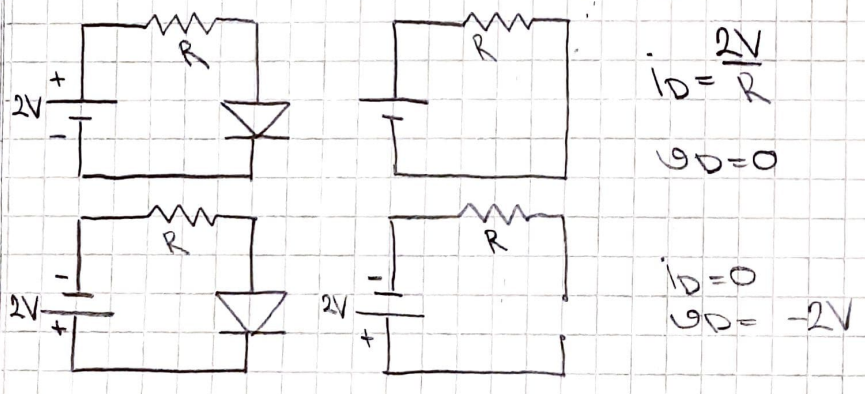
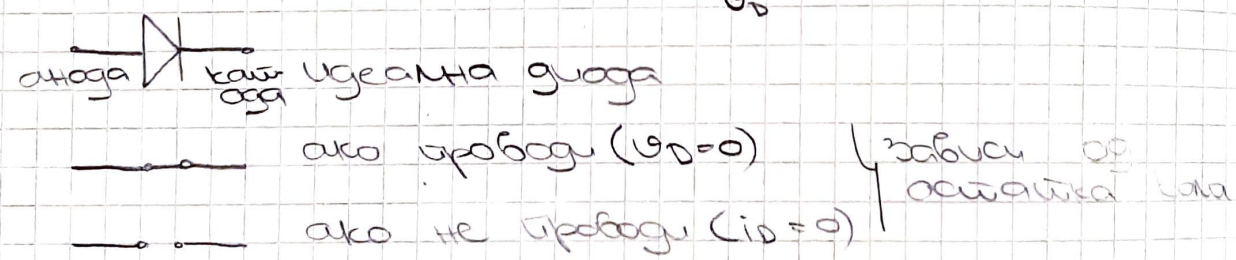
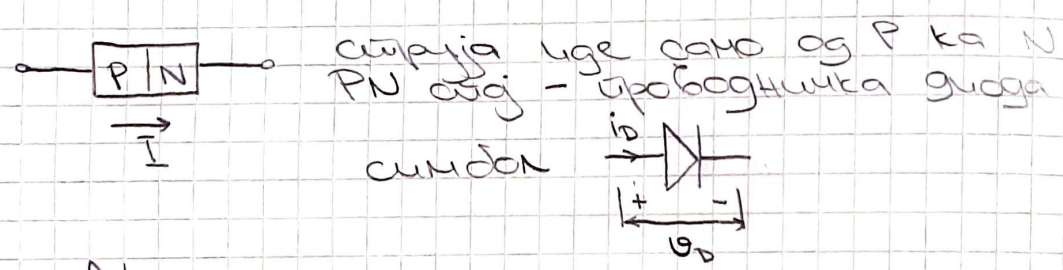


Електротехнички материјали се деле на
 метале, изолаторе и полупроводнике (савременим
 узетим се може направити да буде или проводник
 или изолатор). Si - силицијум, Ge - германијум
 Чисти Si (свакмо) је изолатор. У валентној зони
 има 4 електрона који дају четворовалентну везу.
 Савршена кристална решетка се изводи и уводи
 се тас (примеса) - провалентни или неовалентни
 (допуњавање) - 3 електрона у примесе граде
 четворе везе, а једно место остаје шућавина.
 Si P тип. Ако је примеса неовалентна, онда
 се добија Si N тип.

шућавина \oplus електрон \ominus
 P тип N тип



$I_D = f(U_D)$
 $I_D = I_S (e^{\frac{U_D}{V_T}} - 1)$

I_S - инверзна струја засићења

$$10^{-17} \text{ A} < I_S < 10^{-13} \text{ A}$$

V_T - термантни напон

$$V_T = 25 \text{ mV на } 25^\circ \text{ C}$$

$$V_T = k \frac{T}{q} \rightarrow \text{у келвинима}$$

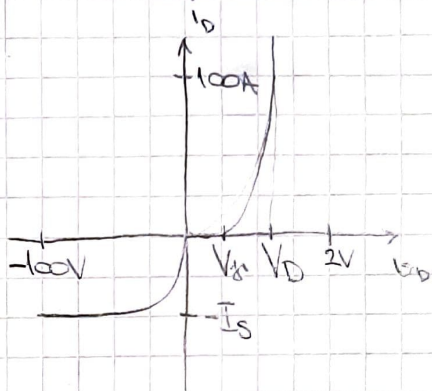
$\downarrow q \rightarrow$ елементарна енергија
 баунтоба
 калкулација

$$U_D = 1 \text{ V}$$

$$\frac{U_D}{V_T} = \frac{1 \text{ V}}{25 \text{ mV}} = 40 \quad e^{40} \approx 10^{20}$$

$$I_D \approx I_S e^{\frac{U_D}{V_T}}, \quad U_D > 0,1 \text{ V}$$

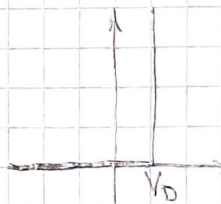
$$I_D \approx -I_S, \quad U_D < 0$$



~~$$V_D \approx 0,55 \text{ V}$$~~

zbog toga da
 ostanu
 na nuli V_D

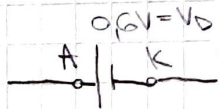
$$V_D \approx 0,6 \text{ V}$$



UGEANTA GUAGA

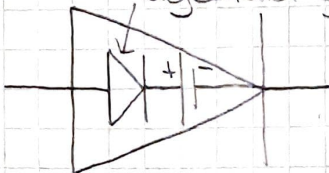


$$\text{A} \quad \text{K} \quad I_D = 0 \quad U_D < \frac{0,6 \text{ V}}{V_D}$$



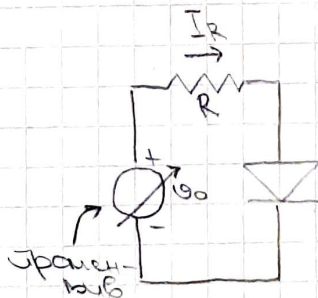
$$I_D > 0 \Rightarrow U_D = V_D = 0,6 \text{ V}$$

UGEANTA GUAGA

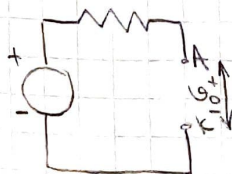


$$-5 \text{ V} < U_0 < +5 \text{ V}$$

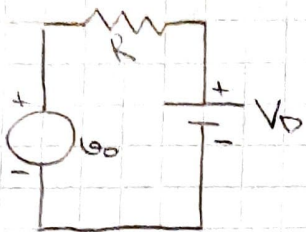
$$I_D = I_R = f(U_0)$$



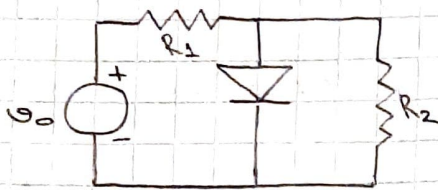
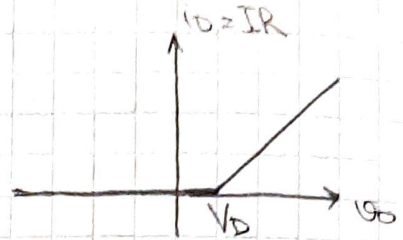
УРАЧУВАЊЕ



1. guaga ne bogu
 $I_D = I_S = 0$ za $U_0 < 0,6 \text{ V} = V_D$



$$i_D = I_R = \frac{U_0 - V_D}{R}$$

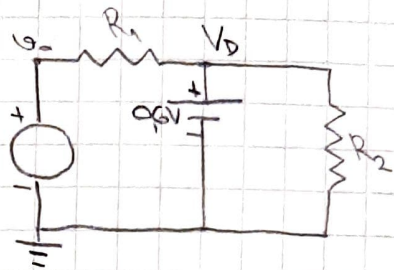


$$0 < U_0 < +5V$$



$$I_{R1} = I_{R2} = \frac{U_0}{R_1 + R_2}$$

$$i_D = 0$$

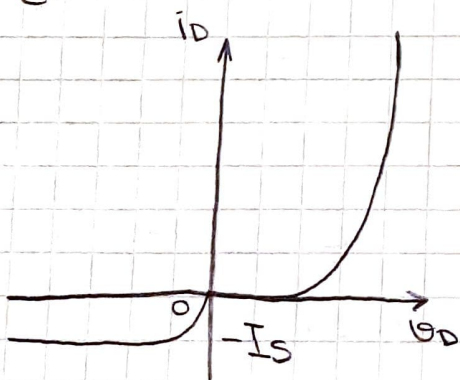


$$I_{R2} = \frac{V_D}{R_2}$$

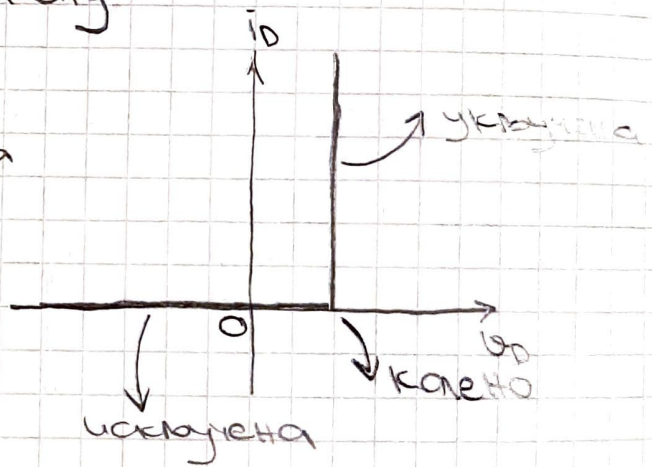
$$I_{R1} = \frac{U_0 - V_D}{R_1}$$

сиринно напачиска карактеристика глоге $i_D = I_S (e^{U_D} - 1)$

је еквивалентно Омовом закону



апротинауја



срци свих напачких карактеристика
уја i_D и U_D кроз глогу

34) dati su u vremenski odliku napona u struji.

Određuju odgovarajuće faze:

a) $u_1(t) = 24\sqrt{2} V \cos(377t - 45^\circ)$

fazorni - velikim bogučenim ili donovanim slovom, sastoji se iz modula u ugla

U_1 modul se godija deketem amplitudje sa $\sqrt{2}$ zavis mora diti kosinusot odlika, sa pozitivnim preobratom ustreg ωt u ustreg amplitudje ugao fazora je ugao θ - faza

U_1 = $24V \angle -45^\circ$

b) $i_4(t) = 18\sqrt{2} A \sin(2513t + 4,2^\circ) = 18\sqrt{2} A \cos(90^\circ - (2513t + 4,2^\circ)) =$
 $= 18\sqrt{2} A \cos(-2513t + 85,8^\circ) = 18\sqrt{2} A \cos(2513t - 85,8^\circ) =$

I_4 = $18A \angle -85,8^\circ$

Svi naponi u sve struje u komu su predstavljeno-
digne funkcije vremena (sinusoidane ili
kosinusoidane) sa istom krupnom ucestotom
u i razlicitim fazama u obicnom smislu.

$x(t) = X_m \cos(\omega t + \theta)$

$x(t)$ - struja ili napon u vremenskom zmenu

X_m - amplituda

ω - krupna ucestotost

θ - faza

t - vremenska promenliva

$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$, f - frekvencija, $T = \frac{1}{f}$ perioda

$$d) i_2(t) = 12A \cos(377t + 120^\circ)$$

$$\underline{I_2} = 6\sqrt{2}A \angle 120^\circ$$

$$e) u_3(t) = 12\sqrt{2}V \cos(377t - 425^\circ)$$

$$\underline{U_3} = 12V \angle -65^\circ$$

$$g) u_5(t) = 2V \sin(2\pi ft), f = 50 \text{ kHz}$$

$$u_5(t) = 2V \cos(90^\circ - 2\pi ft) = 2V \cos(2\pi ft - 90^\circ) =$$

$$= 2V \cos(100\pi t - 90^\circ)$$

$$\underline{U_5} = \sqrt{2}V \angle -90^\circ$$

$$f) i_6(t) = -8A \sin(2\pi ft - 135^\circ), f = 20 \text{ kHz}$$

$$i_6(t) = 8A \sin(135^\circ - 2\pi ft) = 8A \cos(90^\circ - 135^\circ + 2\pi ft) =$$

$$= 8A \cos(40\pi t - 45^\circ)$$

$$\underline{I_6} = 4\sqrt{2}A \angle -45^\circ$$

35) Конвертировать данные фазоры в временные функции отбараживаемых напряжений и токов, если частота $f = 60 \text{ Hz}$.

$$a) \underline{U_1} = 16V \angle 20^\circ$$

$$u_1(t) = 16\sqrt{2}V \cos(2\pi ft + 20^\circ) = 16\sqrt{2}V \cos(120\pi t + 20^\circ)$$

$$b) \underline{I_2} = 10A \angle -75^\circ$$

$$i_2(t) = 10\sqrt{2}A \cos(120\pi t - 75^\circ)$$

36) Конвертировать данные фазоры в временные функции отбараживаемых напряжений и токов, если частота $f = 400 \text{ Hz}$.

$$a) \underline{U_1} = 10V \angle 120^\circ$$

$$u_1(t) = 10\sqrt{2}V \cos(800\pi t + 120^\circ)$$

$$b) \underline{I_2} = 12A \angle -60^\circ$$

$$i_2(t) = 12\sqrt{2}A \cos(800\pi t - 60^\circ)$$

Конверзија напред и обратно из временског у комплексни
 кени времен и обратно

1) из $x(t) = X_m \cos(\omega t + \theta)$ у фреквенцију $\underline{X} = a + jb$
 фазор: $|\underline{X}| \angle \theta$, $|\underline{X}| = \frac{X_m}{\sqrt{2}}$

$$\underline{X} = |\underline{X}| e^{j\theta} = |\underline{X}| (\cos\theta + j\sin\theta) = |\underline{X}| \cos\theta + j|\underline{X}| \sin\theta = a + jb$$

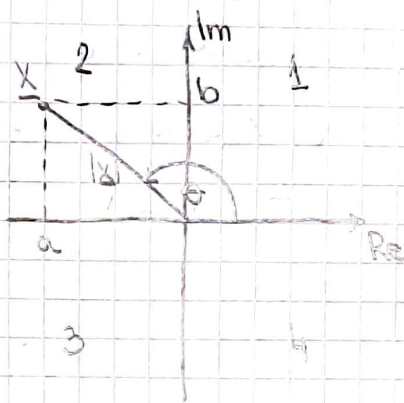
$$a = |\underline{X}| \cos\theta, \quad b = |\underline{X}| \sin\theta, \quad j^2 = -1$$

2) из $\underline{X} = a + jb$ у $x(t) = X_m \cos(\omega t + \theta)$

$$\underline{X} = a + jb = |\underline{X}| e^{j\theta}$$

$$|\underline{X}| = \sqrt{a^2 + b^2}$$

$$\theta = \begin{cases} \arctg \frac{b}{a} & \text{за 1. и 4.} \\ & \text{квadrант} \\ 180^\circ + \arctg \frac{b}{a} & \text{за 2. и 3.} \\ & \text{квadrант} \end{cases}$$



$$|\underline{X}| e^{j\theta} \rightarrow \text{фазор } |\underline{X}| \angle \theta \quad X_m = |\underline{X}| \sqrt{2}$$

$$x(t) = X_m \cos(\omega t + \theta)$$

37) Конвертовати дате напоне и струје из временског у комплексни времен ако је познато да је $f = 5 \text{ kHz}$.

a) $u_1(t) = 6V \cos(2\pi f t)$

$$\underline{U}_1 = 3\sqrt{2} V \angle 0^\circ = 3\sqrt{2} V e^{j0^\circ} = 3\sqrt{2} V (\cos 0^\circ + j\sin 0^\circ) = 3\sqrt{2} V$$

b) $u_2(t) = 2V \cos(2\pi f t + 45^\circ)$

$$\underline{U}_2 = \sqrt{2} V \angle 45^\circ = \sqrt{2} V e^{j45^\circ} = \sqrt{2} V (\cos 45^\circ + j\sin 45^\circ) = (1 + j) V$$

b) $i_3(t) = \sqrt{2} A \sin(2\pi f t) = \sqrt{2} A \cos(90^\circ - 2\pi f t) =$

$$= \sqrt{2} A \cos(2\pi f t - 90^\circ)$$

$$\underline{I}_3 = 1A \angle -90^\circ = 1A \cdot e^{-j90^\circ} = 1A (\cos(-90^\circ) + j\sin(-90^\circ)) =$$

$$= 1A (0 - j) = -jA$$

$$1) i_4(t) = -3\sqrt{2}A \cos(2\pi ft)$$

$$\underline{I}_4 = -3A \angle 0^\circ = -3A \cdot e^{j0^\circ} = -3A \cdot (\cos 0^\circ + j\sin 0^\circ) =$$

$$= -3A \cdot 1 = -3A$$

38) Конвертовати дате напоне и струје из временског у комплексни домет ако је познато да је $\omega = 6 \frac{\text{krad}}{\text{s}}$.

$$a) u_1(t) = -\sqrt{2}V \sin(\omega t - 150^\circ) = \sqrt{2}V \sin(150^\circ - \omega t) =$$

$$= \sqrt{2}V \cos(\omega t - 60^\circ)$$

$$\underline{U}_1 = 1V \cdot \angle -60^\circ = 1V \cdot e^{j(-60^\circ)} = 1V \cdot (\cos(-60^\circ) + j\sin(-60^\circ)) =$$

$$= 1V \cdot \left(\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}\right) = \left(\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}\right)V$$

$$b) i_2(t) = 2A \sin(\omega t - 135^\circ) = 2A \cos(\omega t - 225^\circ) =$$

$$\underline{I}_2 = \sqrt{2}A \angle -225^\circ = \sqrt{2}A \cdot e^{j(-225^\circ)} = \sqrt{2}A (\cos(-225^\circ) + j\sin(-225^\circ)) =$$

$$= \sqrt{2}A \cdot \left(-\frac{\sqrt{2}}{2} + j\frac{\sqrt{2}}{2}\right) = (-1 + j)A$$

39) Конвертовати дате напоне и струје из комплексног у временски домет ако је познато да је $f = 2\text{kHz}$.

$$a) \underline{U}_1 = \frac{(5 + j5)V}{1. \text{ kVodovani}} \quad |\underline{U}_1| = \sqrt{25 + 25} = 5\sqrt{2}V$$

$$\theta = \arctg \frac{5}{5} = 45^\circ$$

$$\underline{U}_1 = 5\sqrt{2}V \cdot e^{j45^\circ} = 5\sqrt{2}V \angle 45^\circ$$

$$u_2(t) = 10V \cos(4000\pi t + 45^\circ)$$

$$b) \underline{I}_2 = \frac{(-3 + j4)A}{2. \text{ kA.}} \quad |\underline{I}_2| = \sqrt{9 + 16} = 5A$$

$$\theta = 180^\circ + \arctg\left(-\frac{4}{3}\right) = 126,87^\circ$$

$$\underline{I}_2 = 5A \angle 126,87^\circ \quad i_2(t) = 5\sqrt{2}A \cos(4000\pi t + 126,87^\circ)$$

49) конвертовати даве напоне и струје у комплексни у временски гомеи ако је $\omega = 10 \frac{\text{krad}}{\text{s}}$

$$a) \underline{U}_1 = \underbrace{(-7 - j2)}_{3.\text{kb.}} \text{ V} \quad |\underline{U}_1| = \sqrt{49+4} = \sqrt{53} \text{ V}$$

$$\theta = 180^\circ + \arctg \frac{2}{7} = 195,95^\circ$$

$$\underline{U}_1 = \sqrt{53} \text{ V} \angle 195,95^\circ$$

$$u_1(t) = \sqrt{106} \text{ V} \cdot \cos(10000t + 195,95^\circ)$$

$$b) \underline{I}_2 = \underbrace{(2 - j5)}_{4.\text{kb.}} \text{ A} \quad |\underline{I}_2| = \sqrt{4+25} = \sqrt{29} \text{ A}$$

$$\theta = \arctg \left(-\frac{5}{2}\right) = -68,2^\circ$$

$$\underline{I}_2 = \sqrt{29} \text{ A} \angle -68,2^\circ$$

$$i_2(t) = \sqrt{58} \text{ A} \cos(10000t - 68,2^\circ)$$

Решаване која у условима просторно-временског
режима

1) конверзија свих напона и струја у временски
екот у комплексном домену

2) конверзија отпорности отпорника, индуктивна
ности кондензатора и капацитивности конден-
затора у одговарајуће импедансе

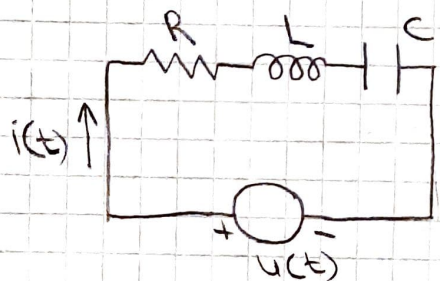
$$\underline{Z}_R = R \quad \underline{Z}_L = j\omega L \quad \underline{Z}_C = \frac{1}{j\omega C}$$

3) решавање која у комплексном домену применом
закона и метода које су решене код која са
једносмерним струјама

4) конверзија добијеног резултата у комплексном
у временски домен

41) За која са слике је познато $u(t) = 50\sqrt{2}V \cos(\omega t + 30^\circ)$, $R = 25\Omega$, $L = 20\text{mH}$, $C = 50\mu\text{F}$.

