• Отпорник R служи да ограничи струју кроз диоду.

• Струјно-напонска карактеристика реалне диоде:
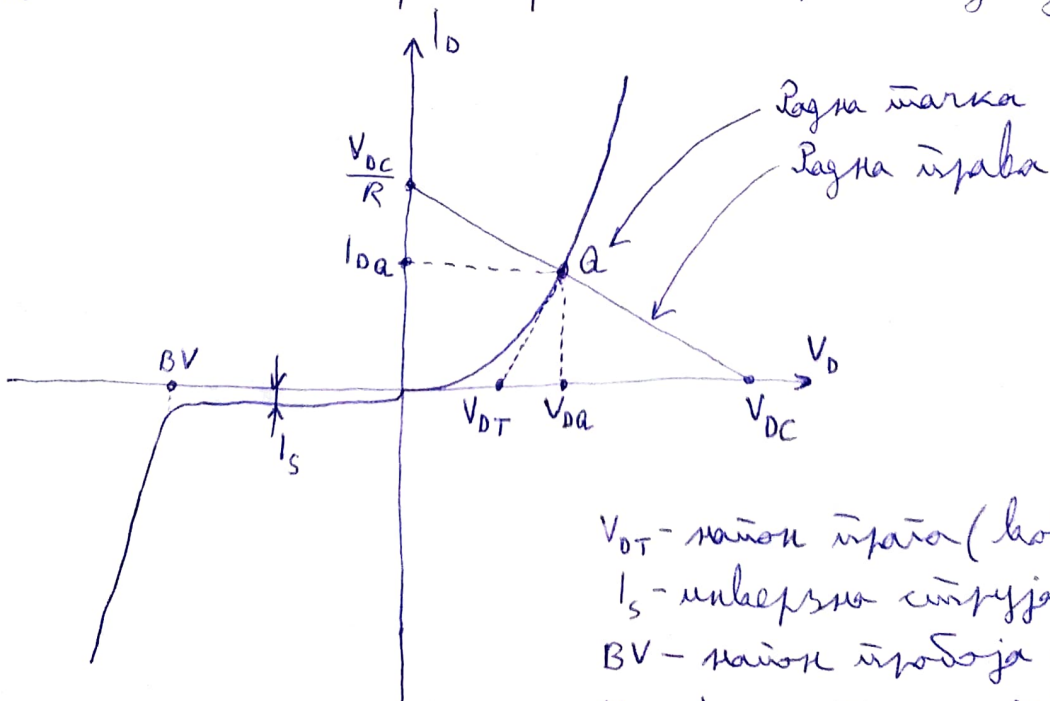
V_{DT} - напон прага (кољена) диоде

I_S - инверзна струја засићења ($\sim$ pA)

BV - напон пробоја диоде

V_{Da}, I_{Da} - напон и струја диоде у радној тачки

У области директне поларизације, зависност струје диоде I_D од напона V_D је:

$$I_D = I_S\left(e^{\frac{V_D}{n\varphi_T}} - 1\right) \quad ; \quad \varphi_T = \frac{kT}{q} \text{ (Термички потенцијал)}$$

$$k = 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{J}{K} \text{ (Болцманова константа)}$$

$$q = 1,6 \cdot 10^{-19} C \text{ (Електрично оптерећење једног електрона)}$$

n – Параметар који може имати вриједности између 1 и 2, зависно од материјала и физичких карактеристика диоде.

$$\varphi_T = 26 \, mV \text{ на температури } T = 300 \, K \ (\approx 27°C).$$

$$I_D = \frac{V_{DC} - V_D}{R} \implies \frac{V_{DC} - V_D}{R} = I_S\left(e^{\frac{V_D}{n\varphi_T}} - 1\right)$$

• Однос напона и струје у радној тачки представља статичку отпорност:

$$R_s = \frac{V_{Da}}{I_{Da}}$$
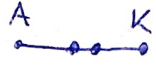
• Динамичка отпорност диоде:
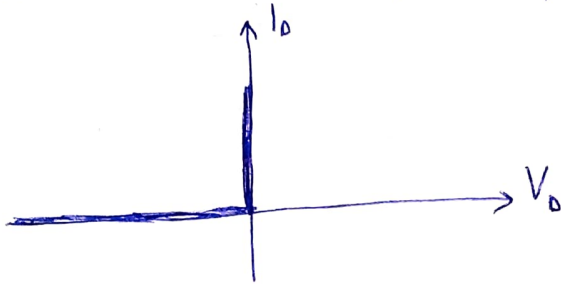
$$r_d = \frac{\Delta V_D}{\Delta I_D}$$

$$r_d = \frac{dV_D}{dI_D} = \frac{1}{dI_D/dV_D} = \frac{\varphi_T}{I_S e^{V_D/\varphi_T}}$$

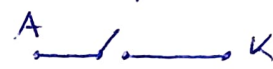• Да би се поједноставила анализа кола која садрже диоде, користе се 3 модела апроксимације.
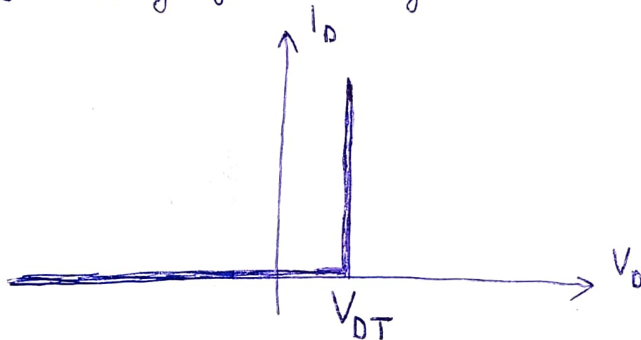
1° Модел идеалне диоде

- За директно поларизовану диоду је диода укључена и $V_D = 0$: A ⚬——⚬ K
- За $V_D < 0$ (инверзно поларисана) је диода искључена и $I_D = 0$: A ⚬—/ ⚬ K
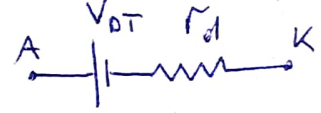
$$I_D = \frac{V_{DC}}{R}$$