а) Израчунајте еквивалентну импедансу при
редно везана елемента (R, L, C), као и струју
 $i(t)$ ако која ради на $f = 60\text{Hz}$. б) $f = 400\text{Hz}$



а) $\underline{Z}_R = R = 25\Omega$

$$\underline{Z}_L = j\omega L = j \cdot 2\pi \cdot 60\text{Hz} \cdot 20\text{mH} = j \cdot 7,54\Omega$$

$$\underline{Z}_C = \frac{1}{j\omega C} = -\frac{j}{\omega C} = -\frac{j}{2\pi \cdot 60\text{Hz} \cdot 50\mu\text{F}} = -j \cdot 53,05\Omega$$

$$\underline{Z}_{EKV} = \underline{Z}_R + \underline{Z}_L + \underline{Z}_C = (25 - j45,51)\Omega$$

$$\underline{U} = 50V \angle 30^\circ = 50V e^{j30^\circ} = 50V \cdot (\cos 30^\circ + j \sin 30^\circ) =$$

$$= 50V \cdot \left(\frac{\sqrt{3}}{2} + \frac{1}{2}j \right) = 25(\sqrt{3} + j)V$$

$$\underline{I} = \frac{U}{Z_{EKV}} = \frac{25(\sqrt{3} + j)V}{(25 - 45,51j)\Omega} \cdot \frac{(25 + 45,51j)\Omega}{(25 + 45,51j)\Omega} =$$

$$= (-0,0205 + 0,9627j)A$$

$$|\underline{I}| = \sqrt{(-0,0205)^2 + (0,9627)^2} = 0,96A$$

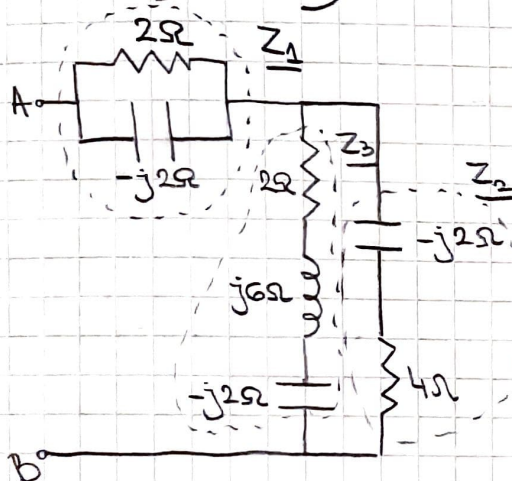
$$\theta = 180^\circ + \arctan \frac{0,9627}{-0,0205} = 91,22^\circ$$

$$\underline{I} = 0,96A \angle 91,22^\circ$$

$$i(t) = 0,96\sqrt{2}A (\cos 2\pi ft + 91,22^\circ) =$$

$$= 0,96\sqrt{2}A (\cos 120\pi t + 91,22^\circ)$$

42) Za koliko sa slike odrediti ekvivalentnu impedanciju između terminala A i B.



$$\underline{Z}_1 = 2\Omega \parallel (-j2\Omega) = \frac{-j \cdot 4\Omega^2}{2\Omega - j2\Omega} \cdot \frac{2\Omega + j2\Omega}{2\Omega + j2\Omega}$$

$$= \frac{-j \cdot 8\Omega^2 + 8\Omega^2}{8\Omega^2} = (1 - j)\Omega$$

$$\underline{Z}_2 = 4\Omega - j2\Omega = (4 - 2j)\Omega$$

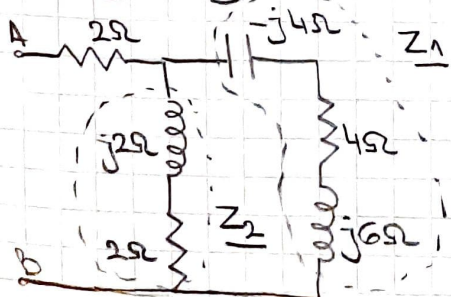
$$\underline{Z}_3 = 2\Omega + j6\Omega - j2\Omega = (2 + j4)\Omega$$

$$\underline{Z}_2 \parallel \underline{Z}_3 = \frac{(4 - 2j)(2 + j4)}{6 + j2} \cdot \frac{6 - j2}{6 - j2} = \frac{96 + 72j - 32j + 84}{40} \Omega =$$

$$= (3 + j)\Omega$$

$$\underline{Z}_{EKV} = \underline{Z}_1 + \underline{Z}_3 = (1 - j)\Omega + (3 + j)\Omega = 4\Omega$$

43) Za koliko sa slike odrediti ekvivalentnu impedanciju između terminala A i B.



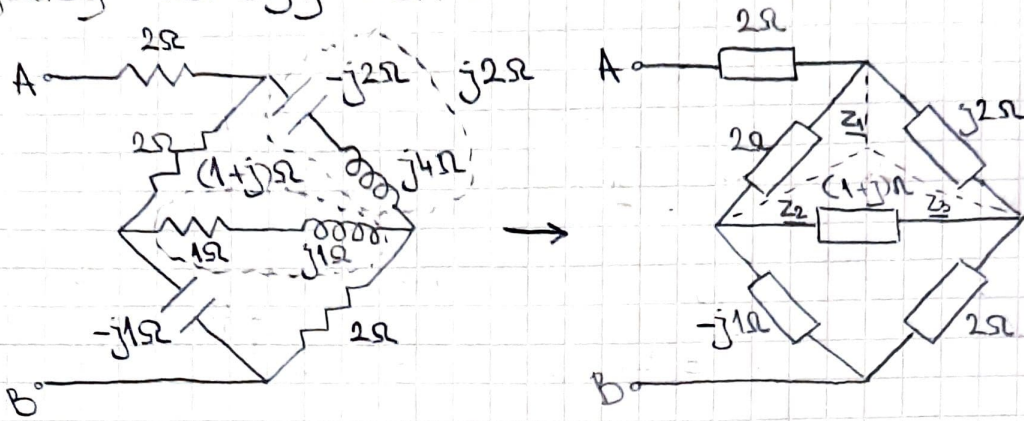
$$\underline{Z}_1 = (4 + j2)\Omega$$

$$\underline{Z}_2 = (2 + j2)\Omega$$

$$\underline{Z}_{12} = \frac{4 + j2}{6 + j4} \cdot \frac{6 - j4}{6 - j4} = \frac{72 + j56}{52} \Omega =$$

$$= (1,38 + j1,08)\Omega \quad \underline{Z}_{EKV} = (3,38 + j1,08)\Omega$$

44) a) Za kono sa slike odrediti ekvivalentnu impedansu između tačaka A i B.



$$\underline{Z}_1 = \frac{2\Omega \cdot j2\Omega}{2\Omega + j2\Omega + (1+j)\Omega} = \frac{j4\Omega^2}{(3+j3)\Omega} \cdot \frac{3-j3}{3-j3} = \frac{(12+j12)\Omega}{18} = \left(\frac{2}{3} + j\frac{2}{3}\right)\Omega$$

$$\underline{Z}_2 = \frac{(2+j2)\Omega \cdot (-j1\Omega)}{(3+j3)\Omega} = \frac{12}{18}\Omega = \frac{2}{3}\Omega$$

$$\underline{Z}_3 = \frac{(-2+j2)\Omega \cdot j4\Omega}{(3+j3)\Omega} = \frac{12j}{18} = j\frac{2}{3}\Omega$$

$$\underline{Z}_3 \oplus 2\Omega = \left(2 + j\frac{2}{3}\right)\Omega \quad \parallel \quad \underline{Z}_2 \oplus (-j1\Omega) = \left(\frac{2}{3} - j\right)\Omega \quad \parallel \quad = \frac{\frac{4}{3} - j2 + j\frac{4}{3} + \frac{2}{3}}{\frac{8}{3} - j\frac{1}{3}} = \frac{2 - j\frac{14}{3}}{(8-j)\frac{1}{3}} =$$

$$= \frac{6 - j\frac{14}{3}}{8-j} \cdot \frac{8+j}{8+j} = \frac{160 - j\frac{94}{3}}{65} = (0,82 - j0,48)\Omega$$

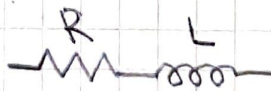
$$\underline{Z}_{EKV} = (0,82 - j0,48)\Omega + \underline{Z}_1 + 2\Omega = (3,48\Omega + j0,19)\Omega$$

b) Ako je $f = 50\text{Hz}$, realizovati godjenu ekvivalentnu impedansu koristećen minimalan broj pasivnih komponentata i odrediti njihove vrednosti.

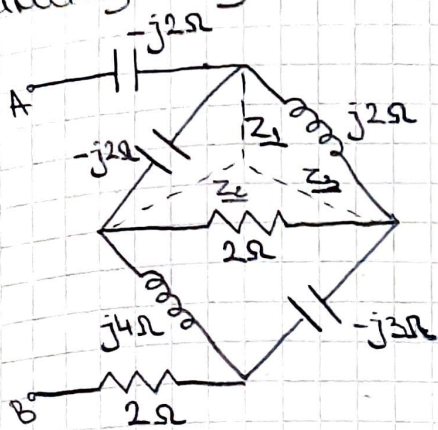
$$\underline{Z}_{EKV} = R + j\omega L$$

$$R = 3,48\Omega$$

$$L = \frac{0,19}{2\pi \cdot 50} = 605\mu\text{H}$$



45) а) За кола са слике одредити еквивалентну импедансу између терминала А и В.



$$Z_1 = \frac{4}{2} = 2\Omega$$

$$Z_2 = \frac{-j4}{2} = -j2\Omega$$

$$Z_3 = \frac{j4}{2} = j2\Omega$$

$$Z_2 + j4\Omega = j2\Omega$$

$$Z_3 + (-j3\Omega) = -j1\Omega \quad \left\| \parallel = \frac{2}{j1\Omega} = -j2\Omega \right.$$

$$Z_{EKV} = -j2\Omega + 2\Omega - j2\Omega + 2\Omega = (4 - j4)\Omega$$

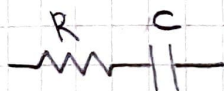
б) Ако је $f = 100\text{ Hz}$, реализовати годјену еквивалентну импедансу коришћењем минималног броја пасивних компоненти и одредити њихове вредности.

$$Z_{EKV} = R - \frac{j}{\omega C}$$

$$R = 4\Omega$$

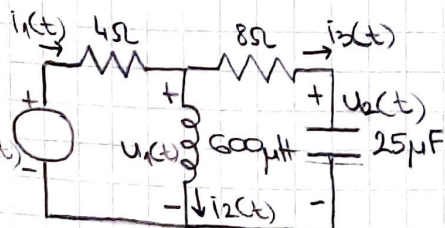
$$\frac{1}{\omega C} = 4 \quad \omega C = \frac{1}{4}$$

$$C = \frac{1}{4 \cdot 2\pi f} = 398\mu\text{F}$$



46) Директноном применом Кирхофових закона и Омова закона одредити напоне $u_1(t)$, $u_2(t)$ и струје $i_1(t)$, $i_2(t)$ и $i_3(t)$ у колу са слике. Поштом је

$$u_G(t) = 24\sqrt{2}\text{ V} \sin(\omega t + 150^\circ) \text{ и } \omega = 10 \frac{\text{krad}}{\text{s}}$$



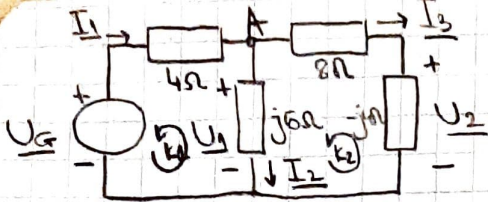
$$L = 600\mu\text{H}$$

$$Z_L = j\omega L = j6\Omega$$

$$C = 25\mu\text{F}$$

$$Z_C = -\frac{j}{\omega C} = -j4\Omega$$

$$u_G(t) = 24\sqrt{2}\text{ V} \cos(\omega t + 60^\circ) \quad \underline{u}_G = 24\text{ V} \angle 60^\circ = 24\text{ V} e^{j60^\circ} = 24\text{ V} (\cos 60^\circ + j\sin 60^\circ) = (12 + j12\sqrt{3})\text{ V}$$



$$K_1: \underline{I}_2 \cdot j6\Omega + \underline{I}_1 4\Omega - \underline{U}_G = 0$$

$$K_2: \underline{I}_3 (-j4\Omega) + \underline{I}_3 8\Omega - \underline{I}_2 j6\Omega = 0$$

$$A: \underline{I}_1 = \underline{I}_2 + \underline{I}_3$$

$$\frac{\underline{U}_G - \underline{I}_2 j6\Omega}{4} = \underline{I}_2 + \frac{\underline{I}_2 j6\Omega}{8\Omega - j4\Omega} \cdot \frac{8+j4}{8+j4} = \frac{\underline{I}_2 (-24 + j48)\Omega}{80j20}$$

$$5\underline{U}_G - \underline{I}_2 j30\Omega = 20\underline{I}_2 - 6\underline{I}_2 + j12\underline{I}_2$$

$$5\underline{U}_G = \underline{I}_2 (14 + j42)\Omega$$

$$\underline{I}_2 = \frac{60 + j60\sqrt{3}}{14 + j42} = \frac{30 + j30\sqrt{3}}{7 + j21} = \frac{30}{7} \cdot \frac{1 + j\sqrt{3}}{-1 + j3} \cdot \frac{1 - j3}{1 - j3} =$$

$$= \frac{30^3}{7} \cdot \frac{1 + 3\sqrt{3} + j(3\sqrt{3} - 3)}{10} = (2,627 - j0,544) \text{ A}$$

$$\theta = \arctg \frac{-0,544}{2,627} = -11,7^\circ$$

$$|\underline{I}_2| = \sqrt{(2,627)^2 + (-0,544)^2} = 2,69 \text{ A}$$

$$\underline{I}_2 = 2,69 \text{ A} \angle -11,7^\circ$$

$$i_2(t) = 3,8 \text{ A} \cos(10000t - 11,7^\circ)$$

$$\underline{I}_1 = \frac{\underline{U}_G - \underline{I}_2 j6\Omega}{4\Omega} = \frac{12 + j12\sqrt{3} - j15,762 - 3,264}{4} = (2,184 + j1,295) \text{ A}$$

$$\theta = \arctg \frac{1,24}{2,18} = 29,6^\circ$$

$$|\underline{I}_1| = 2,51 \text{ A}$$

$$i_1(t) = 3,54 \text{ A} \cos(10000t + 29,6^\circ)$$

$$\underline{I}_3 = \underline{I}_1 - \underline{I}_2 = (-0,447 + j1,784) \text{ A}$$

$$\theta = 180^\circ + \arctg \frac{1,784}{-0,447} = 104,1^\circ$$

$$|\underline{I}_3| = 1,84$$

$$i_3(t) = 2,59 \text{ A} \cos(10000t + 104,1^\circ)$$

$$\underline{U}_1 = \underline{I}_2 \cdot j6 = (-3,264 + j15,762) \text{ V}$$

$$\theta = \arctg \frac{15,76}{3,26} = 78,3^\circ$$

$$|U_1| = 16,1 \text{ V}$$

$$u_1(t) = 22,7 \text{ V} \cos(10000t + 78,3^\circ)$$

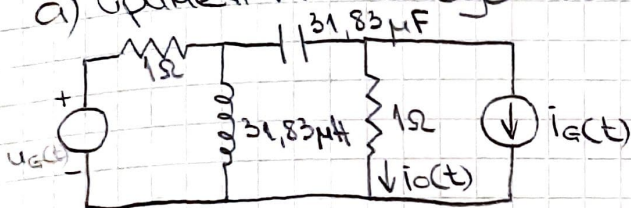
$$U_2 = \underline{I}_3 (-j4) = (7,024 + j1,884) \text{ V} = 7,27 \text{ V} \angle 15,01^\circ$$

$$u_2(t) = 10,28 \text{ V} \cos(10000t + 15,01^\circ)$$

47) За како са чуке је уобичајено $u_G(t) = 12\sqrt{2} \text{ V} \cos(2\pi ft)$

$i_G(t) = 2\sqrt{2} \text{ A} \cos(2\pi ft)$ и $f = 5 \text{ kHz}$. Определите окупну струју $i_0(t)$:

a) Опунетом мреже представљена чворова

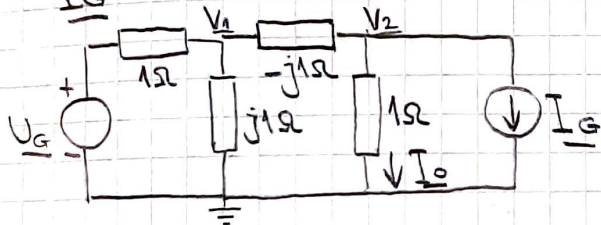


$$\underline{Z}_L = j\omega L = j2\pi f L = j1\Omega$$

$$\underline{Z}_C = \frac{-j}{\omega C} = -\frac{j}{2\pi f C} = -j1\Omega$$

$$\underline{U}_G = 12 \text{ V} \angle 0^\circ = 12 \text{ V} e^{j0^\circ} = 12 \text{ V} (\cos 0^\circ + j \sin 0^\circ) = 12 \text{ V}$$

$$\underline{I}_G = 2 \text{ A} \angle 0^\circ = 2 \text{ A} e^{j0^\circ} = 2 \text{ A} (\cos 0^\circ + j \sin 0^\circ) = 2 \text{ A}$$



$$\underline{V}_1 \left(\frac{1}{1\Omega} + \frac{1}{j1\Omega} - \frac{1}{-j1\Omega} \right) - \underline{V}_2 \left(\frac{1}{-j1\Omega} \right) = \frac{12 \text{ V}}{1\Omega} \quad \underline{V}_1 - j\underline{V}_2 = 12$$

$$\underline{V}_2 \left(\frac{1}{-j1\Omega} + \frac{1}{1\Omega} \right) - \underline{V}_1 \left(-\frac{1}{j1\Omega} \right) = -2 \text{ A} \quad -j\underline{V}_1 + (1+j)\underline{V}_2 = -2$$

$$\underline{V}_1 = 12 + j\underline{V}_2$$

$$-12j + \underline{V}_2 + \underline{V}_2 + j\underline{V}_2 = -2$$

$$\underline{V}_2 = \frac{-2 + 12j}{2 + j} \cdot \frac{2 - j}{2 - j} = \frac{8 + 26j}{5} = (1,6 + j5,2) \text{ V}$$

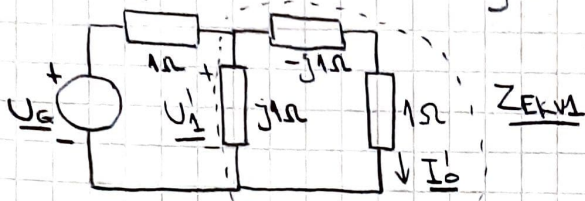
$$\underline{V}_1 = (6,8 + j1,6) \text{ V}$$

$$\underline{I}_0 = \frac{\underline{V}_2}{1\Omega} = (1,6 + j5,2) \text{ A} \quad \theta = \arctg \frac{5,2}{1,6} = 72,9^\circ$$

$$|\underline{I}_0| = 5,44$$

$$i_0(t) = 7,67 \text{ A} \cos(10000\pi t + 72,9^\circ)$$

д) Применен метод суперпозиции

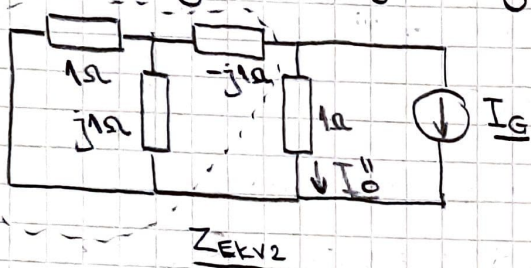


$$Z_{EKV1} = j1 \Omega \parallel (1 - j) \Omega = \frac{1 + j}{1} = (1 + j) \Omega$$

$$U_1' = \frac{Z_{EKV1}}{Z_{EKV1} + 1 \Omega} \cdot U_G = 12 \frac{1 + j}{2 + j} \cdot \frac{2 - j}{2 - j} = 12 \cdot \frac{3 + j}{5}$$

разветвление нагрузки

$$I_0' = \frac{U_1'}{1 - j} = \frac{36 + j12}{5(1 - j)} \cdot \frac{1 + j}{1 + j} = \frac{24 + 48j}{10} = \left(\frac{12}{5} + j\frac{24}{5}\right) A$$



$$Z_{EKV2} = -j + (1 \parallel j) = -j + \frac{j \cdot 1}{1 + j} \cdot \frac{1 - j}{1 - j} = -j + \frac{1 + j}{2} = \frac{1 - j}{2} \Omega$$

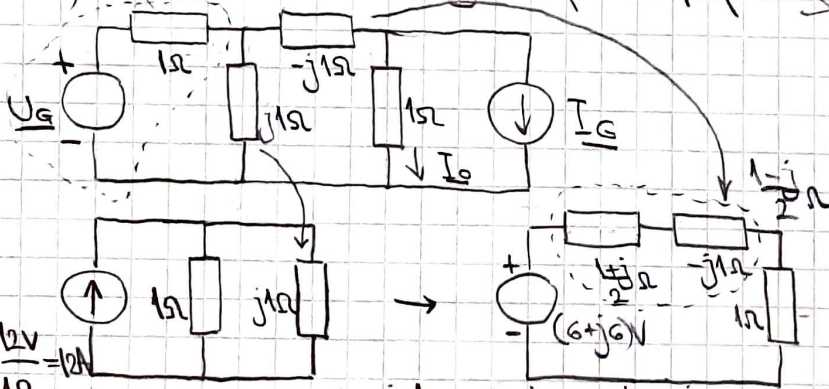
$$I_0'' = \frac{Z_{EKV2}}{Z_{EKV2} + 1 \Omega} (-I_G) = \frac{\frac{1 - j}{2}}{\frac{3 - j}{2}} (-2) = \frac{1 - j}{3 - j} \cdot \frac{3 + j}{3 + j} (-2) = \frac{4 - 2j}{10} (-2) = \left(-\frac{4}{5} + j\frac{2}{5}\right) A$$

разветвление цепи

$$I_0 = I_0' + I_0'' = \left(\frac{8}{5} + j\frac{26}{5}\right) A = (1,6 + j5,2) A$$

$$i_0(t) = 7,69 A \cos(10000\pi t + 72,9^\circ)$$

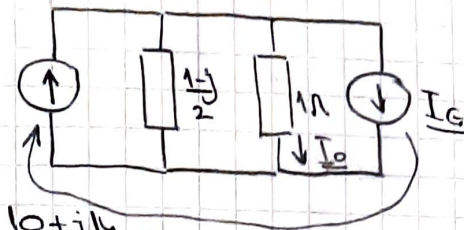
е) Применен метод взаимосопряжения источника



$$1 \Omega \parallel j1 \Omega = \frac{j1}{1 + j} \cdot \frac{1 - j}{1 - j} = \frac{1 + j}{2} \Omega$$

$$12 A \cdot \left(\frac{1}{2} + j\frac{1}{2}\right) \Omega = (6 + j6) V$$

$$\frac{5+j6}{1-j} = \frac{12+j12}{1-j} \text{ A}$$

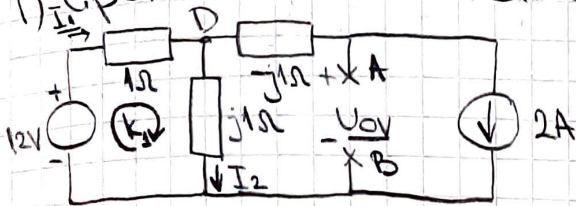


$$\frac{10+j14}{1-j} \text{ A} \text{ разгеннир сурпује}$$

$$\underline{I}_0 = \frac{1-j}{2} \cdot \frac{10+j14}{1-j} = \left(\frac{8}{5} + j\frac{26}{5}\right) \text{ A} = (1,6 + j5,2) \text{ A}$$

$$i_0(t) = 7,69 \text{ A} \cos(10000\pi t + 72,9^\circ)$$

f) Применам Небенхофе теореме



$$K_1: 12\text{V} - \underline{I}_1 \cdot 1\Omega - \underline{I}_2 \cdot j1\Omega = 0$$

$$D: \underline{I}_1 = \underline{I}_2 + 2\text{A}$$

$$12 - \underline{I}_2 - 2 - \underline{I}_2 \cdot j = 0 \quad \underline{I}_2 = \frac{10}{1+j} = 5(1-j)\text{A}$$

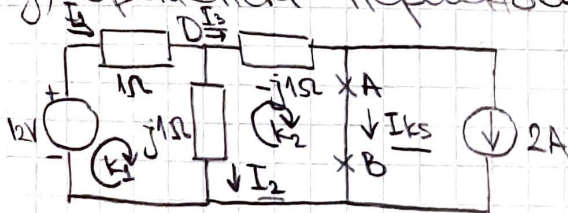
$$\underline{U}_T = \underline{U}_{0V} = j\underline{I}_2 - (-j) \cdot 2 = j(5-j5) + j2 = (5+j7)\text{V}$$

$$\underline{Z}_T = -j + (1 \parallel j) = \frac{1-j}{2} \Omega$$

$$\underline{I}_0 = \frac{5+j7}{\frac{1-j}{2} + 1} = \left(\frac{8}{5} + j\frac{26}{5}\right) \text{ A}$$

$$i_0(t) = 7,69 \text{ A} \cos(10000\pi t + 72,9^\circ)$$

g) Применам Нортхофе теореме



$$K_1: 12\text{V} - \underline{I}_1 \cdot 1\Omega - \underline{I}_2 \cdot j1\Omega = 0$$

$$K_2: \underline{I}_2 \cdot j1\Omega - \underline{I}_3 \cdot (-j1\Omega) = 0$$

$$A: \underline{I}_3 = \underline{I}_{kS} + 2\text{A}$$

$$D: \underline{I}_1 = \underline{I}_2 + \underline{I}_3 = \underline{I}_2 + \underline{I}_{kS} + 2\text{A}$$

$$12 - \underline{I}_2 - \underline{I}_{kS} - 2 - \underline{I}_2 \cdot j = 0$$

$$\underline{I}_2 \cdot j - (\underline{I}_{kS} + 2)(-j) = 0$$

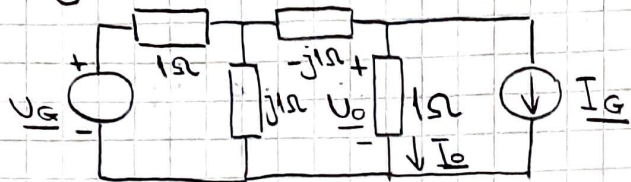
$$\underline{I}_{kS} = -2 - \frac{12}{j} = (-2 + j12) \text{ A}$$

$$\underline{Z}_N = -j + (1 \parallel j) = \frac{1-j}{2} \Omega$$

$$\underline{I}_0 = \frac{0,5 - j0,5}{0,5 - j0,5 + 1} \cdot (-2 + j12) = \left(\frac{8}{5} + j\frac{26}{5}\right) \text{ A}$$

$$i_0(t) = 7,69 \text{ A} \cos(10000\pi t + 72,9^\circ)$$

48) За како из претходног задатка одредити фактор снаге, комплексну, активну, реактивну и привидну снагу која се развија на отпорнику кроз коју протиче струја I_0 .



Комплексна снага: $\underline{S} = \underline{U}_0 \cdot \underline{I}_0^* = 1\Omega \cdot \underline{I}_0 \cdot \underline{I}_0^* = 1\Omega \cdot |\underline{I}_0|^2 = 29,6$

\underline{I}_0^* - конјуговано \underline{I}_0

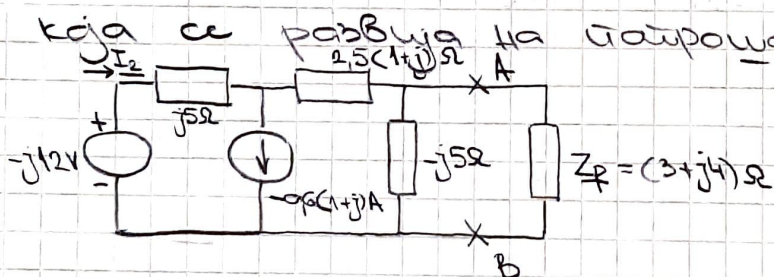
ако се записује $\underline{S} = P + jQ$ онда је $P = 29,6 \text{ W}$

активна, а $Q = 0 \text{ VAR}$, реактивна снага бескорисна реактивна

привидна снага је $S = |\underline{S}| = \sqrt{P^2 + Q^2} = 29,6 \text{ VA}$

фактор снаге је $\cos \phi = \frac{P}{S} = 1$

49) За како се може одредити фактор снаге, комплексну, активну, реактивну и привидну снагу која се развија на саопору Z_F .



$$\underline{I}_1 = \frac{-j12V}{j5\Omega} = -\frac{12}{5}A$$

$$\underline{I} = -\frac{12}{5}A - (-0,6 - 0,6j)A = \left(-\frac{9}{5} + j\frac{3}{5}\right)A$$

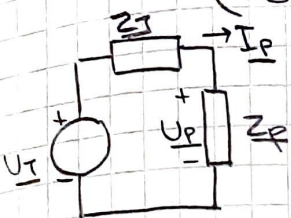
$$\underline{V} = \left(-\frac{9}{5} + j\frac{3}{5}\right) \cdot j5 = (-3 - 9j)V$$

$$\begin{aligned} \underline{Z}_{EKV} &= (j5 + 2,5 + 2,5j) \parallel (-j5) = \frac{(2,5 + 7,5j)(-j5)}{2,5 + j2,5} = \frac{12,5j}{1+j} (-j5) = \\ &= \frac{15 - j5}{1+j} \cdot \frac{1-j}{1-j} = \frac{10 - j20}{2} = (5 - j10)\Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \underline{V} - \underline{I}_2 j5 - \underline{I}_2 2,5(1+j) - \underline{I}_2 (-j5) &= 0 \\ \underline{I}_2 &= \frac{\underline{V}}{j5 - j5 + 2,5(1+j)} = \frac{-3 - 9j}{2,5 + 2,5j} \cdot \frac{2,5 - 2,5j}{2,5 - 2,5j} = \end{aligned}$$

$$= \frac{-7,5 + 7,5j - 22,5j - 22,5}{12,5} - \frac{-30 - j15}{12,5} = \frac{-6 - j3}{2,5} \text{ A}$$

$$\begin{aligned} \underline{U}_{AB} &= -3 - j9 - \frac{-6 - j3}{2,5} \cdot j3^2 - \frac{-6 - j3}{2,5} \cdot 2,5(1 + j) = \\ &= -3 - j9 + j12 - 6 + 6 + j3 + 6j - 3 = \\ &= (-6 + j12) \text{ V} = \underline{U}_T \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} \underline{I}_P &= \frac{-6 + j12}{5 - j10 + 3 + j4} = \frac{-6 + j12}{8 - j6} = \frac{-3 + j6}{4 - j3} \cdot \frac{4 + j3}{4 + j3} = \\ &= \frac{-30 + j15}{25} = \frac{-6 + j3}{5} = (-1,2 + j0,6) \text{ A} \end{aligned}$$

$$\underline{S} = \underline{U}_P \cdot \underline{I}_P^* = \underline{Z}_P \cdot \underline{I}_P \cdot \underline{I}_P^* = \underline{Z}_P |\underline{I}_P|^2 = 5,4 + j7,2 = P + jQ$$

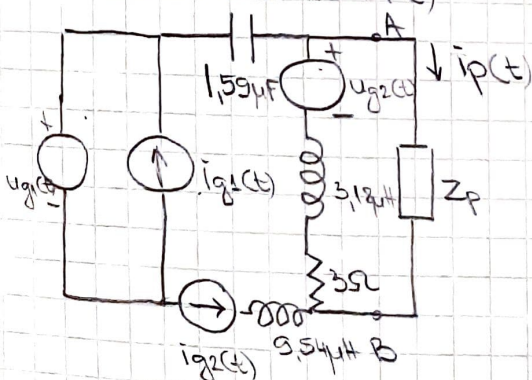
$$P = 5,4 \text{ W}$$

$$Q = 7,2 \text{ VAR}$$

$$S = |\underline{S}| = 9 \text{ VA}$$

$$\cos \phi = \frac{P}{S} = 0,6$$

50) Kona naznačene skopuje sa slike pagu y učitave. Na pravougaonikom rešumu na $f = 50 \text{ kHz}$. Postava je ga je $u_{g1}(t) = 2V \cos(2\pi ft + 45^\circ)$, $u_{g2}(t) = -2V \sin(2\pi ft)$, $i_{g1}(t) = 2A \cos(2\pi ft - 45^\circ)$ u $i_{g2}(t) = -\sqrt{2}A \sin(2\pi ft)$



a) Odrediti parametar za banu i merenje za rešavanje uopa y konduktivnosti gome-ty za ga kada nba og A u B.

$$\underline{U}_{g1} = \sqrt{2}V \angle 45^\circ = \sqrt{2}(\cos 45^\circ + j\sin 45^\circ) = (1 + j)V$$

$$\underline{U}_{g2} = 2V \angle 90^\circ = 2(\cos 90^\circ + j\sin 90^\circ) = j2V$$

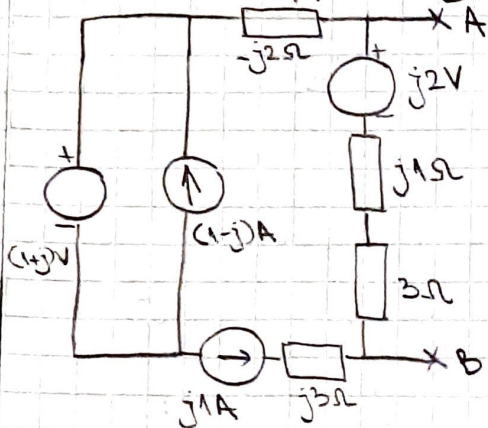
$$\underline{I}_{g1} = \sqrt{2}A \angle -45^\circ = (1 - j)A$$

$$\underline{I}_{g2} = 1A \angle 90^\circ = j1A$$

$$\underline{Z}_{L1} = j\omega L = j2\pi fL = j1\Omega$$

$$\underline{Z}_L = j\omega L = j2\pi fL = j3\Omega$$

$$\underline{Z}_C = \frac{-j}{2\pi fC} = -j2\Omega$$



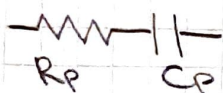
$$\underline{U}_T = \underline{U}_{ov} = -j(3+j) + j2 = (1-j)V$$

↓
j1A

$$\underline{Z}_T = (3+j)\Omega$$

d) Определить элементе коју треба да сачитавају са
урачунај Z_p , тако да се на њему развија макси-
мална активна снага.

$$\underline{Z}_p = \underline{Z}_T^* = (3-j)\Omega = R_p - \frac{j}{\omega C_p}$$



$$R_p = 3\Omega$$

$$C_p = \frac{1}{\omega} = \frac{1}{2\pi f} = 3,18\mu F$$

e) Под условом из тачке d) одређити струју $i_p(t)$.

$$\underline{I}_p = \frac{\underline{U}_T}{\underline{Z}_T + \underline{Z}_p} \Rightarrow i_p(t) = \frac{1}{3} A \cos(100000\pi t - 45^\circ)$$

Диода

Идеална диода има два решива пага:

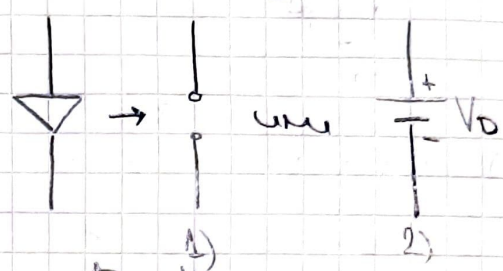
1. диода искључена (D-OFF) : $v_D < V_D$, $i_D = 0$

мета се остварена безом

2. диода укључена (D-ON) : $v_D = V_D$, $i_D > 0$

мета се остварује; не знамо тачну вредност

i_D док не решимо како



Решим пага се утврђује на следећи начин:

1. уводне претпоставке да је диода укључена или искључена

2. замена диоде еквивалентним колом у складу са претпоставком

3. провера претпоставке:

а) D-ON се проверава испитивањем услова $i_D > 0$

б) D-OFF се проверава испитивањем $v_D < V_D$

ако је услов испуњен, претпоставка је горња а ако није онда претпоставка не важи

Ако се неки нађат мета, може доћи до промене решива пага, што се утврђује:

а) ако је D-ON ($i_D > 0$) и ако се i_D смањује, може се диода искључити ако i_D падне на 0

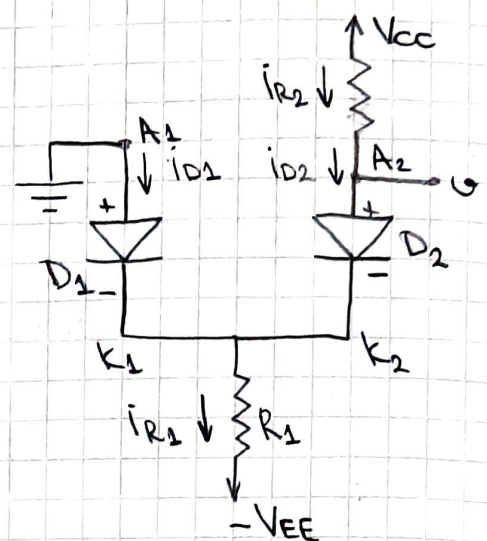
б) ако је D-OFF ($v_D < V_D$) и ако се v_D повећава, може се диода укључити када v_D порасте на V_D .

Ако се у задатку наведе да су диоде идеалне, а не наведе се V_D , онда се сматра да је $V_D = 0$.

51) У каку са смике уграђеном са уградом
 а) $V_{CC} = V_{EE} = 10V$. Опређити
 струја i_{D1} и i_{D2} , као и напон φ , како је:

a) $R_2 = 2R_1 = 10k\Omega$

га ду гуога дна ук-
 бучена, мапа дна
 гуогујуа на апагу
 бету ог гуогујуа
 на кауогу



$V_D = 0$

1) $D_1 - OFF, D_2 - OFF$
 $\varphi_{D1} < V_D, \varphi_{D2} < V_D$?

$i_{D1} = 0$
 $i_{D2} = 0$
 $\varphi_{A1} = 0$ } $\Rightarrow i_{R1} = 0 \Rightarrow \varphi_{K1} = -V_{EE} = -10V$

$\varphi_{D1} = \varphi_{A1} - \varphi_{K1} = 10V > V_D \rightarrow$ нова гуогујуа

2) $D_1 - ON, D_2 - OFF$

$i_{D1} > 0, \varphi_{D2} < V_D$?

$\varphi_{K2} = \varphi_{K1} = \varphi_{A1} - V_D = 0$

$i_{D2} = i_{R2} = 0 \Rightarrow \varphi_{A2} = V_{CC} = 10V$

$\varphi_{D2} = \varphi_{A2} - \varphi_{K2} = 10V > V_D$
 нова гуогујуа

3) $D_1 - ON, D_2 - ON$

$i_{D1} > 0, i_{D2} > 0$?