2° Модел идеализоване диоде

- За $V_D > V_{DT}$ диода укључена и $V_D = V_{DT}$: A ⚬—||— ⚬ K (V_{DT})
- За $V_D < V_{DT}$ диода искључена и $I_D = 0$: A ⚬—/—⚬ K

$$I_D = \frac{V_{DC} - V_{DT}}{R}$$

3° Потпуни линеарни модел диоде

- За $V_D > V_{DT}$ диода је укључена и $V_D = V_{DT} + I_D \cdot r_d$: A ⚬—||—⟋⟍⟋⟍— ⚬ K (V_{DT} r_d)
- За $V_D < V_{DT}$ диода је искључена и $I_D = 0$: A ⚬—/—⚬ K
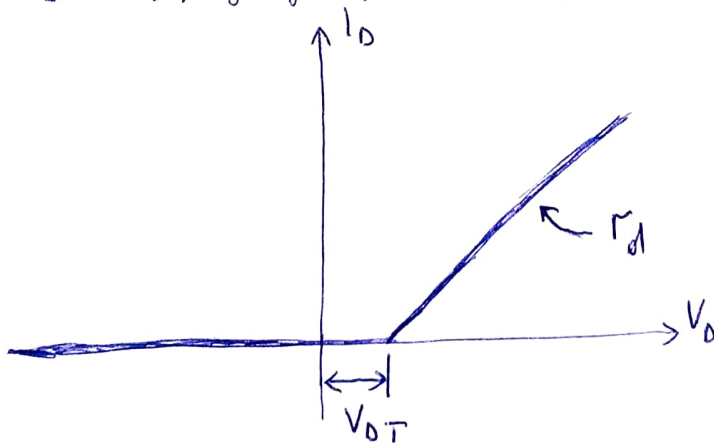
$$I_D = \frac{V_{DC} - V_{DT}}{R + r_d}$$

(10) Извршити анализу једностраног исправљача са диодом приказаног на слици, за случајеве када је:

a) Диода идеална

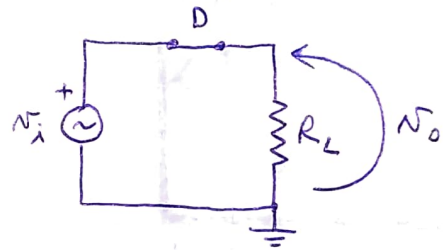б) Диода идеализована са напоном прага V_{DT}

$$v_i(t) = V_m \sin(\omega t)$$

Рјешење:

a) Диода идеална
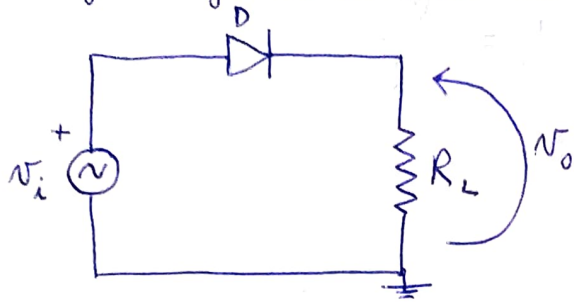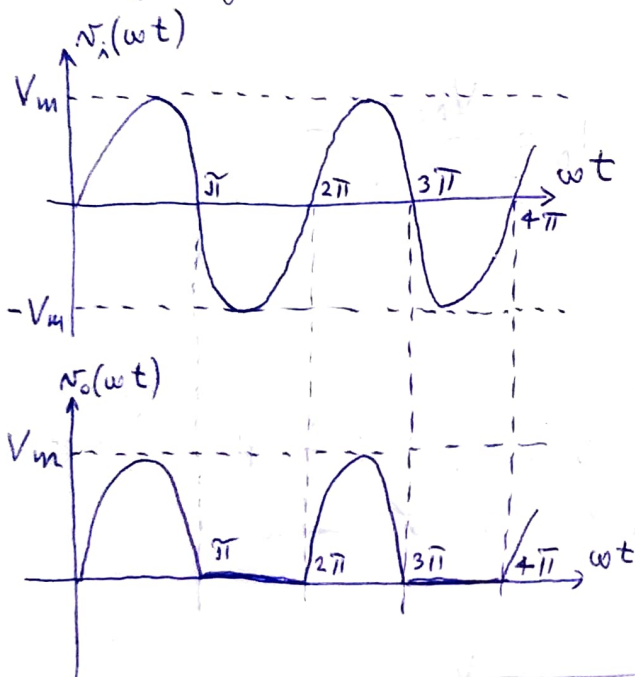
$$0 < \omega t < \pi:$$

$$v_o(t) = \begin{cases} V_m \sin(\omega t) & , \ 0 < \omega t < \pi \\ 0 & , \ \text{иначе} \end{cases}$$

Средња вриједност излазног напона:

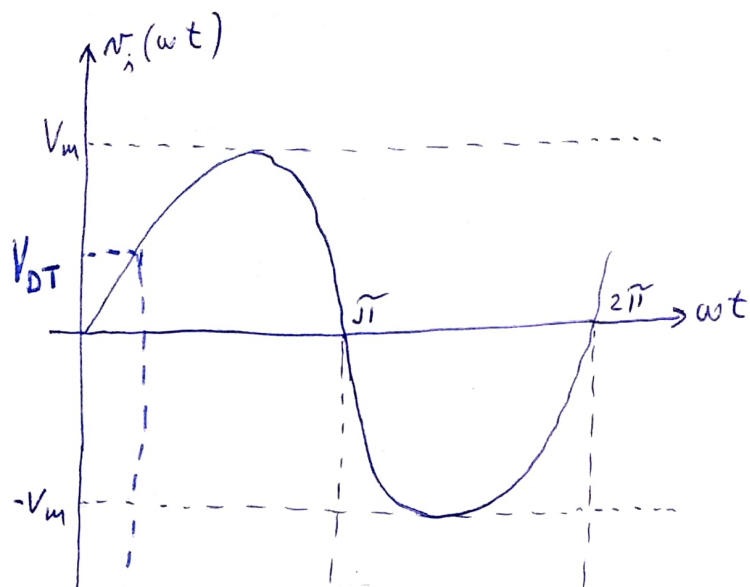$$V_{osr} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} V_m \sin(\omega t)\, d(\omega t)$$