$\varphi = \varphi_{A1} - V_D + V_D = 0$

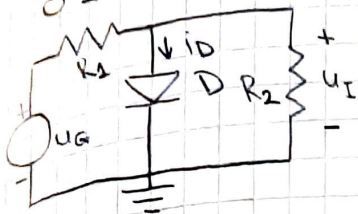
$i_{D2} = i_{R2} = \frac{V_{CC} - \varphi}{R_2} = \frac{V_{CC}}{R_2} = 1mA > 0$

$i_{D1} = i_{R1} - i_{D2} = \frac{0 - V_D - (-V_{EE})}{R_1} - i_{D2} = 1mA > 0$

нова гуогујуа

52) У каку са смике уграђеном је уградом гу-
 ога са $V_D = 0,7V$, а гуогујуа је $u = R_1 = 4k\Omega$ и $R_2 = 1k\Omega$
 Опређити у науровау забвостау $u_1(u_G)$ и $i_D(u_G)$,
 ако се улазу нават u_G мета у гуогујуа

$$0 \leq u_G \leq 5V$$



1) $u_G = 0 \rightarrow$ upravitel'na D-OFF

$$u_D < V_D?$$

$$u_D = u_A - u_k = u_A = \frac{R_2}{R_1 + R_2} u_G = 0 < V_D$$

je li je D izvan
oblasti bez

\Rightarrow upravitel'na je zatvorena

$$u_I = \frac{R_2}{R_1 + R_2} u_G = \frac{1}{5} u_G \rightarrow 1. \text{ celneha } u_I(u_G)$$

$$i_D = 0 = \text{const.} \rightarrow 1. \text{ celneha } i_D(u_G)$$

$$u_G \uparrow \Rightarrow u_I \uparrow$$

$$u_D = u_I \quad \left| \quad u_D \uparrow$$

kog u_D dostigne V_D , onda
D-ON = tipu $\frac{1}{5} u_G = V_D$

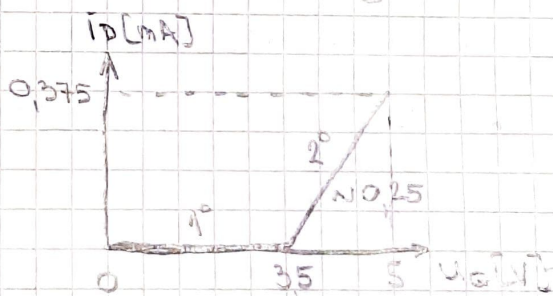
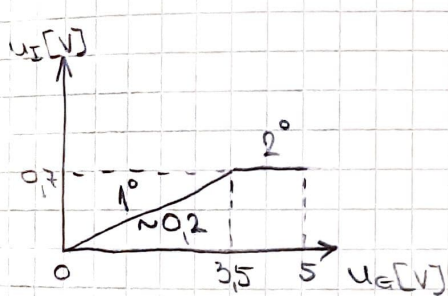
$$u_G = 3,5V$$

kog je D-ON

$$u_I = V_D = 0,7V = \text{const.} \rightarrow 2. \text{ celneha } u_I(u_G)$$

$$i_D = i_{R1} - i_{R2} = \frac{u_G - V_D}{R_1} - \frac{V_D}{R_2} = \frac{1}{4} u_G - 0,875 \rightarrow 2. \text{ celneha } i_D(u_G)$$

ako $u_G \uparrow \Rightarrow i_D \uparrow$ ja guoga dostigne ON



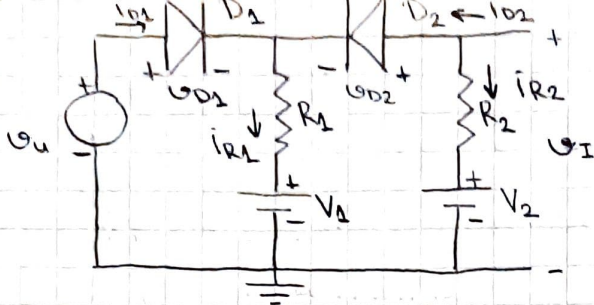
53) U kaju sa slike predstavljene su uzgornje guoge
a sastao je $u: R_1 = 100k\Omega, R_2 = 200k\Omega, V_1 = 25V$ u
 $V_2 = 100V$. Odrediti u napredovanu zavisnost $u_I(u_G)$
ako se unazhu najst meta u pravouga $0 \leq u_G < 150V$.

upravitel'na: $D_1 - \text{OFF}, D_2 - \text{ON}$

$$u_{D1} < V_D, i_{D1} = 0?$$

$$V_D = 0, u_u = 0$$

$$u_{D1} = u_{A1} - u_{k1} = u_u - (V_2 + i_{R1} \cdot R_1)$$



$$V_2 + R_2 i_{R2} - V_D - R_1 i_{R1} - V_1 = 0$$

$$i_{R1} = i_{D1} + i_{D2} = 0 + i_{D2} = i_{D2}$$

$$i_{R2} = -i_{D2}$$

$$V_2 - R_2 i_{D2} - R_1 i_{D2} - V_1 = 0$$

$$i_{D2} = \frac{V_2 - V_1}{R_1 + R_2} = 0,25 \text{ mA} > 0$$

$$U_{D1} = 0 - (V_1 + i_{D2} \cdot R_1) = -50 \text{ V} < V_D$$

Boothu D_1 -OFF
u D_2 -ON

$$U_I = U_{R2} = V_1 + R_1 i_{R1} + V_D = V_1 + R_1 i_{D2} = 50 \text{ V} = \text{const.}$$

↓
1. cetmehtu

$U_u \uparrow \Rightarrow i_{D2}$ je const. ca D_2 oavaje ON

$U_{D1} \uparrow$ go $U_{D1} = V_D$ kog ce D_1 ykazyuyje

$$U_u - V_1 - i_{R1} \cdot R_1 = V_D$$

$$U_u = V_1 + R_1 i_{R1} = 50 \text{ V}$$

Hogane je D_1 -ON u D_2 -ON

$$U_I = U_u - V_D + V_D = U_u \rightarrow 2. \text{ cetmehtu}$$

$$U_u \uparrow \Rightarrow i_{D1} = i_{R1} - i_{D2} = \left(\frac{U_u - V_1}{R_1} - \frac{V_2 - U_I}{R_2} \right) =$$

$$= U_u \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) - \frac{V_1}{R_1} - \frac{V_2}{R_2} \uparrow D_1 \text{ oavaje ON}$$

$$U_u \uparrow \Rightarrow i_{D2} = \left(\frac{V_2 - U_I}{R_2} \right) = \left(\frac{V_2 - U_u}{R_2} \right) \downarrow$$

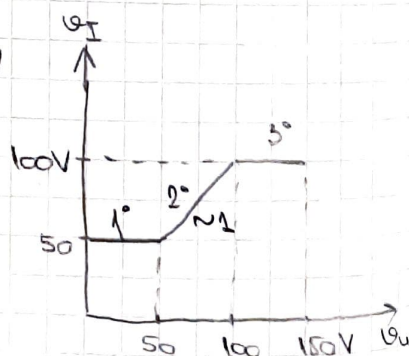
kog $i_{D2} = 0$ uakazyuyje ce D_2

$$\frac{V_2 - U_u}{R_2} = 0 \quad U_u = V_2 = 100 \text{ V}$$

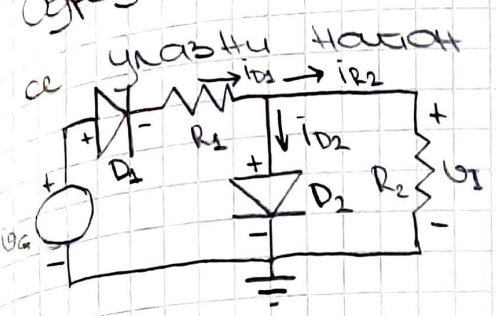
$$U_I = V_2 = 100 \text{ V} = \text{const.} \rightarrow 3. \text{ cetmehtu}$$

$$U_u \uparrow i_{D1} = \left(\frac{U_u - V_1}{R_1} \right) \uparrow D_1 \text{ oavaje ON}$$

$$U_u \uparrow U_{D2} = (U_I - U_u) = (100 - U_u) \downarrow D_2 \text{ oavaje OFF}$$



54) y komy sa smike ystavredbene y ugranne goge
 ca $V_D = 0,6V$, a uostano je u $R_1 = 3k\Omega$ u $R_2 = 1k\Omega$.
 Opreguvan u naprivanu zavistovat $V_I(V_G)$, ako



ce ystavnu stavu V_G metja y granicama $0 \leq V_G \leq 5V$.
 $V_G = 0$

1) Opreuostavka: D_1 - OFF, D_2 - ON
 $V_{D1} < V_D, i_{D2} > 0$?

$$V_{D1} = V_{A1} - V_{K1} = V_G - (0 + V_D + R_1 i_{D1}) = V_G - V_D =$$

$$= -0,6V < V_D$$

$$i_{D2} = -i_{R2}$$

$$R_2 i_{R2} - V_D = 0 \quad \left. \begin{array}{l} i_{D2} < 0 \\ i_{R2} = \frac{V_D}{R_2} > 0 \end{array} \right\} \text{Nije goga opreuostavka}$$

2) D_1 - OFF, D_2 - OFF

$V_{D1} < V_D, V_{D2} < V_D$?

$$V_{D1} = V_{A1} - V_{K1} = V_G - 0 = 0 < V_D$$

$$V_{D2} = V_{A2} - V_{K2} = 0 - 0 = 0 < V_D$$

$$V_G \uparrow \Rightarrow V_{D1} \uparrow = V_G - 0 = V_G$$

koga $V_G = 0,6V$, D_1 ce ystavnyje
 D_2 ne zavucu og V_G , sa ostaje vstavnyena

$$i_{D1} = i_{R2}$$

$$R_2 i_{D1} + R_1 i_{D1} + V_D - V_G = 0$$

$$i_{D1} = \frac{V_G - V_D}{R_1 + R_2}$$

$$V_I = R_2 i_{R2} = R_2 i_{D1} = \frac{1}{4} V_G - 0,15$$

$V_G \uparrow \Rightarrow i_{D1} \uparrow$ goga D_1 ostaje ON

$$V_{D2} = V_{A2} - V_{K2} = 0 + R_2 i_{D1} - 0 = R_2 \cdot \frac{V_G - V_D}{R_1 + R_2}$$

$V_G \uparrow \Rightarrow V_{D2} \uparrow$

$$V_{D2} = V_D = R_2 \frac{V_G - V_D}{R_1 + R_2}$$

$$V_G = \frac{V_D (R_1 + R_2)}{R_2} + V_D = 3V$$

koga $V_G = 3V$, D_2 ce ystavnyje

$$i_{D1} = i_{D2} + i_{R2}$$

$$R_2 i_{R2} - V_D = 0 \quad i_{R2} = \frac{V_D}{R_2}$$

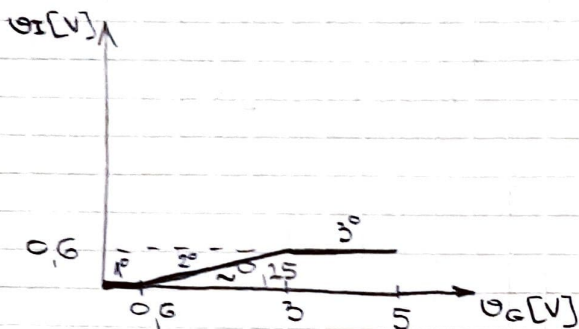
$$V_D + R_1 i_{D1} + V_D - U_G = 0$$

$$i_{D1} = \frac{U_G - 2V_D}{R_1}$$

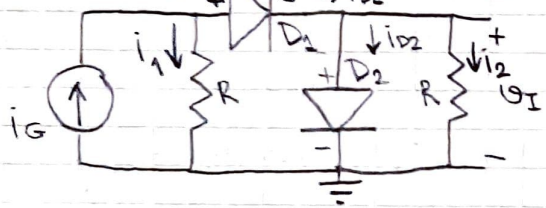
$$i_{D2} = i_{D1} - i_{R2} = \frac{U_G - 2V_D}{R_1} - \frac{V_D}{R_2}$$

$\Rightarrow U_G \uparrow \Rightarrow i_{D1} \uparrow$ u $i_{D2} \uparrow$ D_1 u D_2 oduway ON

$$U_I = V_D = \text{const.}$$



55) У кака са свике уопштењене су угреанте гу-
оге са $V_D = 0,6V$, а бозшаво је у $R = 1k\Omega$. Озрегшаво
у тауршавоу забвучоу $U_I(i_G)$ ако се улашаво
сврпуја i_G мета у трапууома $0 \leq i_G \leq 3mA$.



урегшавоуавка: $i_G = 0$

D_1 - OFF, D_2 - OFF

$U_{D1} < V_D$, $U_{D2} < V_D$

$$U_{D1} = U_{A1} - U_{K1} = (0 + R i_G) - 0 = 0 < V_D$$

$$U_{D2} = U_{A2} - U_{K2} = 0 - 0 = 0 < V_D$$

уаушо

$$U_I = 0 = \text{const.} \quad \text{I. четметаво}$$

$$i_G \uparrow \Rightarrow U_{D1} \uparrow = R i_G = V_D \quad i_G = \frac{V_D}{R} = 0,6mA$$

аогаде је D_1 - ON, D_2 - OFF

$$i_2 = i_{D1}$$

$$i_G = i_{D1} + i_2 \quad i_2 = i_G - i_{D1}$$

$$i_2 R + V_D - i_1 R = 0 \quad i_{D1} R + V_D - i_G R + i_{D1} R = 0$$

$$i_{D1} = \frac{i_G R - V_D}{2R} \quad \text{kog } i_G \uparrow \Rightarrow i_{D1} \uparrow \text{ pa } D_1 \text{ osvaja ON}$$

$$u_{D2} = u_{A2} - u_{K2} = (0 + i_{D1} R) - 0 = \frac{i_G R - V_D}{2}$$

$$i_G \uparrow \Rightarrow u_{D2} \uparrow \quad u_{D2} = V_D = \frac{i_G R - V_D}{2} \quad i_G = \frac{3V_D}{R} = 1,8 \text{ mA}$$

$$u_I = u_{A2} = i_{D1} R = \frac{i_G R - V_D}{2} = \frac{1}{2} i_G [\text{mA}] - 0,3 \quad 2. \text{ cetneta}$$

Hogajbe $D_1 - \text{ON}, D_2 - \text{ON}$

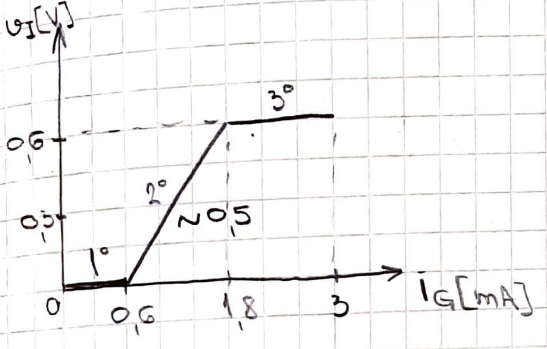
$$R i_2 - V_D = 0 \quad i_2 = \frac{V_D}{R}$$

$$V_D + V_D - R i_1 = 0 \quad i_1 = \frac{2V_D}{R}$$

$$i_{D1} = i_G - i_1 = i_G - \frac{2V_D}{R} \quad i_G \uparrow \Rightarrow i_{D1} \uparrow \quad D_1 \text{ osvaja ON}$$

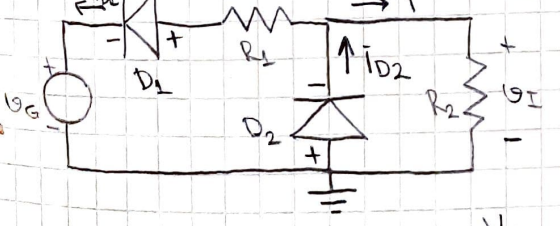
$$i_{D2} = i_{D1} - i_2 = i_G - \frac{2V_D}{R} - \frac{V_D}{R} \quad i_G \uparrow \Rightarrow i_{D2} \uparrow \quad D_2 \text{ osvaja ON}$$

$$u_I = V_D \quad 3. \text{ cetneta}$$



56) U kory sa cruke ystavredizene su ugraene snoge sa $V_D = 0,6 \text{ V}$, a sozstavio je $R_1 = 5 \text{ k}\Omega$ i $R_2 = 1 \text{ k}\Omega$. Opre- gnutu u naupitavu zabucoost u_I (u_G), ako se yla-

zhu. Navedi u_G metba y prapuyama $-5 \text{ V} \leq u_G \leq 5 \text{ V}$.



$$u_G = -5 \text{ V}$$

opredelavanka: $D_1 - \text{ON}, D_2 - \text{ON}$

$$i_{D1} > 0, i_{D2} > 0 = ?$$

$$R_2 i + V_D = 0 \quad i = -\frac{V_D}{R_2} =$$

$$R_2 i - R_1 i_{D1} - V_D - u_G = 0$$

$$i_{D1} = -\frac{V_D + u_G - R_2 i}{R_1} = -\frac{V_D + u_G + V_D}{R_1} = -\frac{u_G + 2V_D}{R_1} > 0$$

$$i_{D2} = i_{D1} + i = -\frac{u_G}{R_1} - \frac{2V_D}{R_1} - \frac{V_D}{R_2} > 0$$

$$U_I = -V_D \quad 1. \text{ \u0441\u0435\u0439\u043c\u0435\u043d\u0442\u0443}$$

$$U_G \uparrow \Rightarrow I_{D1} \downarrow \text{ u } I_{D2} \downarrow$$

$$I_{D1} = 0 = -U_G - 2V_D \quad U_G = -2V_D = -1,2V$$

$$I_{D2} = 0 = -U_G R_2 - 2V_D R_2 - V_D R_1$$

$$U_G = \frac{V_D(-2R_2 - R_1)}{R_2} = \underline{\underline{-3V}}$$

Ha $U_G = -3V$, D_2 \u043e\u0430\u0442\u043e\u0440\u0430\u0435 OFF

$$i = -I_{D1}$$

$$iR_2 - I_{D1}R_1 - V_D - U_G = 0$$

$$I_{D1} = \frac{-V_D - U_G}{R_1 + R_2}$$

$$U_I = iR_2 = -I_{D1}R_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} (V_D + U_G)$$

$$U_{D2} = -iR_2 = I_{D1}R_2$$

$$= \frac{1}{4} U_G + 0,15 \quad 2. \text{ \u0441\u0435\u0439\u043c\u0435\u043d\u0442\u0443}$$

$$U_G \uparrow \Rightarrow I_{D1} \downarrow \text{ u } U_{D2} \downarrow$$

D_2 \u043e\u0430\u0442\u043e\u0440\u0430\u0435 OFF, D_1 \u0432\u0435\u0449\u043d\u0443 OFF

$$I_{D1} = 0 = -V_D - U_G \quad U_G = -0,6V$$

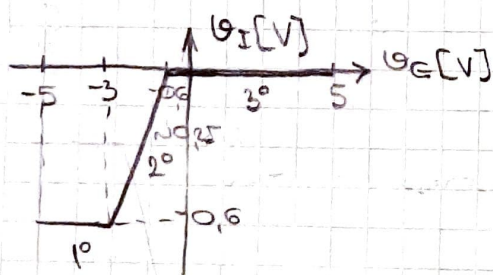
Ha\u0433\u0430\u0431\u0435 D_1 - OFF, D_2 - OFF

$$U_I = 0 \quad 3. \text{ \u0441\u0435\u0439\u043c\u0435\u043d\u0442\u0443}$$

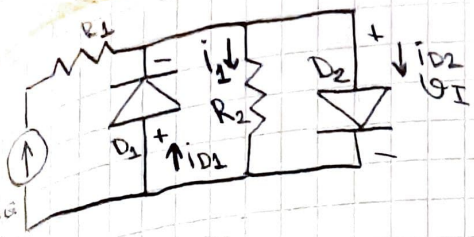
$$U_{D2} = 0 - 0 = 0 < V_D$$

$$U_{D1} = 0 - U_G < V_D$$

\u043e\u0430\u0442\u043e\u0440\u0430\u0435 OFF \u0438\u043e $U_G = 5V$



- 57) \u042e \u043a\u0430\u043a\u043e\u0432\u0430 \u0441\u0432\u0435\u0442\u0435 \u0443\u0432\u0435\u0440\u0435\u0434\u0435\u043b\u0435\u043d\u0435 \u043e\u0443 \u0432\u0432\u0435\u0434\u0430\u043d\u0438\u0435 \u0433\u0440\u0430\u0434\u0435 \u0441\u0430 $V_D = 0,6V$, \u0430 \u0432\u0435\u0441\u0442\u0430\u0432\u043e \u0435 \u0438 $R_1 = 3k\Omega$ \u0438 $R_2 = 1k\Omega$. \u041e\u0431\u0440\u0435\u0433\u0443\u043d\u0438\u0440\u0443 \u0438 \u043d\u0430\u043f\u0440\u0430\u0432\u0438\u0442\u0443 \u0437\u0430\u0432\u0438\u0447\u0435\u043d\u0438\u0443 $U_I(I_G)$, \u0430\u043a\u043e \u0441\u0435 \u0443\u0432\u0435\u0440\u043d\u0430 \u043e\u0432\u0440\u0443\u0436\u0435\u043d\u0438\u044f I_G \u043c\u0435\u043d\u0448\u0430 \u044e \u0442\u0440\u0430\u043d\u0437\u0438\u0446\u0438\u0430 $-2mA \leq I_G \leq 2mA$



$D_1 - ON, D_2 - OFF$ - operating state

$i_{D1} > 0, u_{D2} < V_D = ?$

$i_G = -2mA$

$u_{D2} = u_{A2} - u_{K2} = R_1 i_G < 0 < V_D$

$R_2 i_1 + V_D = 0 \Rightarrow i_1 = -\frac{V_D}{R_2}$

$i_{D1} = i_1 - i_G = -\frac{V_D}{R_2} - i_G = 1,4mA > 0$

wayna operatsion davlatda

$u_I = u_{D2} = -u_{D1} = -V_D = -0,6V$

$i_G \uparrow \Rightarrow u_{D2} \uparrow$ u $i_{D1} \downarrow$

$u_{D2} = V_D = R_1 i_G \Rightarrow i_G = \frac{V_D}{R_1}$

$i_{D1} = -\frac{V_D}{R_2} - i_G = 0 \Rightarrow i_G = -\frac{V_D}{R_2} = -0,6mA$

lag i_G topayuvchi ha $-0,6mA$, D_1 ce tashqari

$u_{D1} = u_{A1} - u_{K1} = -R_1 i_G$

$u_{D2} = R_2 i_G$

$i_G \uparrow \Rightarrow u_{D1} \downarrow$ u $u_{D2} \uparrow$

$u_{D2} = V_D = R_2 i_G \Rightarrow i_G = \frac{V_D}{R_2} = 0,2mA$

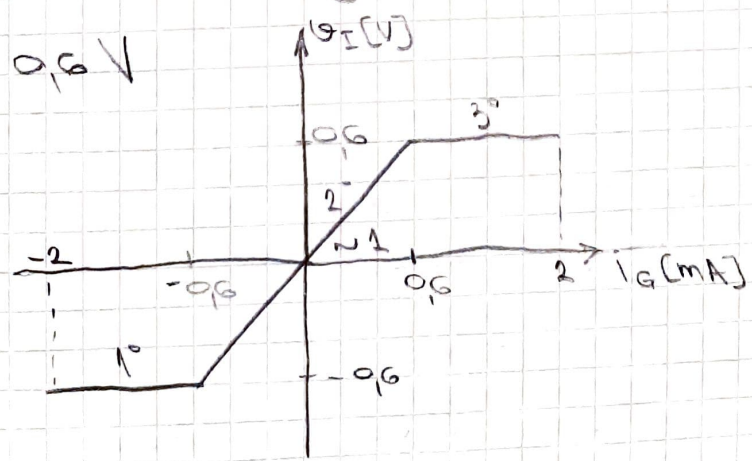
$u_I = u_{D2} = R_2 i_G = 1i_G [mA]$

D_2 ce yashayuvchi, D_1 odatda OFF

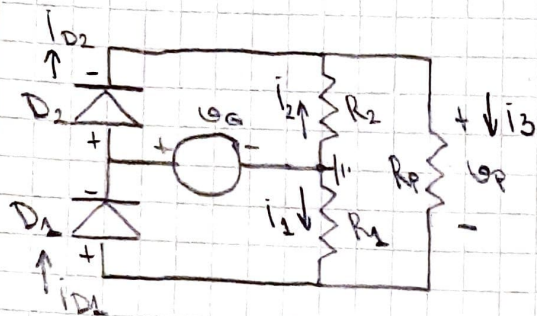
$i_{D2} = i_G - i_1$

$i_G \uparrow \Rightarrow i_{D2} \uparrow$ che odatda hamma vaqtda

$u_I = V_D = 0,6V$



58) U komyca omke ystavlenyeyu cy ugeanteye ca $V_D = 0,7V$, a sostavlyayemye u $R_1 = R_2 = 1k\Omega$ u $R_p = 3k\Omega$. Opreduyem u nayblyayshykh zabavnykh $U_p(U_G)$, ako se ynazhu nazvat U_G mety y U_G yzma $-12V \leq U_G \leq 12V$.



operatsionnaya za $U_G = -12V$

D_2 - OFF, D_1 - ON

$U_{D2} < V_D$ $i_{D1} > 0$

$$U_{D2} = U_{A2} - U_{K2} = U_G - U_{K2}$$

$$i_1 R_1 + U_G + V_D = 0 \quad i_1 = \frac{-U_G - V_D}{R_1}$$

$$i_3 R_p + i_2 R_2 - i_1 R_1 = 0$$

$$i_3 R_p + i_3 R_2 - i_1 R_1 = 0$$

$$i_3 (R_p + R_2) = -U_G - V_D \quad i_3 = 2,825 \text{ mA}$$

$$U_{K2} = -i_2 R_2 = -i_3 R_2 = -2,825 \text{ V}$$

$$U_{D2} < V_D \quad W$$

$$i_{D1} = i_3 + i_1 > 0 \quad W$$

operatsionnaya je uzhny

$$i_{D1} = \frac{-U_G - V_D}{R_p + R_2} + \frac{-U_G - V_D}{R_1} \quad U_p = i_3 R_p = \frac{-U_G - V_D}{R_p + R_2} \cdot R_p = -\frac{3}{4} U_G - 0,525$$

$U_G \uparrow \Rightarrow i_{D1} \downarrow$ u $U_{D2} \uparrow$ D_1 uzhny OFF, D_2 uzhny ON

$$i_{D1} = 0 \Rightarrow -R_1 U_G - V_D R_1 - U_G R_p - U_G R_2 - V_D R_p - V_D R_2 = 0$$

$$U_G (R_1 + R_2 + R_p) = -V_D (R_1 + R_2 + R_p)$$

$$U_G = -0,7 \text{ V}$$

$$U_{D2} = U_G + i_3 R_2 = V_D$$

$$U_G + \frac{-U_G - V_D}{R_p + R_2} \cdot R_2 = V_D$$

$$U_G = \frac{1}{4} U_G + \frac{5}{4} V_D$$

$$\frac{3}{4} U_G = \frac{5}{4} V_D \quad U_G = \frac{5V_D}{3}$$

chaga cy D_1 - OFF u D_2 - OFF

$$i_3 R_p + i_3 R_2 + i_3 R_1 = 0 \quad i_3 = 0 \quad U_p = 0$$

$$U_{D1} = U_{A1} - U_{K1} = 0 - U_G = -U_G$$

$$U_{D2} = U_{A2} - U_{K2} = U_G - 0 = U_G$$

$U_G \uparrow \Rightarrow U_{D1} \downarrow$ u $U_{D2} \uparrow$

D_2 wenn ON, D_1 ausschje OFF

$$U_{D2} = V_D = U_G = 0,7 \text{ V}$$

Hagabe D_2 -ON, D_1 -OFF

$$U_{D1} = U_{A1} - U_{K1} = i_3 R_1 - U_G \quad U_G \uparrow \Rightarrow U_{D1} \downarrow \text{ u } D_1 \text{ ausschje OFF}$$

$$-i_2 R_2 + V_D - U_G = 0$$

$$i_2 = \frac{V_D - U_G}{R_2}$$

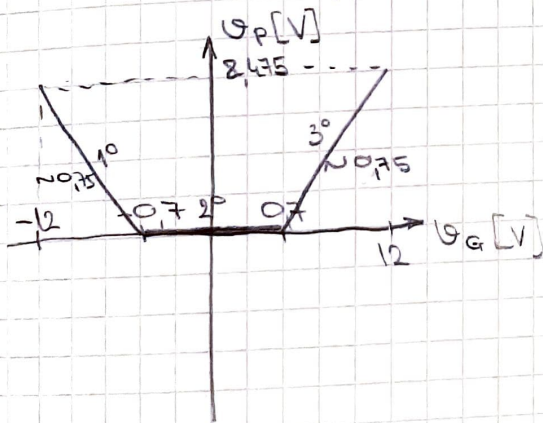
$$i_3 R_P + i_2 R_2 + i_3 R_1 = 0$$

$$i_3 = \frac{U_G - V_D}{R_P + R_1}$$

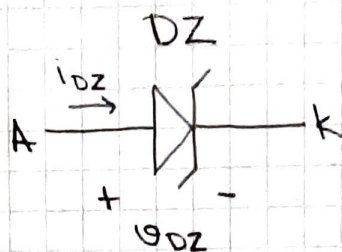
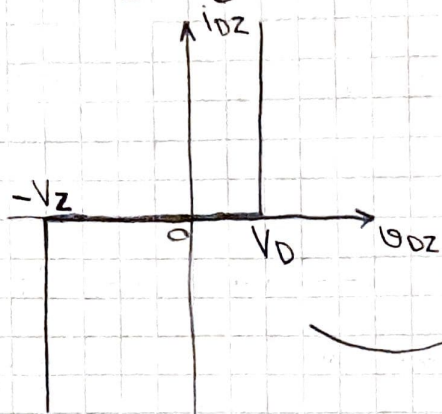
$$i_{D2} = i_3 - i_2 = \frac{U_G - V_D}{R_P + R_1} + \frac{U_G - V_D}{R_2}$$

$U_G \uparrow \Rightarrow i_{D2} \uparrow$ u U_G D_2 ausschje ON

$$U_P = i_3 R_P = \frac{U_G - V_D}{R_P + R_1} \cdot R_P = \frac{3}{4} U_G - 0,525$$



Зенер диоде



апроксимативна структурно-математичка карактеристика
Зенер диоде (углавном зенер диода)

Зенер диода има 3 релативна стања:

1. директно пропусања (DZ-ON)

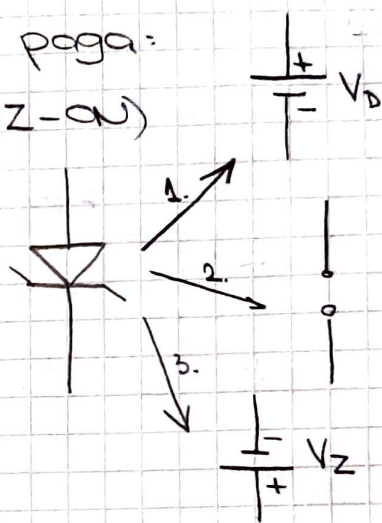
$$U_{DZ} = V_D, I_{DZ} > 0$$

2. искључена (DZ-OFF)

$$-V_Z < U_{DZ} < V_D, I_{DZ} = 0$$

3. у пробоју (DZ-ПРОБОЈ)

$$U_{DZ} = -V_Z, I_{DZ} < 0$$



Релативна стања се употребљује на следећи начин:

- увођење прелиминарне да је диода у неким релативним стањима
- замена Зенер диоде еквивалентним колом
- провера прелиминарне
 - DZ-ON $\rightarrow I_{DZ} > 0$?
 - DZ-OFF $\rightarrow -V_Z < U_{DZ} < V_D$?
 - DZ-ПРОБОЈ $\rightarrow I_{DZ} < 0$?

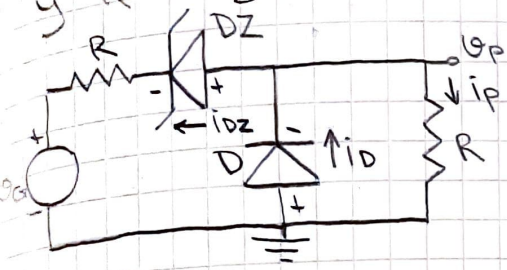
Промена релативна стања:

- ако је DZ-ON у $I_{DZ} > 0$ у ако $I_{DZ} \downarrow$, онда DZ ићи OFF, у то ће се десити као $I_{DZ} = 0$
- ако је DZ-OFF у ако $U_{DZ} \uparrow$, DZ ићи ON у то ће као $U_{DZ} = V_D$

- 3. ako DZ-off u $U_{DZ} \downarrow$, tada DZ uvenu u podj.
- 4. ako DZ-u podj u $i_{DZ} \uparrow$, tada uvenu DZ-off, u
druge kag $i_{DZ} = 0$

59) U kazu ca oznake suoga D je ugeatna ca $V_D = 0,6V$
 serer suoga DZ je ugeatna ca $V_Z = 6,2V$ u $V_D = 0,6V$,
 a uostano je u $R = 10k\Omega$. Opregnutu u nauptwan,
 zabucnostu $U_P(U_G)$, ako ce ykazu uauat metta

u pratuuyama $-10V \leq U_G \leq 10V$.



za $U_G = 10V$ upeutocutabka
 D-OFF, DZ-OFF
 $U_D < V_D, -V_Z < U_{DZ} \leq V_D$

$$U_{DZ} = U_{AZ} - U_{KZ} = 0 - U_G = -10V < V_Z$$

$$U_D = U_A - U_K = 0 - 0 = 0 < V_D \text{ nauwa upeutocutabka}$$

D-OFF, DZ-u podj - upeutocutabka

$$-i_{DZ}R + V_Z - i_{DZ}R - U_G = 0$$

jez je $-V_Z$

$$i_{DZ} = \frac{V_Z - U_G}{2R} = -0,9 \text{ mA} < 0 \text{ W}$$

$$U_D = 0 - U_P = 0 + i_{DZ}R = -1,9V < V_D \text{ W upeutocutabka}$$

$$U_P = -i_{DZ}R = -\frac{V_Z - U_G}{2} = \frac{1}{2}U_G - 3,1 \text{ A. ceukewu}$$

$U_G \downarrow \Rightarrow U_D$ oauaje OFF cbe ga je DZ-u podj

$$i_{DZ} \uparrow \quad i_{DZ} = 0 = V_Z - U_G \quad U_G = 6,2V \text{ uag ce DZ-off}$$

Haganbe DZ-OFF, D-OFF

$$U_D = 0 - 0 = 0 = \text{const.}$$

$$U_{DZ} = 0 - U_G$$

$$U_P = 0$$

$U_G \downarrow \Rightarrow U_{DZ} \uparrow$ DZ uvenu on
 D oauaje OFF

$$-U_G = V_D \quad U_G = -0,6V$$

Хаганае DZ-ON, D-OFF

$$U_D = 0 - U_P = 0 - (-i_{DZ} \cdot R) = i_{DZ} R$$

$$-i_{DZ} R - V_D - i_{DZ} R - U_G = 0$$

$$i_{DZ} = \frac{-V_D - U_G}{2R}$$

$$U_P = -i_{DZ} R = \frac{V_D + U_G}{2} = \frac{1}{2} U_G + 0,3$$

$U_G \downarrow \Rightarrow i_{DZ} \uparrow$ DZ оцагае ON
 $U_D \uparrow$ D утну ON

$$U_D = V_D = \frac{-V_D - U_G}{2}$$

$$-U_G = 3V_D \quad U_G = -1,8V$$

Хаганае D-ON, DZ-ON

$$U_P = -V_D = -0,6V = \text{const.}$$

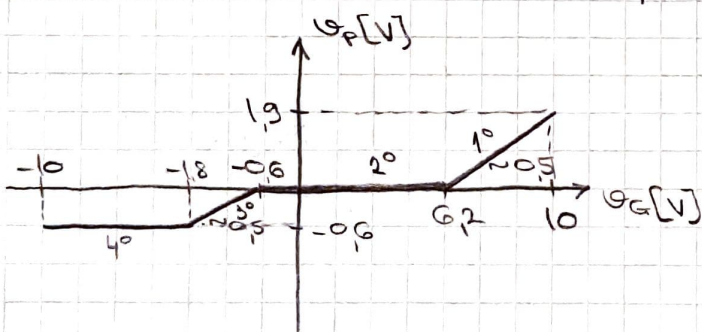
$$i_P R + V_D = 0 \quad i_P = -\frac{V_D}{R}$$

$$i_P R - V_D - i_{DZ} R - U_G = 0$$

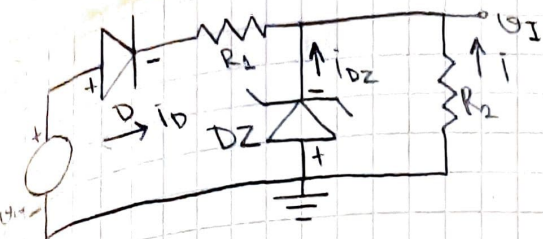
$$i_{DZ} = \frac{-2V_D - U_G}{R}$$

$$i_D = i_{DZ} + i_P = \frac{-3V_D - U_G}{R}$$

$U_G \downarrow \Rightarrow i_{DZ} \uparrow$ u $i_D \uparrow$
 U_P D оцагае ON u
DZ оцагае ON



⊙ У кау са суре гюга D је угеама са $V_D = 0,6V$
Зетер гюга DZ је угеама са $V_Z = 3,2V$ u $V_D = 0,6V$
а остато је u $R_1 = R_2 = 1k\Omega$. Одредити u на-
уритати зависности $U_I(U_G)$, ако се улазти на-
саг мета у Трапугана $-10V \leq U_G \leq 10V$.



za $U_G = -10V$ upletva od nula:

D-OFF, DZ-OFF

$$U_{DZ} = 0 - 0 = 0 < V_D \text{ u } U_{DZ} > -V_Z \quad \checkmark \quad \left. \begin{array}{l} \text{upletva od nula} \\ \text{\&gcar} \end{array} \right\}$$

$$U_D = U_G - 0 = -10V < V_D \quad \checkmark$$

$$U_G \uparrow \Rightarrow U_{DZ} \text{ ce } \text{he} \text{ me} \text{ba} \text{ u } U_D \uparrow \quad U_I = 0 = \text{const.}$$

D uvek u ON

$$U_D = V_D = U_G = 0,6V$$

Hagane D-ON, DZ-OFF

$$i_D R_2 + i_D R_1 + V_D - U_G = 0$$

$$i_D = \frac{U_G - V_D}{R_1 + R_2}$$

$$U_{DZ} = 0 - U_I = 0 - i_D R_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} (V_D - U_G)$$

$$U_I = i_D R_2 = \frac{1}{2} U_G - 0,3$$

$$U_G \uparrow \Rightarrow i_D \uparrow \text{ u } U_{DZ} \downarrow$$

D ovek u ON, DZ uvek upodj

$$U_{DZ} = -V_Z = \frac{R_2}{R_1 + R_2} (V_D - U_G)$$

$$-V_Z = \frac{V_D}{2} - \frac{U_G}{2} \quad U_G = V_D - 2V_Z = 7V$$

Hagane D-ON, DZ-upodj

$$-i R_2 - V_Z = 0 \quad i = -\frac{V_Z}{R_2}$$

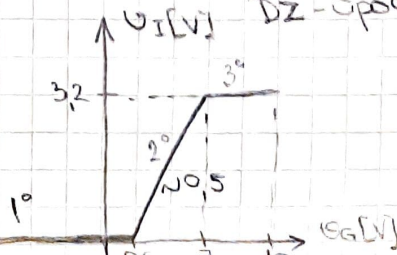
$$-i R_2 + i_D R_1 + V_D - U_G = 0$$

$$i_D = \frac{U_G - V_D - V_Z}{R_1}$$

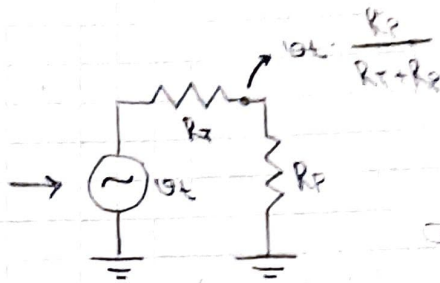
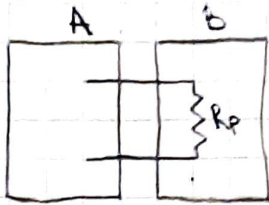
$$i_{DZ} = -i_D - i$$

$$U_I = -i R_2 = V_Z = 3,2V$$

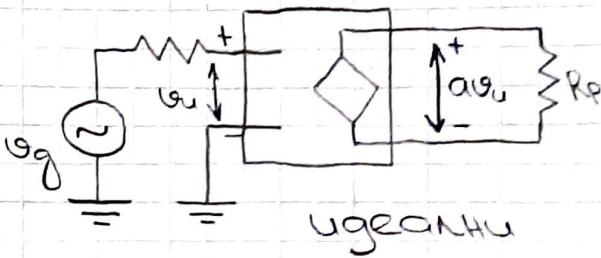
$U_G \uparrow \Rightarrow i_D \uparrow \text{ u } i_{DZ} \downarrow$
 U_G ovek u D-ON u DZ-upodj



Поглибавану

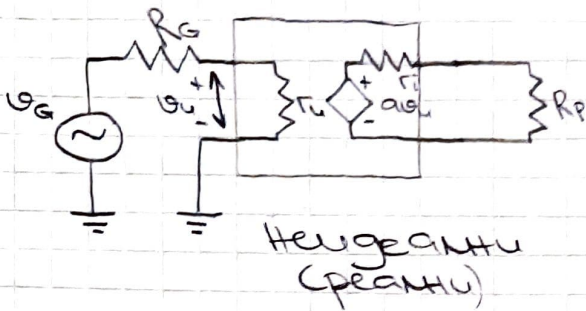


- Условија:
1. U_g мали
 2. $R_1 \gg R_p$
 3. $R_p \gg R_1$



$$U_p = U_g a$$

каталиноуриате ситхана, ако се пагу јаву теури, онда је то аналитика од рога ситхана



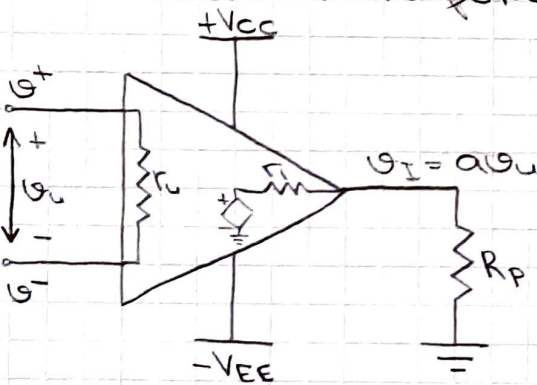
$$U_u = U_g \frac{R_u}{R_u + R_g}$$

$$U_p = a U_u \frac{R_p}{R_1 + R_p}$$

$$U_p = a U_g \frac{R_u}{R_u + R_g} \cdot \frac{R_p}{R_1 + R_p}$$

ако $R_u \gg R_p$ и $R_p \gg R_1$, онда $U_p \approx a U_g$

\Rightarrow операуиону угравану се батануа као нотонан катауриомисану наратску теугравану

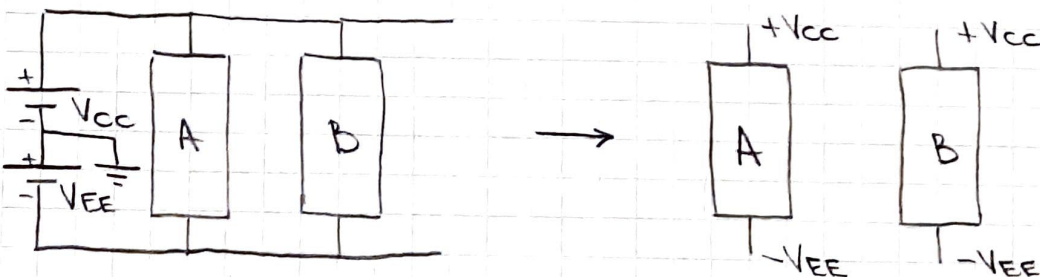


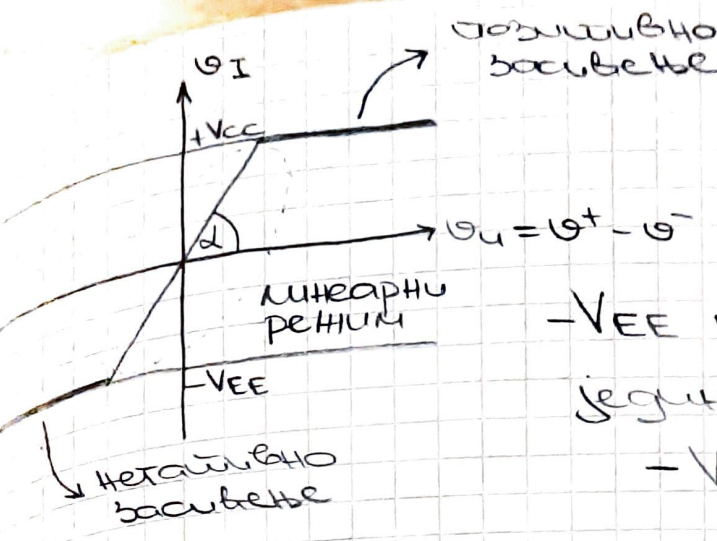
$$U_u = U^+ - U^-$$

$R_p \rightarrow \infty$ ако нуге беват батроуан

$$U_I = a U_u$$

V_{cc} и V_{EE} су нотогата (датерује) - V_{cc} је батроуан, а V_{EE} батроуан



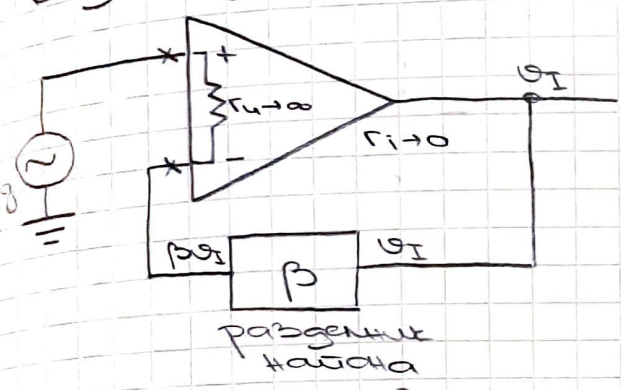


$$\Rightarrow -V_{EE} \leq u_I \leq V_{CC}$$

$$tg \alpha = a$$

$-V_{EE}$ може да се сведе до 0, јер је то исто поља батерија је $-V_{EE} < +V_{CC}$