$$V_{osr} = \frac{1}{2\pi}\left[\int_0^{\pi} V_m \sin(\omega t)\, d(\omega t) + \int_{\pi}^{2\pi} V_m \sin(\omega t)\, d(\omega t) \right]$$

$$V_{osr} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} V_m \sin(\omega t)\, d(\omega t) = -\frac{V_m}{2\pi} \cos(\omega t)\Big|_0^{\pi}$$
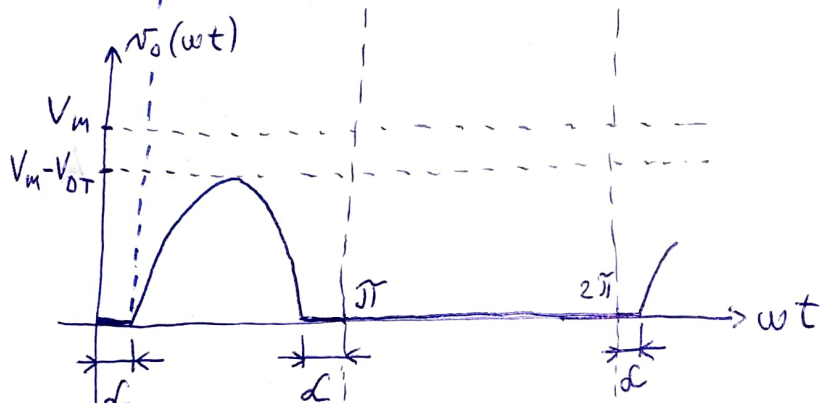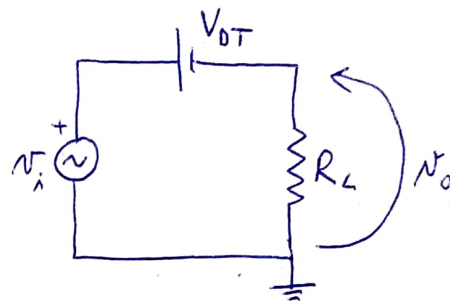
$$\boxed{V_{osr} = \frac{V_m}{\pi}}$$

$$\alpha < \omega t < \pi - \alpha :$$

$$v_0(t) = \begin{cases} V_m \sin(\omega t) - V_{DT} & , \quad \alpha < \omega t < \pi - \alpha \\ 0 & , \quad \text{иначе} \end{cases}$$

$$V_{0sr} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} v_0(\omega t)\, d(\omega t) = \frac{1}{2\pi} \int_\alpha^{\pi - \alpha} \left[V_m \sin(\omega t) - V_{DT} \right] d(\omega t)$$

$$V_{0sr} = \frac{V_m}{2\pi} \left[\cos\alpha - \cos(\pi - \alpha) \right] - \frac{V_{DT}}{2\pi}(\pi - 2\alpha)$$

$$\boxed{V_{0sr} = \frac{V_m}{\pi} \cos\alpha - \frac{V_{DT}}{2\pi}(\pi - 2\alpha)}$$

$$\alpha = ?$$

$$v_i(\alpha) = V_m \sin\alpha = V_{DT}$$

$$\sin\alpha = \frac{V_{DT}}{V_m} \quad \Longrightarrow \quad \boxed{\alpha = \arcsin \frac{V_{DT}}{V_m}}$$

- Ограничавачи напона са диодама

· Једнострани ограничавач:

$$V_{DC} + V_{DT}$$
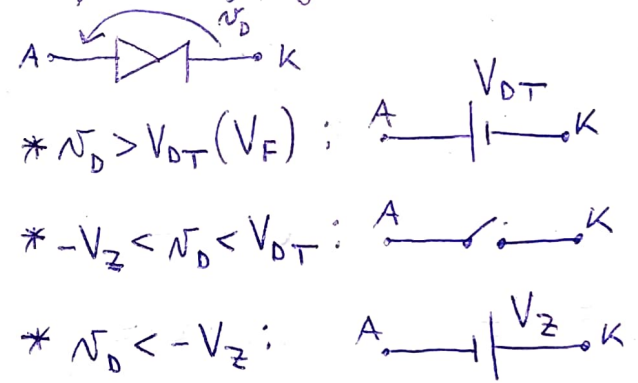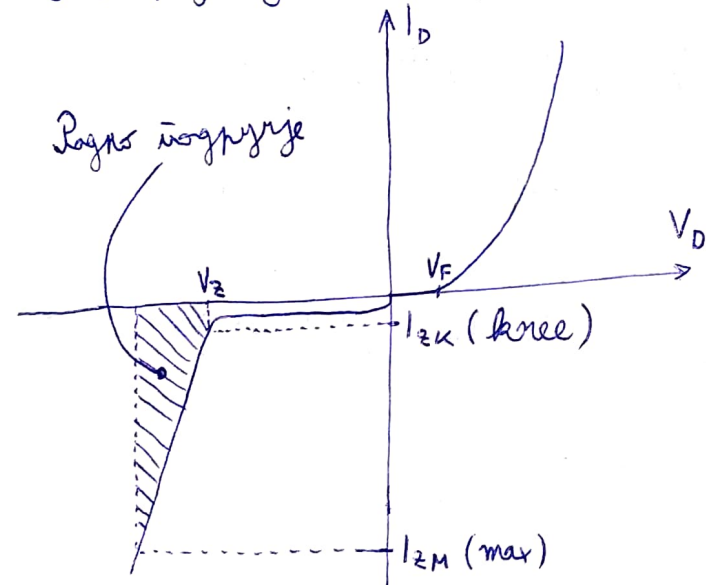
· Двострани ограничавач:

$$V_{R_1} + V_{DT}$$
$$-V_{R_2} - V_{DT}$$
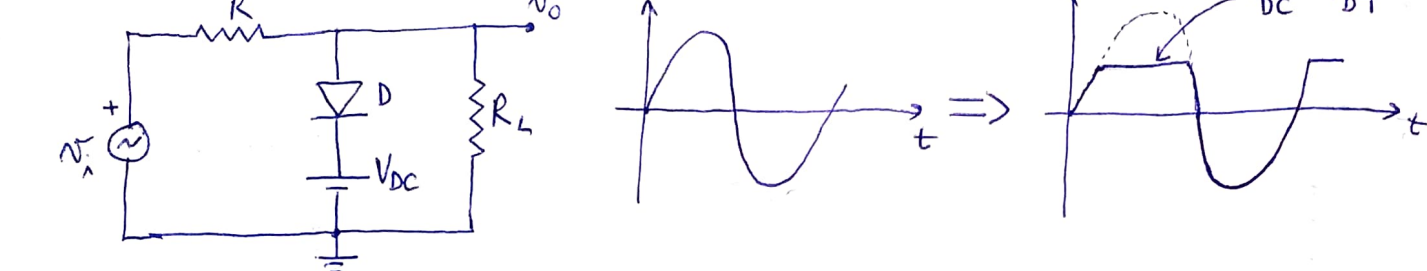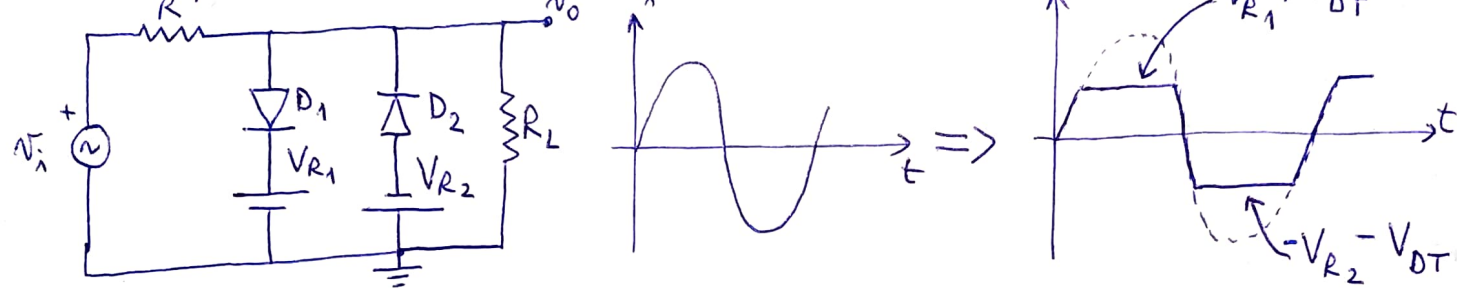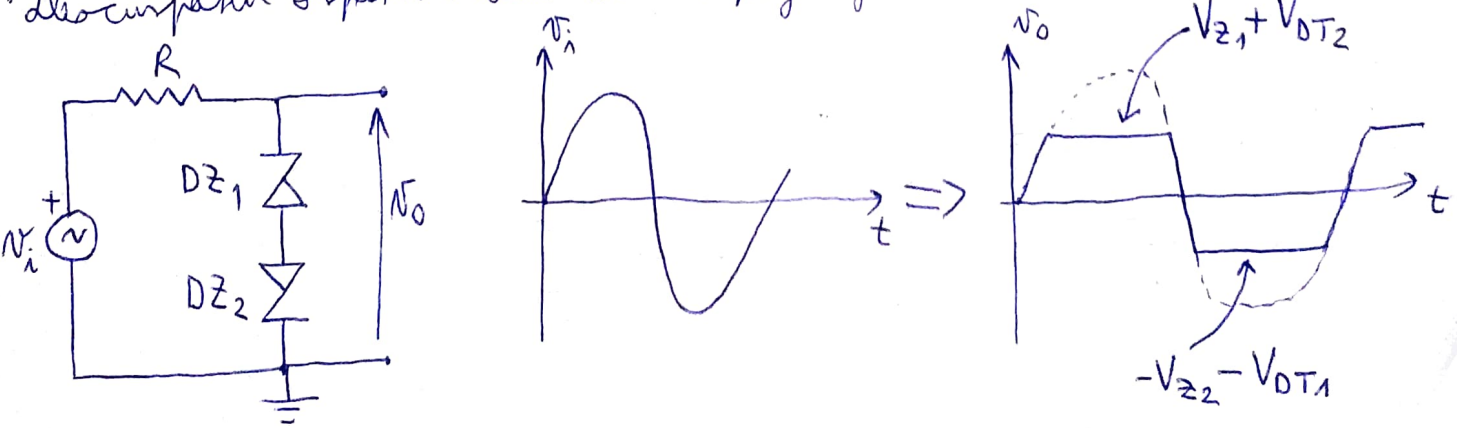
- Зенер диода

- Зенер диоде користе се као регулатори напона. Пројектоване су да раде у режиму инверзне поларизације, у области пробоја.

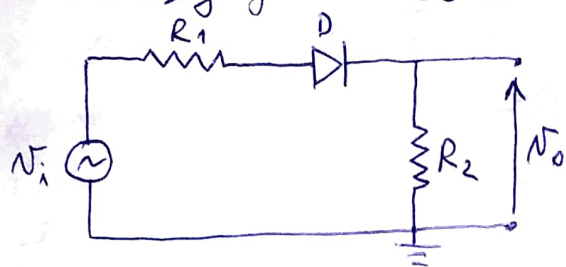Радно подручје

I_{ZK} (knee)