Log ојачавања је $a > 10000$



$$-V_{EE} < u^+, u^- < V_{CC}$$

$$u_I = a u_O = a (u^+ - u^-) = a (u_g - \beta u_I)$$

$$u_I + \beta a u_I = a u_g$$

$$u_I = \frac{a}{1 + \beta a} u_g$$

ако $r_i \rightarrow \infty$
 $r_o \rightarrow 0$

Нестабилна повратна спрега (реакција)

$$1. \quad a \rightarrow \infty, \beta a \gg 1 \Rightarrow u_I = \frac{u_g}{\beta}$$

непрекинута аутоциклажа

веома велика реакција

одржаност ограничава може да постоји само на нестабилној повратној спреси (ако је β дива на +, ω да ота дива стабилна повратна спрега; не да постоји ако је аутоциклажа)

$$2. \quad u^- = \beta u_I = \frac{u_g}{\beta} \cdot \beta = u_g$$

$$u^- = u_g$$

$$u^+ = u_g$$

$$u^+ = u^- \Rightarrow I(r_i) = 0$$

$$u_I = a r_i u_g \Rightarrow a r_i = \frac{1}{\beta}$$

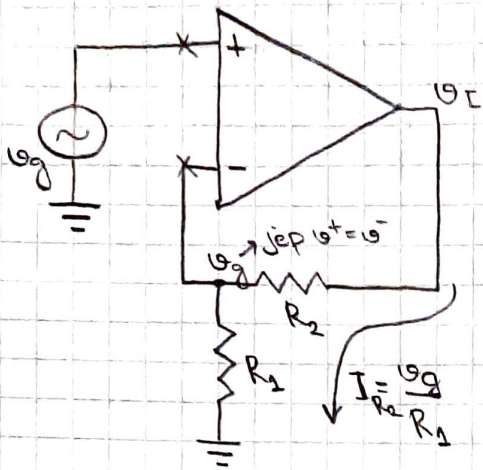
$r_i \rightarrow \infty$

r_i знатно са реакцијом

$r_o \rightarrow 0$

r_o знатно са реакцијом

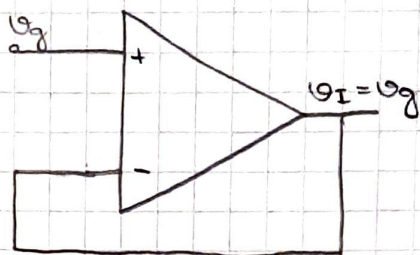
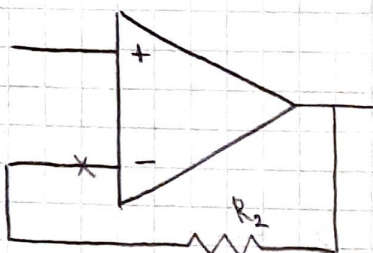
са реакцијом



$$U_I = U_g + R_2 I_{R_2} = U_g + R_2 \frac{U_g}{R_1} = U_g \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right)$$

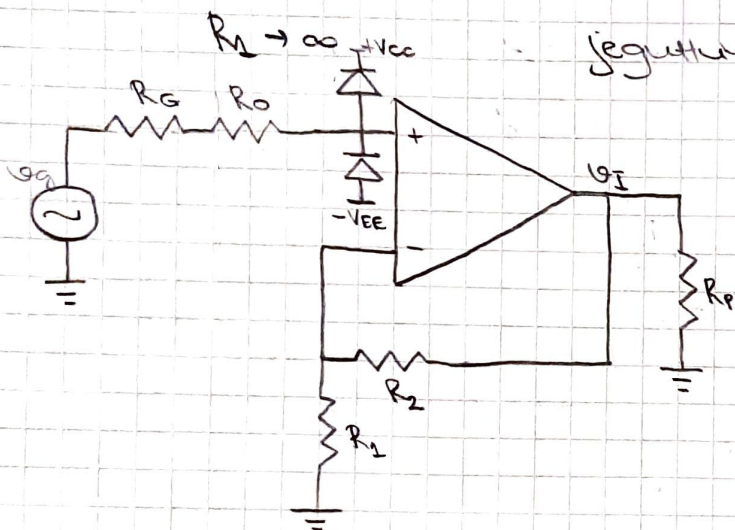
$$\beta = \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

$$\frac{1}{\beta} = \alpha = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

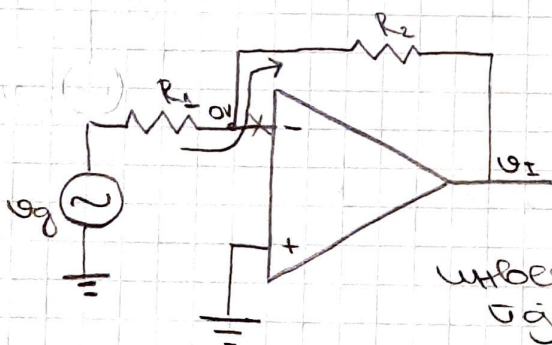


$R_2 \rightarrow \infty$

једитични инвертор



неинвертијући
ојачивач



$$I_{R_1} = \frac{U_g}{R_1} = I_{R_2}$$

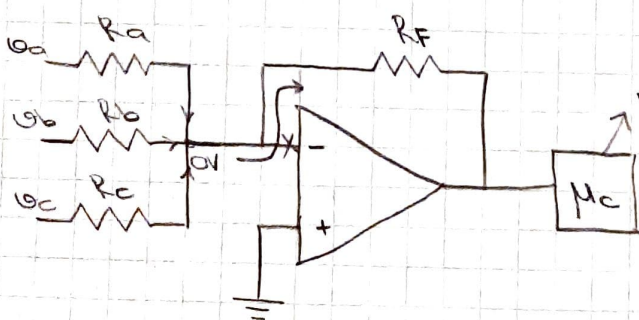
$$U_I = 0V - R_2 I_{R_2} = \left(-\frac{R_2}{R_1} \right) U_g$$

$$\alpha = -\frac{R_2}{R_1}$$

инвертијући
ојачивач

једнострано
мерење

$\Gamma_u = R_1$ кад инвертијућет ојачивача
(а не острауциона)



микротапиролер

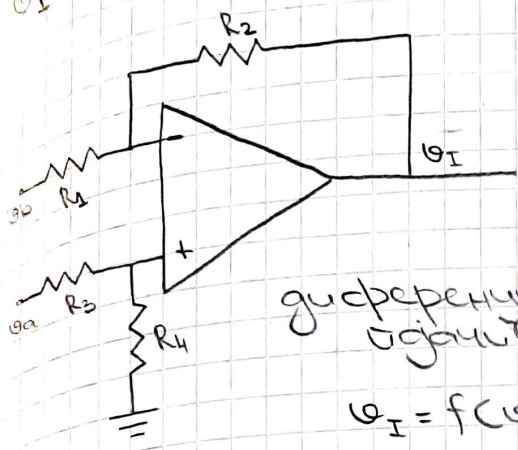
$$I_a = \frac{U_a}{R_a}$$

$$I_c = \frac{U_c}{R_c}$$

$$I_b = \frac{U_b}{R_b}$$

$$U_I = 0V - R_F(I_a + I_b + I_c) = -R_F \left(\frac{U_a}{R_a} + \frac{U_b}{R_b} + \frac{U_c}{R_c} \right)$$

судурау



судеренууяну
судурау

$$U_I = f(U_a, U_b)$$

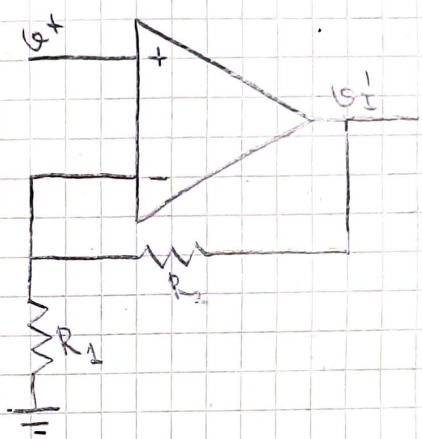
судеренууяну:

I $U_b = 0V$

$$U^+ = \frac{R_4}{R_3 + R_4} U_a$$

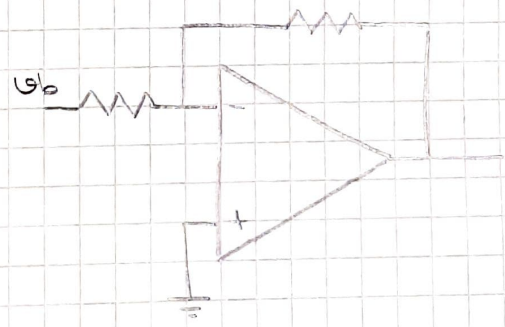
$$U_I' = U^+ \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right)$$

$$U_I' = U_a \left(\frac{R_4}{R_3 + R_4} \right) \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right)$$



II $U_a = 0V$

$$U_I'' = -\frac{R_2}{R_1} U_b$$



$$U_I = U_I' + U_I'' = \frac{R_4}{R_3 + R_4} \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) U_a - \frac{R_2}{R_1} U_b$$

$$U_I = k_a U_a - k_b U_b = k(U_a - U_b)$$

$$\Rightarrow k_a = k_b$$

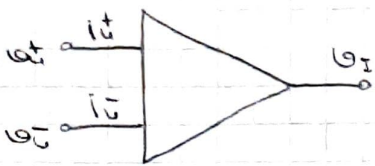
$$R_1 = R_3$$

$$R_2 = R_4$$

$$\frac{R_2}{R_2 + R_1} \frac{R_1 + R_2}{R_1} = \frac{R_2}{R_1} \quad k = \frac{R_2}{R_1}$$

$$U_I = \frac{R_2}{R_1} (U_a - U_b)$$

Идеални операциони појачавачи



осодине:

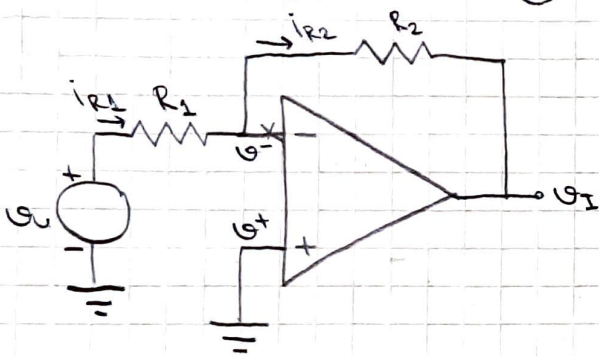
Напонско појачање $a = \frac{v_I}{v_+ - v_-} \rightarrow \infty$

улазна отпорност: $R_i \rightarrow \infty \Rightarrow i_+ = i_- = 0$

излазна отпорност: $R_o \rightarrow 0$

ако ради у идеалном режиму, важи $v_+ = v_-$

① У колу са слике (које представља инвертујући појачивач) операциони појачивач је идеалан. Смањити да су R_1 и R_2 познате величине, одредити $v_I(v_u)$ за одсет улазног напона v_u за који је операциони појачивач у идеалном режиму.

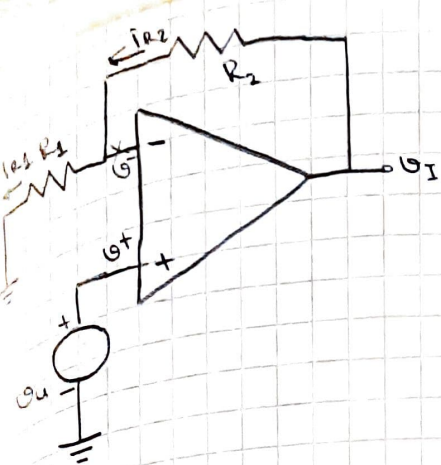


$$\begin{aligned} i_{R2} &= i_{R1} \\ v_+ &= v_- = 0 \\ \frac{v_u - v_-}{R_1} &= \frac{v_- - v_I}{R_2} \end{aligned}$$

$$\frac{v_u}{R_1} = -\frac{v_I}{R_2}$$

$$v_I = -\frac{R_2}{R_1} v_u$$

② У колу са слике (које представља неинвертујући појачивач) операциони појачивач је идеалан. Смањити да су R_1 и R_2 познате величине, одредити $v_I(v_u)$ за одсет улазног напона v_u за који је операциони појачивач у идеалном режиму.



$$U^- = U^+ = U_u$$

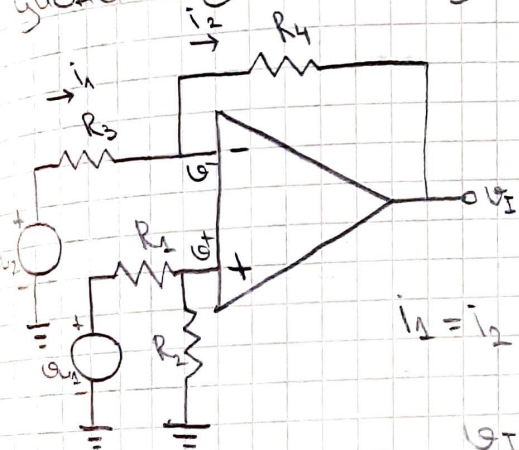
$$i_{R1} = i_{R2}$$

$$\frac{U^- - 0}{R_1} = \frac{U_I - U^-}{R_2}$$

$$\frac{U_u}{R_1} = \frac{U_I - U_u}{R_2}$$

$$U_I = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) U_u$$

63) У кажу са слике операциони усјачивач је идеалан. Смањројати га су R_1, R_2, R_3 и R_4 познате величине, одредити $U_I(U_{u1}, U_{u2})$ за одређених напоната U_{u1} и U_{u2} за коју је операциони усјачивач у линеарном режиму.



$$U^- = U^+$$

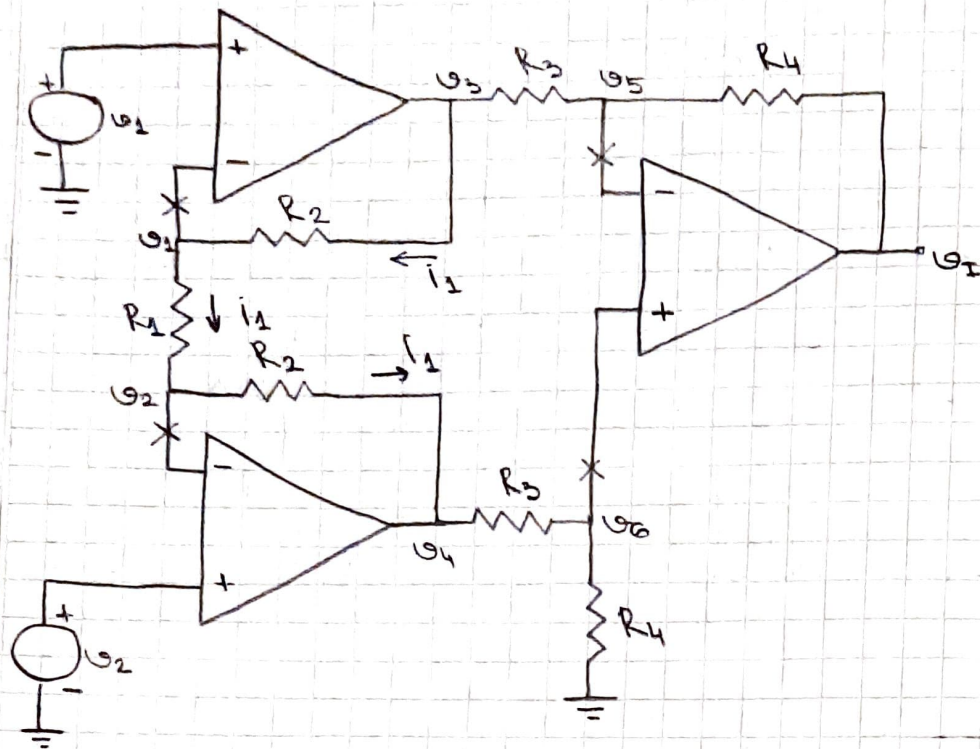
$$U^+ = \frac{R_2}{R_1 + R_2} U_{u1}$$

$$i_1 = i_2 \Rightarrow \frac{U_{u2} - U^-}{R_3} = \frac{U^- - U_I}{R_4}$$

$$U_I = -\frac{R_4}{R_3} U_{u2} + \left(\frac{R_4}{R_3} + 1\right) U^+$$

$$U_I = -\frac{R_4}{R_3} U_{u2} + \left(\frac{R_4}{R_3} + 1\right) \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2}\right) U_{u1}$$

64) У кажу са слике операциони усјачивачи су идеални. Смањројати га су све одговорности познате величине, одредити $U_I(U_1, U_2)$ за одређених напоната U_1 и U_2 за коју су операциони усјачивачи у линеарном режиму.



$$i_1 = \frac{V_3 - V_1}{R_2} = \frac{V_1 - V_2}{R_1} = \frac{V_2 - V_4}{R_2}$$

$$V_5 = V_6$$

$$V_6 = \frac{R_4}{R_3 + R_4} V_4$$

$$\frac{V_3 - V_5}{R_3} = \frac{V_5 - V_I}{R_4}$$

$$V_5 = \frac{R_4}{R_3 + R_4} V_3 + \frac{R_3}{R_3 + R_4} V_I = \frac{R_4}{R_3 + R_4} V_4 \quad / \cdot (R_3 + R_4)$$

$$R_4 V_3 + R_3 V_I = R_4 V_4$$

$$V_I = \frac{R_4}{R_3} (V_4 - V_3)$$

$$R_1 V_3 - R_1 V_1 = R_2 V_1 - R_2 V_2$$

$$V_3 = \frac{V_1 (R_1 + R_2)}{R_1} - V_2 \frac{R_2}{R_1} = V_1 + V_1 \frac{R_2}{R_1} - V_2 \frac{R_2}{R_1}$$