I_{ZM} (max)

$$A \longrightarrow\!\!\mid\!\!\triangleright\!\!\mid \longrightarrow^{\tilde{V}_D} K$$

$$* \; \tilde{V}_D > V_{DT}(V_F) : \quad A \longrightarrow\!\!\mid\!\!\!\mid^{V_{DT}} \longrightarrow K$$

$$* \; -V_Z < \tilde{V}_D < V_{DT} : \quad A \longrightarrow \cdot \;\; \cdot \longrightarrow K$$

$$* \; \tilde{V}_D < -V_Z : \quad A \longrightarrow\!\!\mid\!\!\!\mid^{V_Z} \longrightarrow K$$

$$V_Z = 1,8 \div 200 \, V$$

· Двострани ограничавач са Зенер диодама:
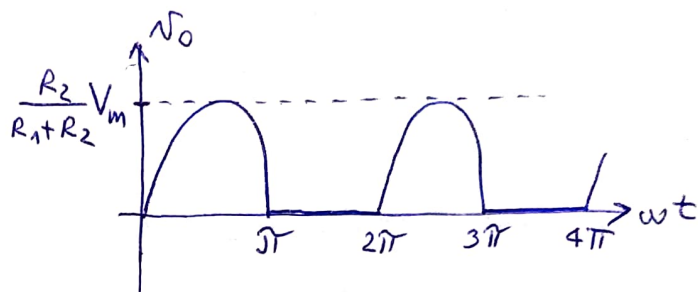

$$V_{Z_1} + V_{DT_2}$$
$$-V_{Z_2} - V_{DT_1}$$

⑪ Сматрајући да је диода идеална одредити таласни облик напона на излазу датог кола. Скицирати излазни напон.

$$\nu_i = V_m \sin(\omega t)$$

Рјешење:

$$\nu_0 = \begin{cases} \dfrac{R_2}{R_1 + R_2} V_m \sin(\omega t), & 0 < \omega t < \pi \\ 0, & \text{иначе} \end{cases}$$
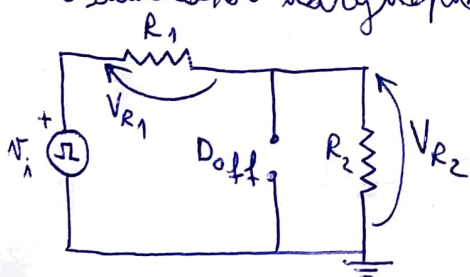

⑫ За коло на слици нацртати таласне облике напона на отпорницима R_1 и R_2. Диода је идеална, а на улазу је правоугаони напон.
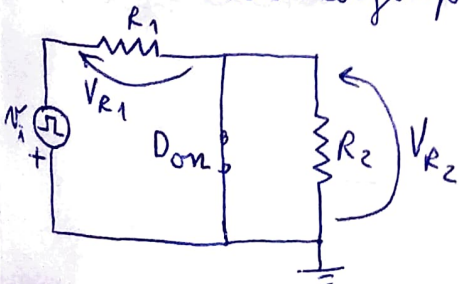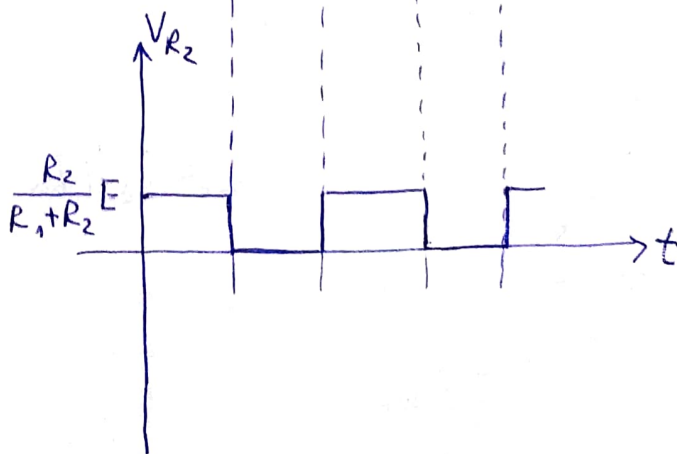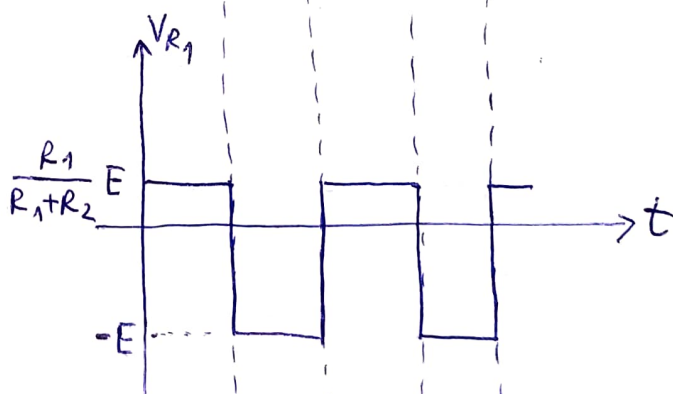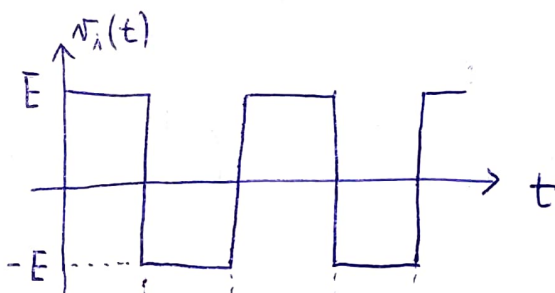

Рјешење:
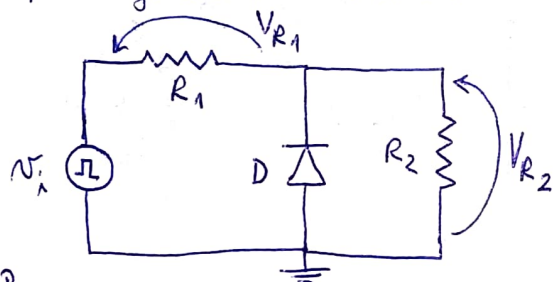
1° Позитивна полупериода:

$$V_{R_1} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} E \; ; \; V_{R_2} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} E$$
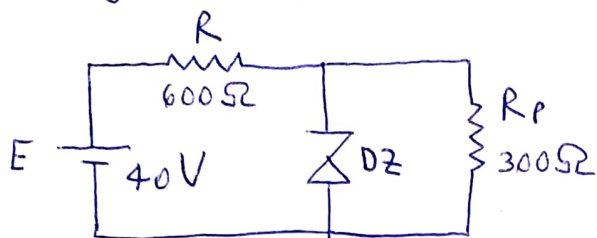
2° Негативна полупериода

$$V_{R_1} = -E \; ; \; V_{R_2} = 0$$

⑬ На слици је дати стабилизатор напона са Зенер диодом која има следеће карактеристике: $V_z = 10V$, $r_z = 10\Omega$. Одредити струју диоде, струју оптерећења, као и излазну отпорност стабилизатора.