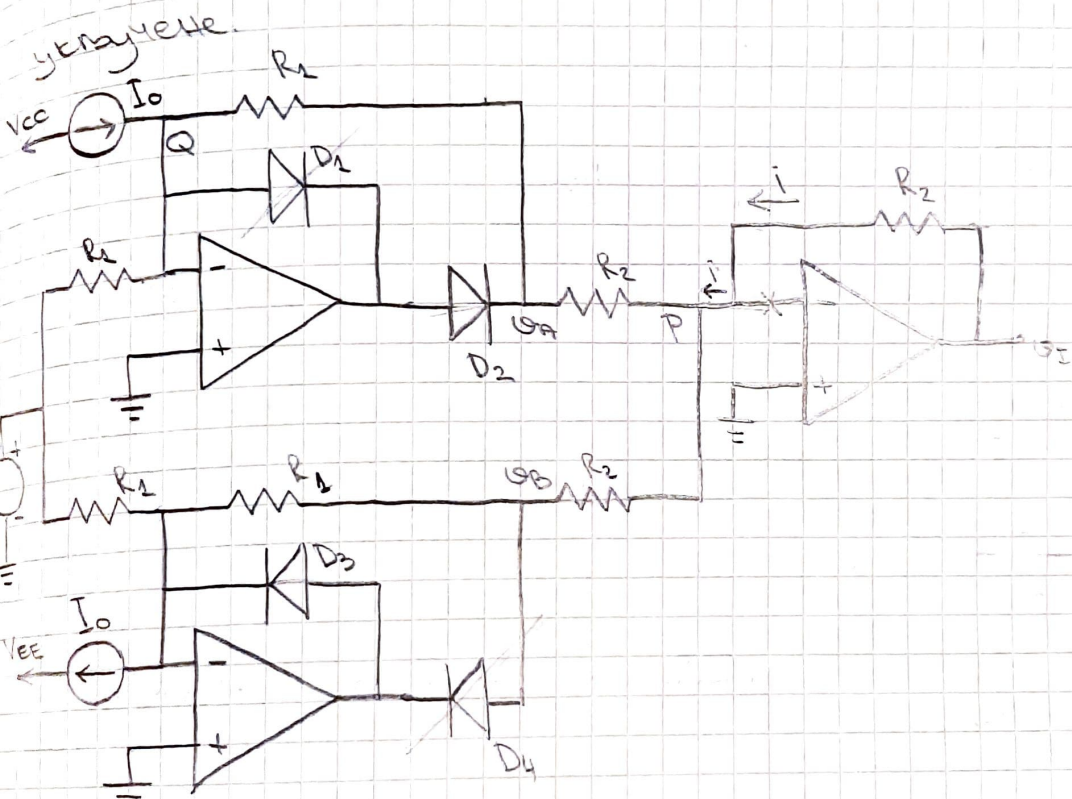
$$R_3 V_1 - R_3 V_2 = R_1 V_2 - R_1 V_4$$

$$V_4 = \frac{V_2 (R_1 + R_3)}{R_1} - V_1 \frac{R_3}{R_1} = V_2 + V_2 \frac{R_3}{R_1} - V_1 \frac{R_3}{R_1}$$

$$V_I = \frac{R_4}{R_3} \left(V_2 \left(1 + \frac{R_2 + R_3}{R_1} \right) - V_1 \left(1 + \frac{R_2 + R_3}{R_1} \right) \right)$$

$$U_I = \frac{R_4}{R_3} \cdot \frac{R_1 + 2R_2}{R_1} (U_2 - U_1)$$

5) У коју се свке операциони уславању у
 гноге су идеални. Снаопрауту га су $R_1, R_2, V_{CC},$
 V_{EE} и I_0 познате величине, одредити зависност
 $U_I(U_G)$ за одсет улазног напона U_G за коју
 су сви операциони уславању у микерном ре-
 ниму, гноге D_1 и D_4 искључене, а гноге D_2 и D_3



$$i = \frac{U_I - 0}{R_2} = \frac{U_I}{R_2}$$

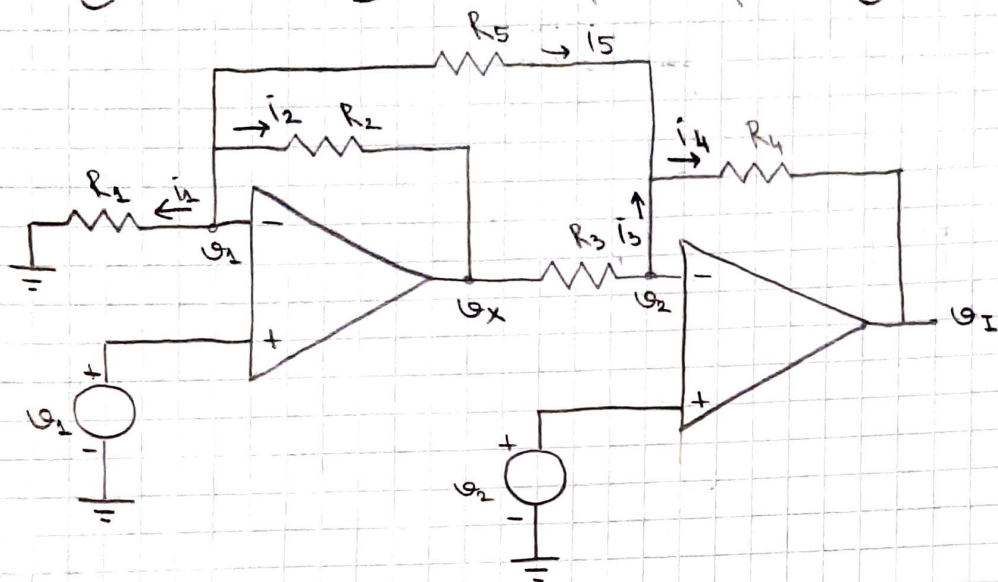
$$P: \frac{U_A}{R_2} + \frac{U_B}{R_2} + \frac{U_I}{R_2} = 0$$

$$U_B = 0$$

$$U_I = U_G + R_1 I_0$$

$$Q: \frac{U_G}{R_1} + I_0 + \frac{U_A}{R_1} = 0$$

66) У кругу са слике операционог pojačavača су идеални. Смањоразути да су све операционе и знање величине, одредити $U_I(U_1, U_2)$ за одне улазних напона U_1 и U_2 за које су операционо pojačivани у минерном релацији.



$$i_4 = \frac{U_2 - U_I}{R_4}$$

$$i_5 = \frac{U_1 - U_2}{R_5}$$

$$i_1 = \frac{U_1 - 0}{R_1}$$

$$i_2 = \frac{U_1 - U_x}{R_2}$$

$$i_3 = \frac{U_x - U_2}{R_3}$$

$$i_3 + i_5 = i_4$$

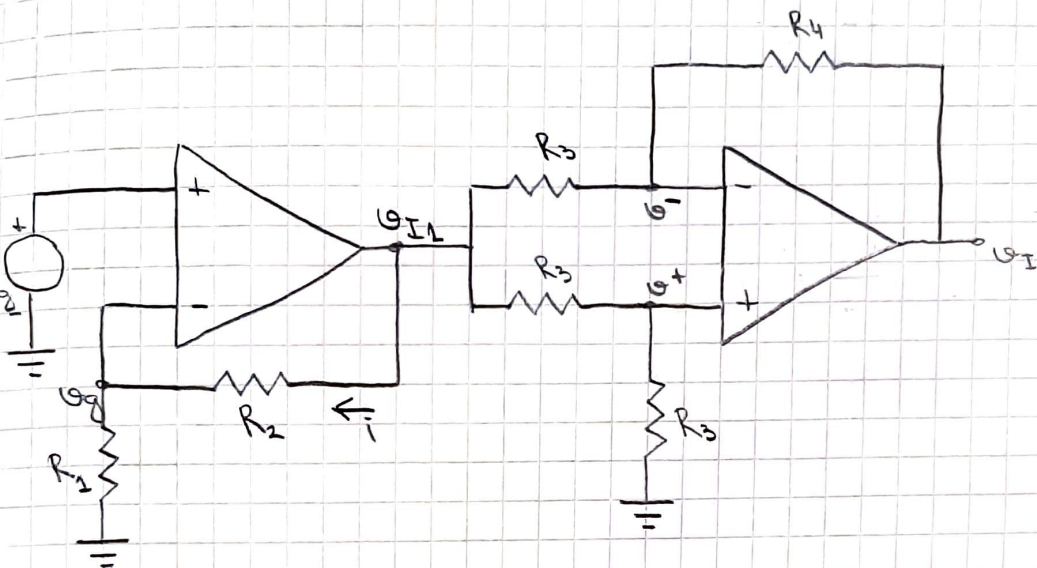
$$\frac{U_x - U_2}{R_3} + \frac{U_1 - U_2}{R_5} = \frac{U_2 - U_I}{R_4}$$

$$U_x R_4 R_5 - U_2 R_4 R_5 + U_1 R_3 R_4 - U_2 R_3 R_4 = U_2 R_3 R_5 - U_I R_3 R_5$$

$$U_I = \frac{U_2 (R_3 R_4 + R_3 R_5 + R_4 R_5) - U_1 R_3 R_4 - U_x R_4 R_5}{R_3 R_5}$$

$$U_I = U_2 \left(\frac{R_4}{R_5} + 1 + \frac{R_4}{R_3} + \frac{R_2 R_4}{R_3 R_5} \right) - U_1 \left(\frac{R_4}{R_5} + \frac{R_2 R_4}{R_3 R_5} + \frac{R_4}{R_5} + \frac{R_2 R_4}{R_1 R_3} \right)$$

67) У коју са свике операциони појачавачи су идеални. Снабдевајући га су све параметрима познате величине, одредити $v_I(v_g)$ за одсет улазног напона v_g за који су операциони појачавачи у линеарном режиму.



$$i_1 = \frac{v_{I1} - v_g}{R_2} = \frac{v_g - 0}{R_1} \quad R_1 v_{I1} - R_1 v_g = R_2 v_g$$

$$v_{I1} = \frac{v_g (R_1 + R_2)}{R_1}$$

$$i_2 = \frac{v_{I1} - v^+}{R_3} = \frac{v^+ - 0}{R_3}$$

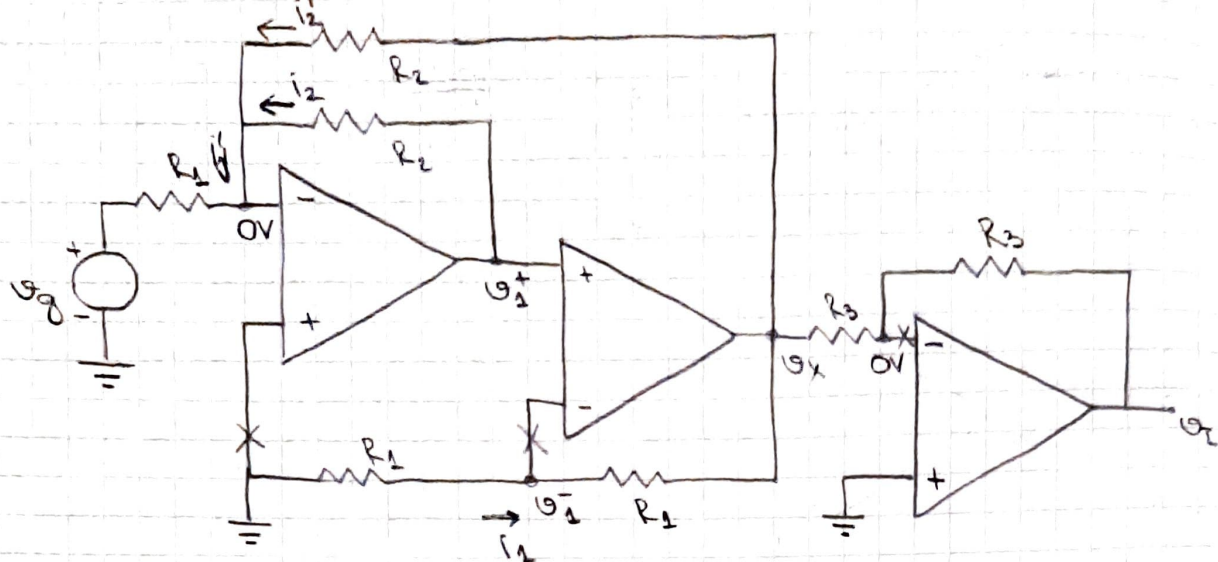
$$2v^+ = v_{I1} \quad v^+ = \frac{v_{I1}}{2} = v^-$$

$$i_3 = \frac{v_{I1} - v^-}{R_3} = \frac{v_{I1}}{2R_3} = \frac{v^- - v_I}{R_4}$$

$$R_4 v_{I1} = 2R_3 \frac{v_{I1}}{2} - 2R_3 v_I$$

$$v_I = v_{I1} \frac{R_3 - R_4}{2R_3} = v_g \frac{R_1 + R_2}{R_1} \cdot \frac{R_3 - R_4}{2R_3}$$

68) У коју са свике операциони појачавачи су идеални. Снабдевајући га су све параметрима познате величине, одредити $v_I(v_g)$ за одсет улазног напона v_g за који су операциони појачавачи у линеарном режиму.



$$i_1 = \frac{0 - U_x}{2R_2}$$

$$U_1^- = \frac{R_1}{2R_2} U_x = \frac{U_x}{2} = U_1^+$$

$$i_2 = \frac{U_1^+ - 0}{R_2} = \frac{U_x}{2R_2}$$

$$i_2' = \frac{U_x - 0}{R_2} = \frac{U_x}{R_2}$$

$$i_1' = i_2 + i_2' = -\frac{U_x}{R_1}$$

$$-i_1' R_1 - U_g = 0 \quad i_1' = -\frac{U_g}{R_1}$$

$$\frac{3U_x}{2R_2} = -\frac{U_g}{R_1} \quad U_x = -\frac{2R_2 U_g}{3R_1}$$

$$i_3 = \frac{0 - U_x}{R_3} = \frac{U_x}{R_3}$$

$$-U_x = U_I \quad U_I = \frac{2R_2}{3R_1} U_g$$

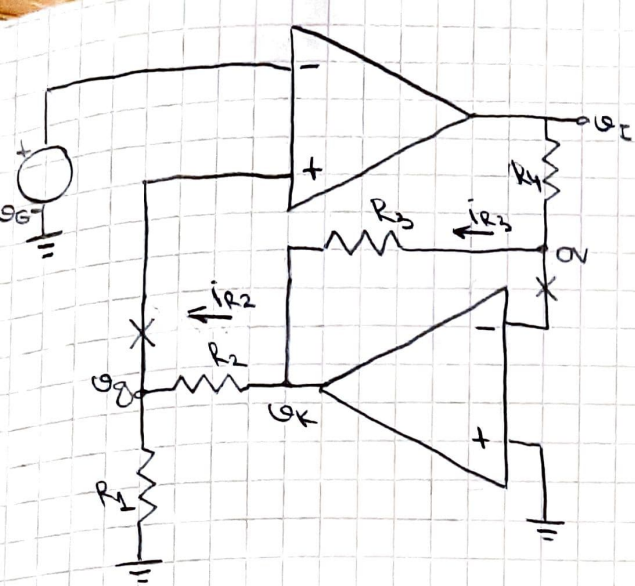
69) Укажи са амплитудно-фазовата характеристика на изградения каскад, ако е дадено $R_1 = R_2 = R_3 = 10k\Omega$. Свойствата на каскада определят фазовата характеристика на миксерния елемент, определят R_4 така да се определи дъгата $\alpha = \frac{U_I}{U_g}$.

$$i_{R2} = \frac{U_x - U_g}{R_2} = \frac{U_g - 0}{R_1} \quad U_x R_1 - U_g R_2 = U_g R_2$$

$$U_x = U_g \frac{R_1 + R_2}{R_1}$$

$$i_{R3} = \frac{0 - U_x}{R_3} = \frac{U_I - 0}{R_4}$$

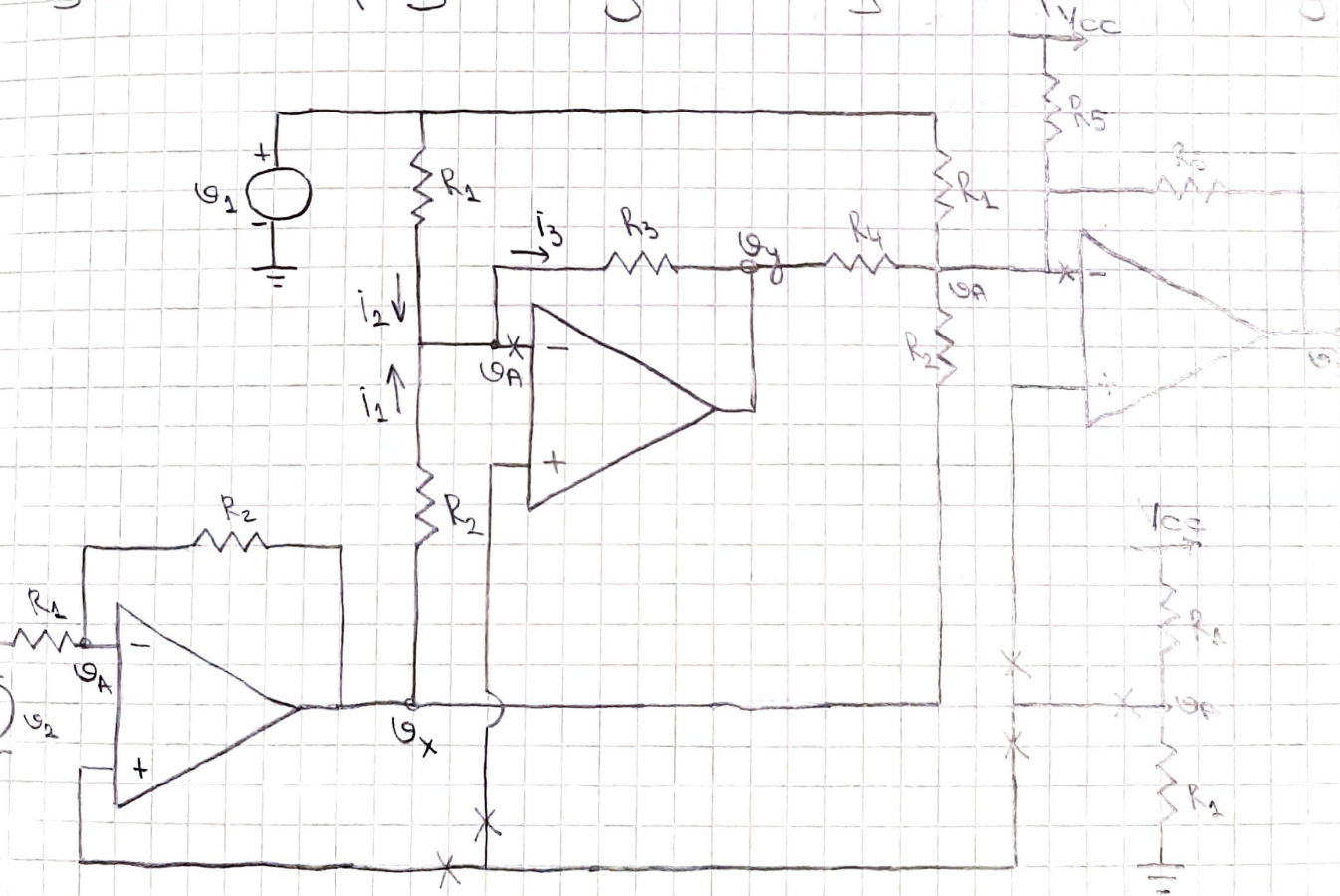
$$\frac{U_I}{R_4} = -\frac{U_x}{R_3} \quad R_4 = \frac{U_I R_3}{-U_x}$$



$$R_4 = \frac{-2U_G R_3}{-U_G \frac{R_1 + R_2}{R_1}} = \frac{2R_1 R_3}{R_1 + R_2}$$

$$R_4 = 10 \text{ k}\Omega$$

70) U kolu sa slike operacioni pojačivači su idealni. Analizirajte ga su sve odabranosti poznate veličine i da je napon U_C poznata veličina, odredite $U_I(U_1, U_2)$ za sva četiri ulazna napona U_1 i U_2 za koji su svi operacioni pojačivači u mrežnoj ravnini