Рјешење:

Да би поједноставили коло, трансформисаћемо дати напонски генератор у струјни, након тога еквивалентну отпорност након тога, те тек новодобијени струјни генератор трансформисати у напонски.
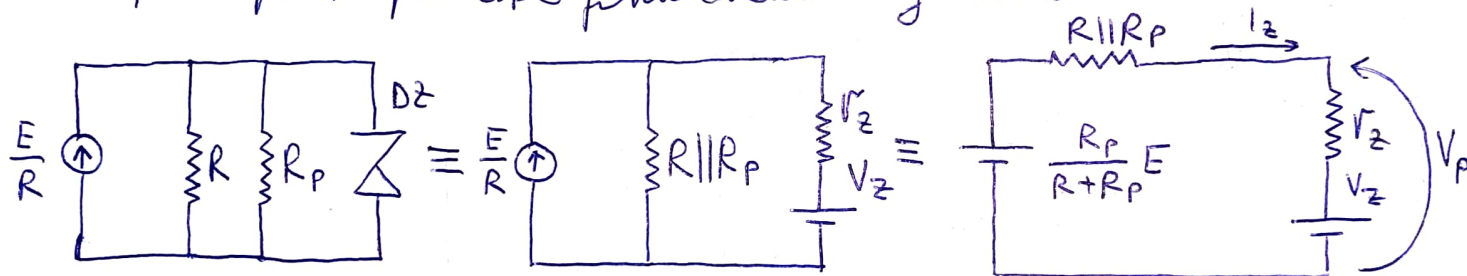
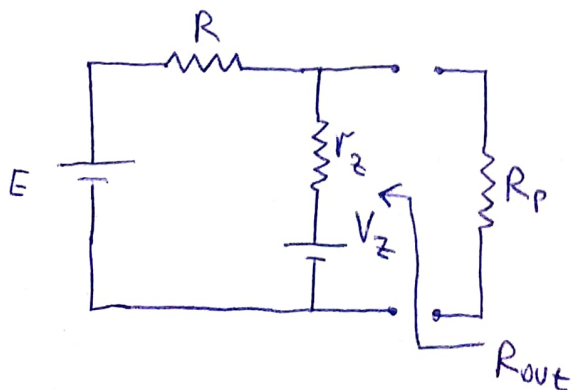$$I_z = \frac{\frac{R_p}{R+R_p}E - V_z}{R\|R_p + r_z} = 15,8\ mA \quad (\text{струја кроз Зенер диоду})$$

$$V_p = V_z + r_z \cdot I_z = 10,16\ V \quad (\text{напон на потрошачу})$$

$$I_p = \frac{V_p}{R_p} = 33,9\ mA \quad (\text{струја кроз потрошач})$$

Излазна отпорност је отпорност која се види од стране потрошача када се сви напонски генератори замијене кратким спојем, а струјни генератори прекидом.

$$R_{out} = r_z \| R \approx r_z = 10\ \Omega$$

(14) У колу приказаном на слици употријебљене су 4 једнаке диоде, D_1 до D_4, те једна Зенер диода ZD, чије се U-I карактеристике могу приближно представити приказаним дијаграмима.
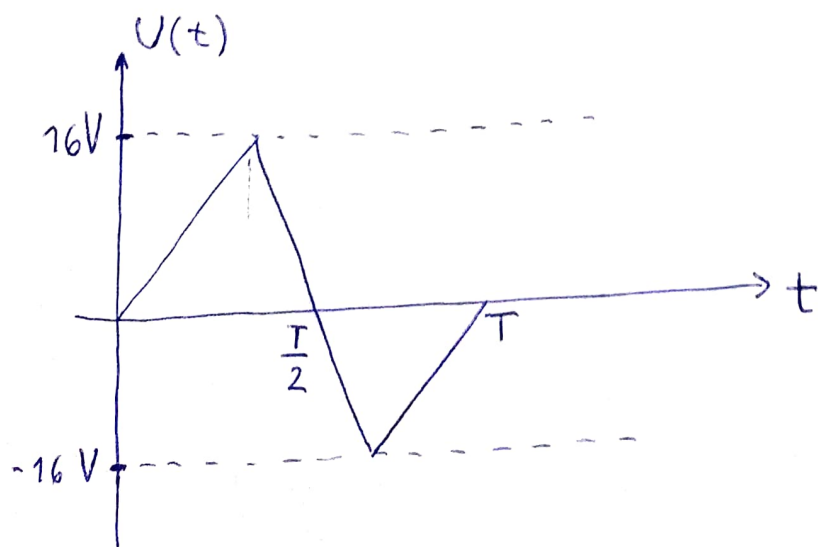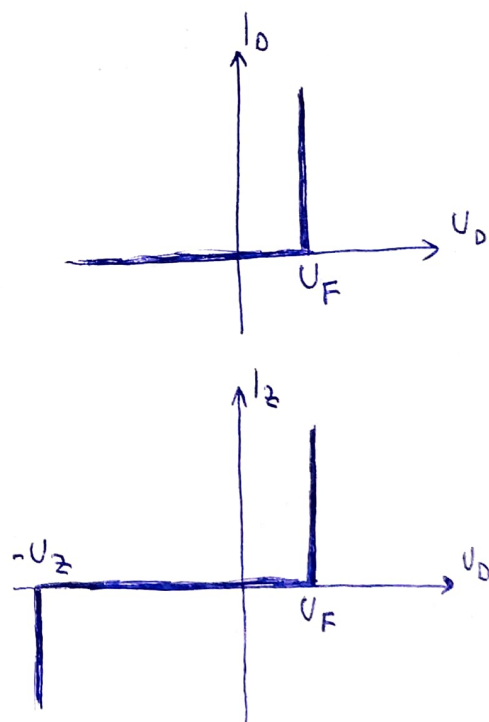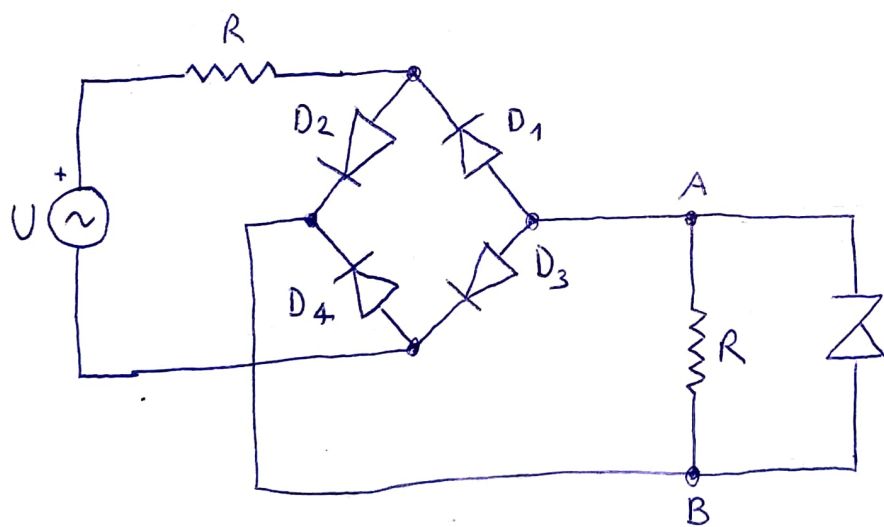
a) Одредити општи израз за вриједност напона $U_{AB}(U)$.

Ако је напон диоде поларисане у пропусном смјеру U_F једнак 1 V, а радни напон Зенер диоде у области пробоја $U_Z = 5$ V;

б) Одредити вриједност напона U_{AB} за случај $U = 16$ V.

в) Нацртати улазно-излазну карактеристику кола $U_{AB}(U)$.

г) Нацртати дијаграм таласног облика напона $U_{AB}(t)$, ако напон $U(t)$ има симетрични троугаони таласни облик амплитуде 16 V.
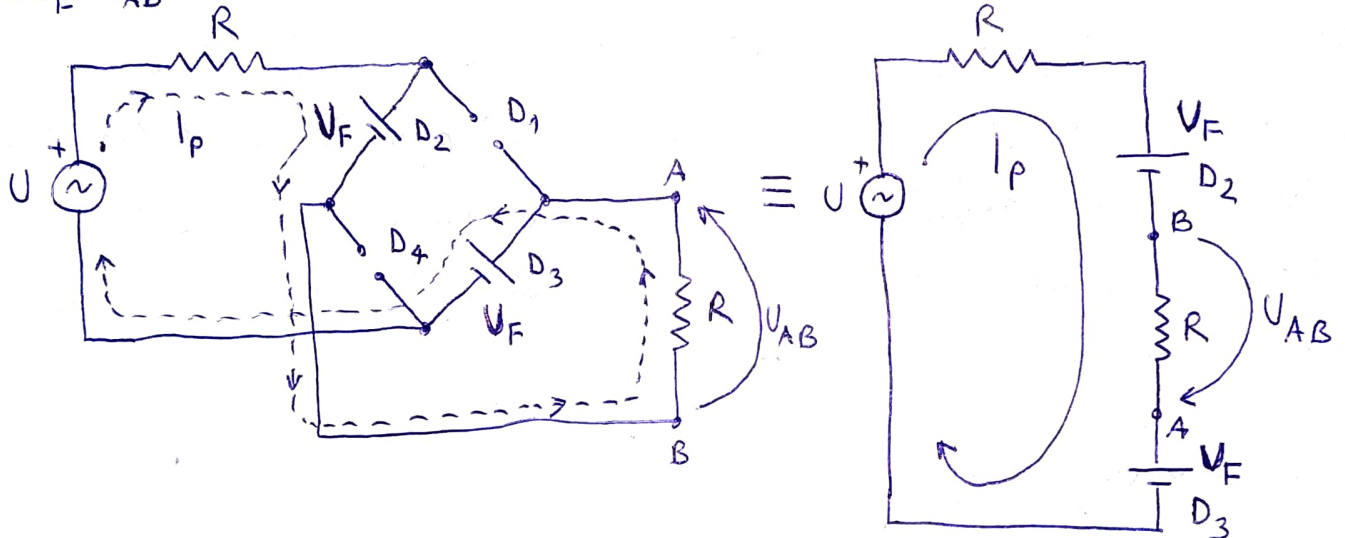
Rjeшење:

- Ради се о двостраном исправљачу код којег су диоде у конфигурацији Грецовог споја.
- Напон U_{AB} је увијек негативан.
- Да би неки од парова диода (D_1, D_4) или (D_2, D_3) водио, мора бити $|U| > 2U_F$. За $|U| \leq 2U_F$ је $U_{AB} = 0$.

a) $\underline{U > 2U_F}$:

• За $-U_F < U_{AB} < 0$:

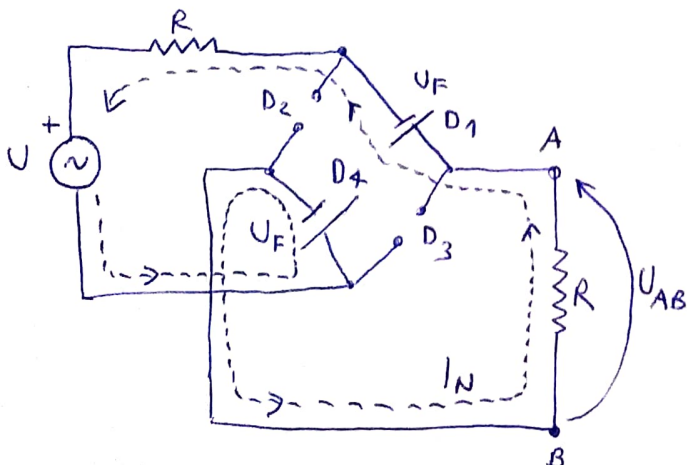$$U_{AB} = -RI_P = -R\frac{U - 2U_F}{2R} = -\frac{U}{2} + U_F$$

Зенер диода ће почети да води када напон $-U_{AB}$ достигне вриједност U_F.

$$-U_{AB}(U_{GP}) = V_F \implies U_{AB}(U_{GP}) = -U_F \implies -U_F = -\frac{U_{GP}}{2} + U_F$$

$$\boxed{U_{GP} = 4U_F = 4V}$$

$\underline{U < -2U_F}$

• За $-U_F < U_{AB} < 0$:

$$U_{AB} = -RI_N = -R \cdot \left(-\frac{U+2U_F}{2R}\right) = \frac{U}{2} + U_F$$

Зенер диода ће почети да води када напон $-U_{AB}$ достигне вриједности U_F.

$$U_{AB}(U_{GN}) = -U_F \implies \frac{U_{GN}}{2} + U_F = -U_F$$

$$\boxed{U_{GN} = -4U_F = -U_{GP} = -4V}$$

$$U_{AB} = -U_F \quad \text{за} \quad U < U_{GN} = -4U_F$$

Сада можемо формулисати општи израз за $U_{AB}(U)$:

$$U_{AB} = \begin{cases} 0 & , \ |U| \leq 2U_F \\ -\frac{U}{2} + U_F & , \ 2U_F < U < 4U_F \\ \frac{U}{2} + U_F & , \ -4U_F < U < -2U_F \\ -U_F & , \ U > 4U_F \\ -U_F & , \ U < 4U_F \end{cases}$$
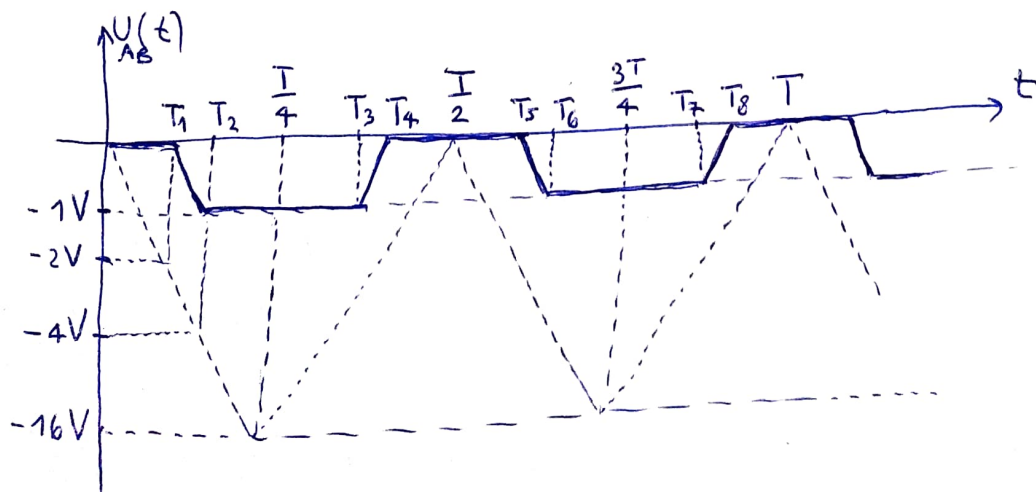
б) $U = 16V$ (позитивна полупериода)

$$U = 16V > U_{GP} \implies \boxed{U_{AB}(16V) = -U_F = -1V}$$

в)

г)
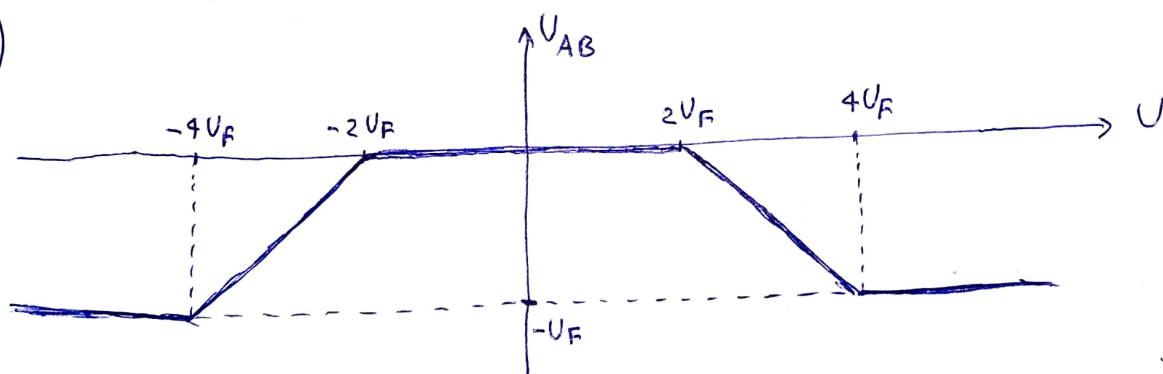
$$T_1 = \frac{T/4}{8} = \frac{T}{32}$$

$$T_2 = \frac{T/4}{4} = \frac{T}{16}$$

$$T_3 = \frac{T}{2} - T_2 = \frac{7T}{16}$$

$$T_4 = \frac{T}{2} - T_1 = \frac{15T}{32}$$

$$T_5 = \frac{T}{2} + T_1 = \frac{17T}{32}$$

$$T_6 = \frac{T}{2} + T_2 = \frac{9T}{16}$$

$$T_7 = T - T_2 = \frac{15T}{16}$$

$$T_8 = T - T_1 = \frac{31T}{32}$$