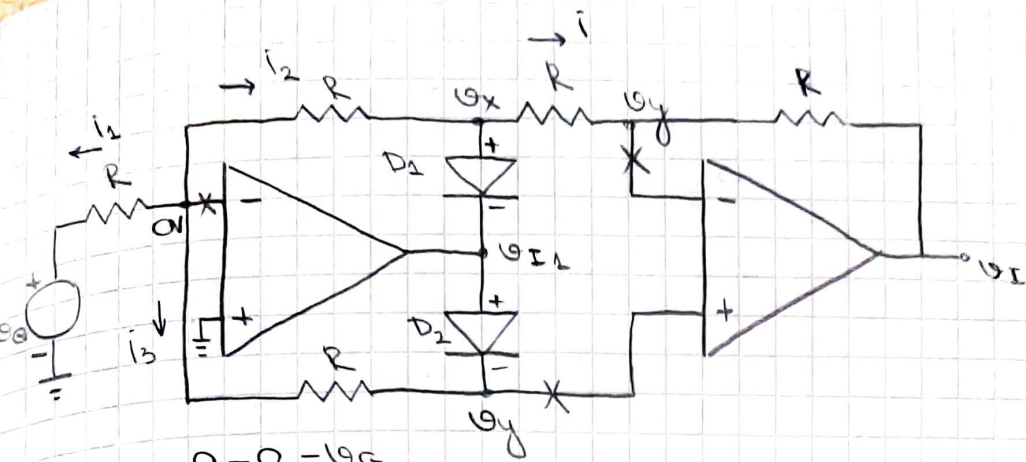


$$I = \frac{U_X - U_A}{R_2} = \frac{U_A - 0 - U_2}{R_1} \quad U_X R_1 - U_A R_1 = U_A R_2 - U_2 R_2$$

$$U_X = \frac{U_A (R_1 + R_2) - U_2 R_2}{R_1}$$

$$I_1 = \frac{U_X - U_A}{R_2}$$

$$I_2 = \frac{U_1 - U_A}{R_1}$$



$$a) i_1 = \frac{0 - 0 - V_G}{R}$$

$$i_2 = \frac{0 - V_x}{R}$$

$$i_3 = \frac{0 - V_y}{R}$$

$$i = i_2 = \frac{V_x - V_y}{R} = \frac{V_y - V_I}{R}$$

$$\frac{V_x - V_y}{R} = -\frac{V_x}{R} \quad 2V_x = V_y \quad V_x = \frac{V_y}{2}$$

$$i_1 + i_2 + i_3 = 0$$

$$-\frac{V_G}{R} - \frac{V_x}{R} - \frac{V_y}{R} = 0$$

$$-V_G - V_x - V_y = 0$$

$$3V_x = -V_G$$

$$V_x = -\frac{V_G}{3}$$

$$V_y = -\frac{2V_G}{3}$$

$$\frac{V_G}{3R} = \frac{-\frac{2V_G}{3} - V_I}{R}$$

$$V_I = -V_G$$

$$d) i_3 = 0 \quad V_y = 0$$

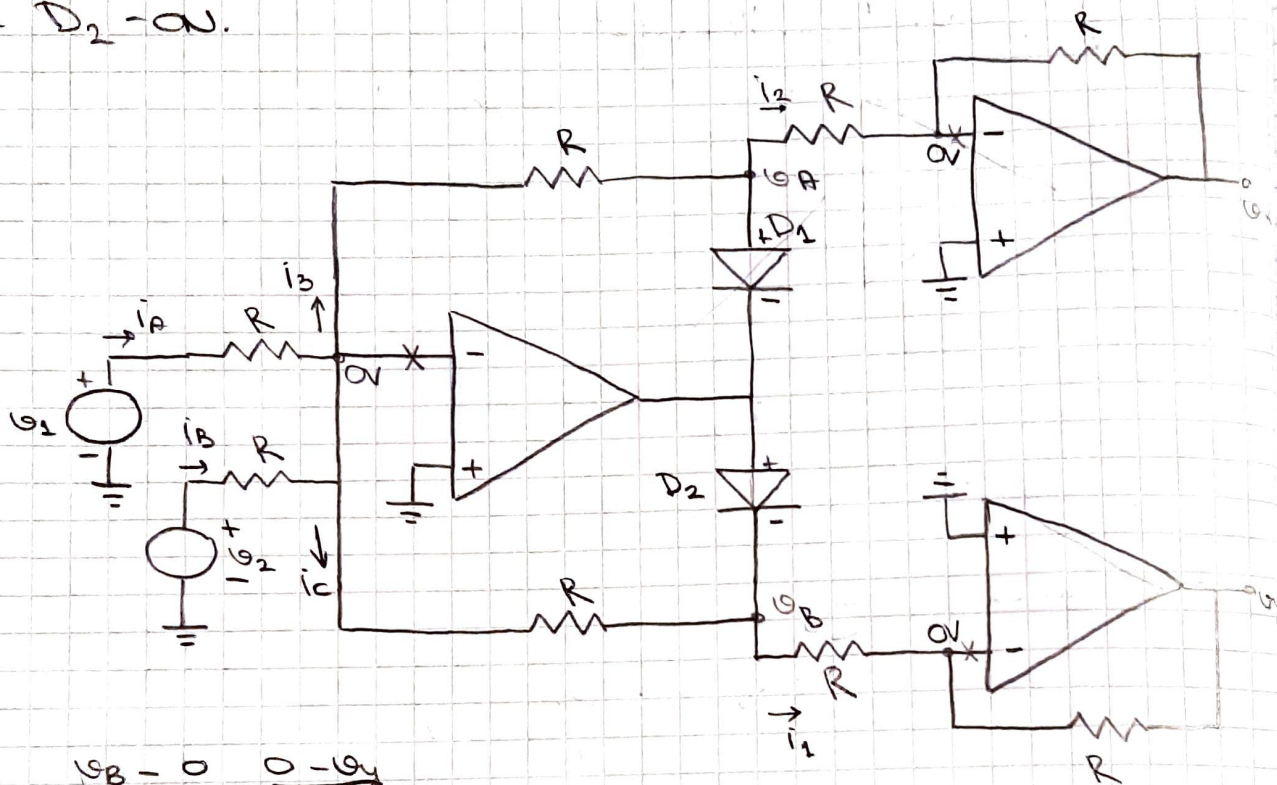
$$i_2 = -i_1$$

$$-\frac{V_x}{R} = \frac{V_G}{R} \quad V_x = -V_G$$

$$\frac{V_x - V_y}{R} = \frac{V_y - V_I}{R}$$

$$V_I = -V_x = V_G$$

72) У кажу са слике, операциони усгачивачи и диоде су идеални. Смањрајући R јоштавае величина, одредити зависноста $U_x(U_1, U_2)$ и $U_y(U_1, U_2)$ за свак улазних напона U_1 и U_2 за коју су операциони усгачивачи у линеарној решењу, гдјега D_1 - off, а D_2 - on.



$$i_1 = \frac{U_B - 0}{R} = \frac{0 - U_y}{R} \quad U_y = -U_B$$

$$i_2 = \frac{U_A - 0}{R} = \frac{0 - U_x}{R} \quad U_x = -U_A$$

$$i_3 = i_2 = \frac{0 - U_A}{R} = \frac{U_A - 0}{R} \quad -U_A = U_A \Rightarrow U_A = 0 \Rightarrow U_x = 0$$

$$\Rightarrow i_3 = 0$$

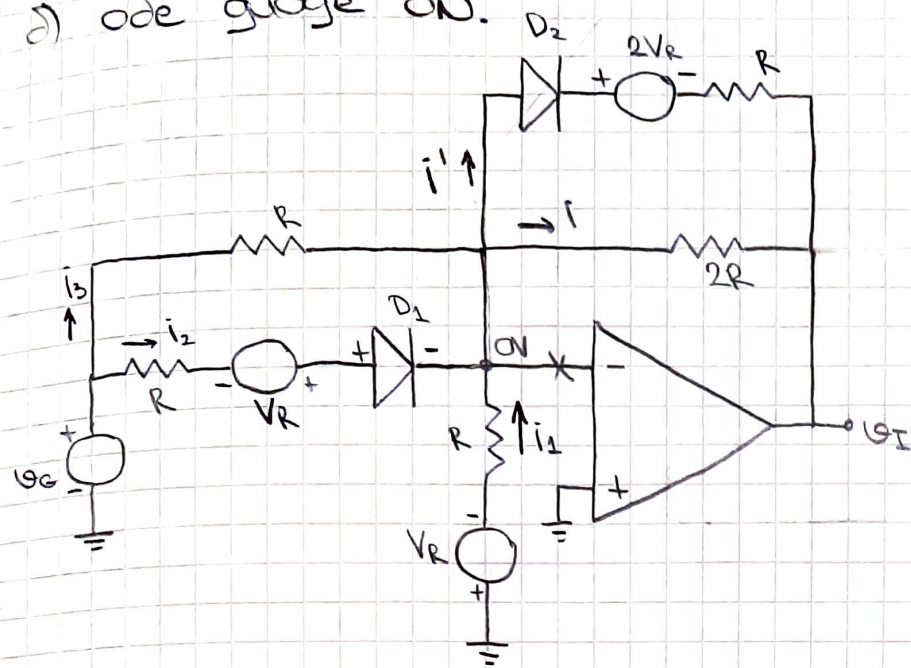
$$i_A = \frac{0 - 0 + U_1}{R} = \frac{U_1}{R} \quad i_B = \frac{U_2}{R}$$

$$i_C = i_A + i_B = \frac{U_1 + U_2}{R} = \frac{0 - U_B}{R} \quad U_y = U_1 + U_2$$

73) У кажу са слике операциони усгачивач је идеалан и ради у линеарној решењу. Диоде су идеалне. Смањрајући га су V_R и R јоштавае величине, одредити зависноста $U_I(U_G)$ ако су:

a) D_1 - ON, D_2 - OFF

b) ode gauge ON.



$$a) i_1 = \frac{0 - 0 - V_R}{R} = -\frac{V_R}{R}$$

$$i_2 = \frac{U_G - 0 + V_R - 0}{R} = \frac{U_G + V_R}{R}$$

$$i_3 = \frac{U_G - 0}{R} = \frac{U_G}{R}$$

$$i = i_1 + i_2 + i_3 = \frac{2U_G}{R} = \frac{0 - U_I}{2R} \quad U_I = -4U_G$$

$$b) i' + i = \frac{2U_G}{R}$$

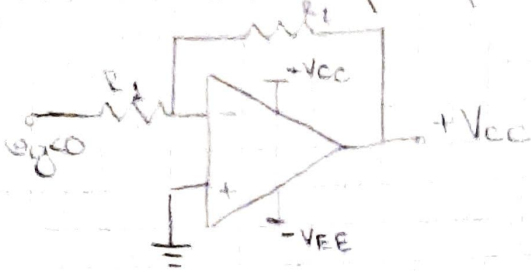
$$i' = \frac{0 - U_I - V_R - 2V_R}{R}$$

$$i = \frac{0 - U_I}{2R}$$

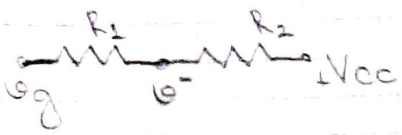
$$-\frac{U_I}{2R} - \frac{U_I + 2V_R}{R} = \frac{2U_G}{R}$$

$$-U_I - 2U_I - 4V_R = 4U_G \quad U_I = -\frac{4}{3}(V_R + U_G)$$

$\alpha \rightarrow \infty$ + het. o'qib o'qalir $\rightarrow v^+ = v^-$



o'shuvchi
sacubetbe

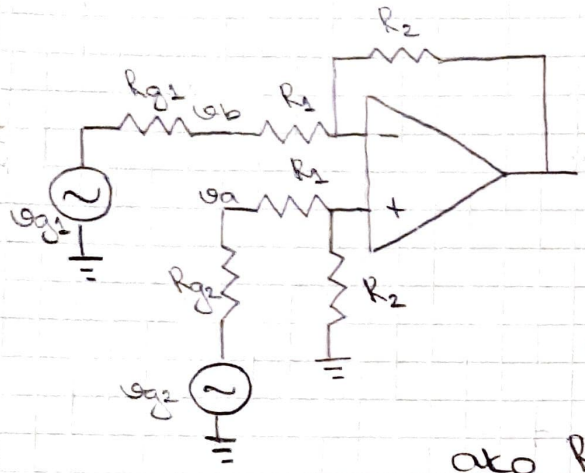


$$v^- = v_g \frac{R_2}{R_1 + R_2} + V_{cc} \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

$+V_{cc} = 5V$

$R_1 = R_2 \Rightarrow a_v = -1$

$v_g = -6V$ sacubetbe

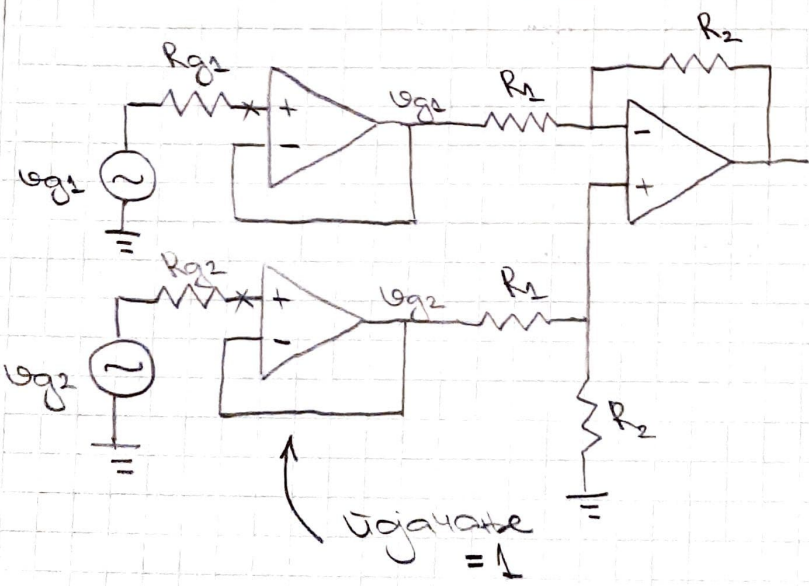


$$v_I = \frac{R_2}{R_1} (v_{g1} - v_{g2})$$

$R_{g1} + R_{g2}$ Hujje qufereniyalar
uzayaboy

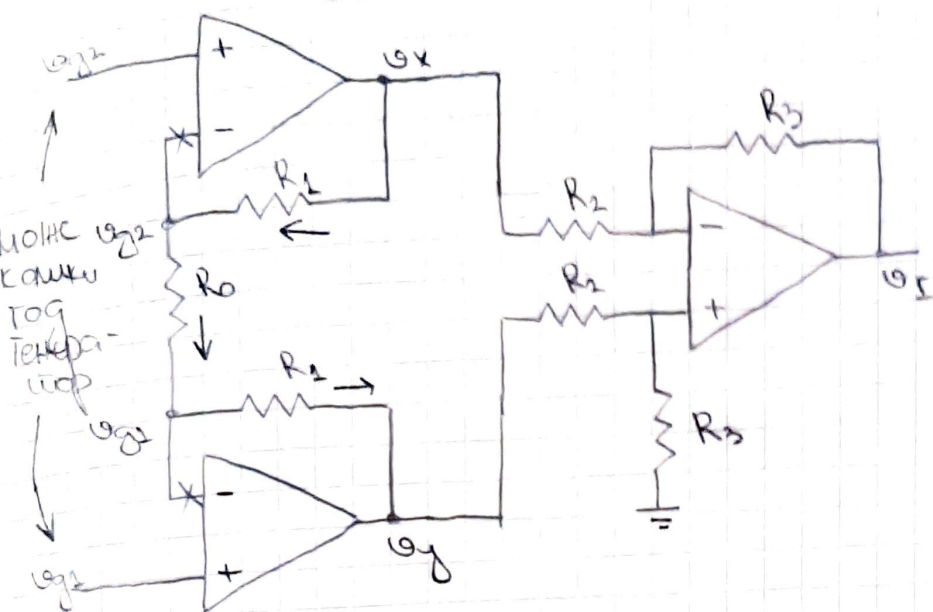
$$v_I \neq k(v_{g2} - v_{g1})$$

ako $R_{g1} \ll R_1$ u $R_{g2} \ll R_2$ o'qsa
battu



uzayaboy
= 1

интегральная микросхема



$$v_I = \frac{R_3}{R_2} (v_y - v_x)$$

$$I_{R0} = \frac{v_{g2} - v_{g1}}{R_0} = \frac{v_x - v_{g2}}{R_1} = \frac{v_x - v_y}{R_1}$$

$$v_x = v_{g2} + I_{R0} R_1$$

$$v_y = v_{g1} - I_{R0} R_1$$

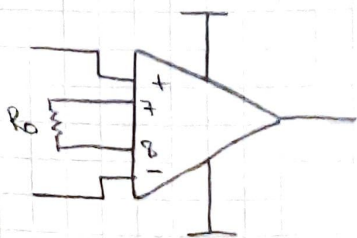
$$v_y - v_x = v_{g1} - v_{g2} - 2 R_1 \cdot \frac{v_{g2} - v_{g1}}{R_0}$$

$$v_y - v_x = v_{g1} - v_{g2} + \frac{2 R_1}{R_0} (v_{g1} - v_{g2})$$

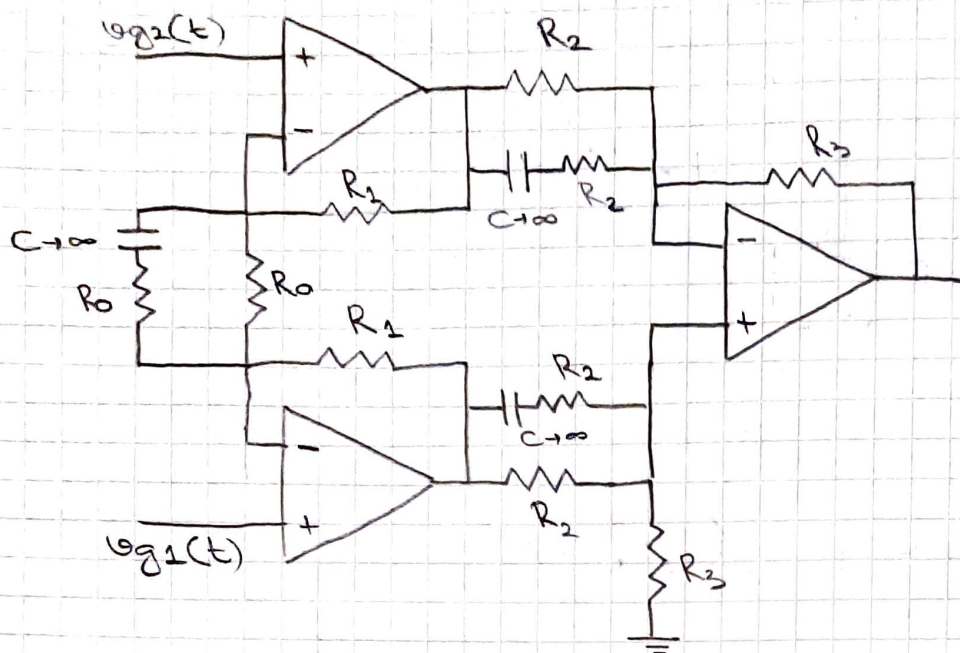
$$v_y - v_x = (v_{g1} - v_{g2}) \left(1 + \frac{2 R_1}{R_0} \right)$$

$$v_I = \underbrace{\frac{R_3}{R_2} \left(1 + \frac{2 R_1}{R_0} \right)}_{k_1} (v_{g1} - v_{g2})$$

как операция R_0 с нуля



$$v_I = k_1 \left(1 + \frac{k_2}{R_0} \right) (v^+ - v^-)$$



$$v_{g1}(t) = V_1 + V_{1m} \cos \omega t$$

$$v_{g2}(t) = \underbrace{V_2}_{DC} + \underbrace{V_{2m} \cos \omega t}_{AC}$$

$$Z_C = \frac{1}{j\omega C}$$

$C \rightarrow \infty$ много велико

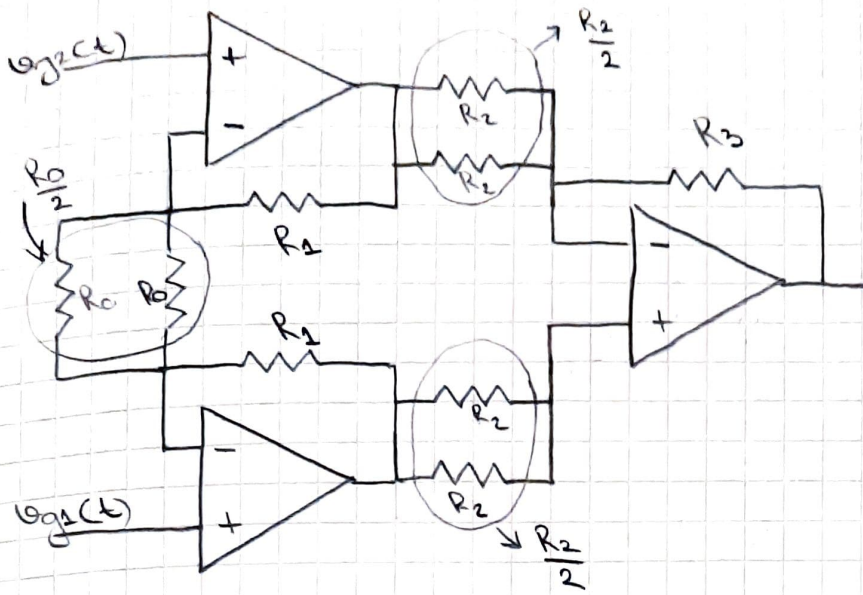
за $\omega \neq 0$ $\frac{1}{j\omega C} \rightarrow 0$ (кратен замыор на крамок стож)

за $\omega = 0$ $Z_C \rightarrow \infty$ (отворена верза)

DC: $C = \text{---}$

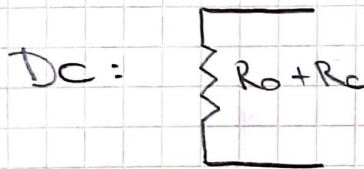
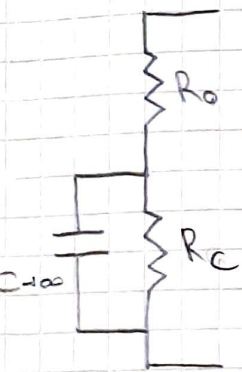
година се штурметтанты догадаты

$$v_I = \left(1 + \frac{2R_1}{R_0}\right) \frac{R_3}{R_2} (V_1 - V_2)$$

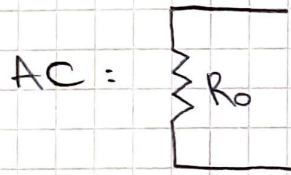


AC
 PERMUN
 $C = \text{---}$

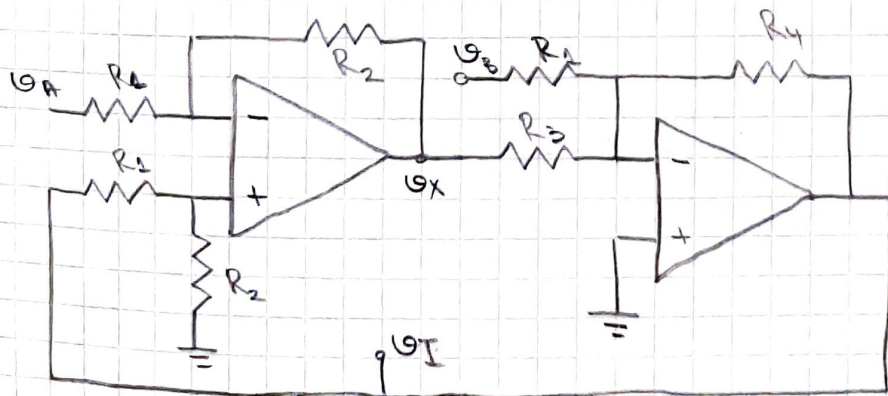
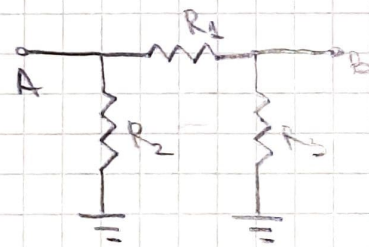
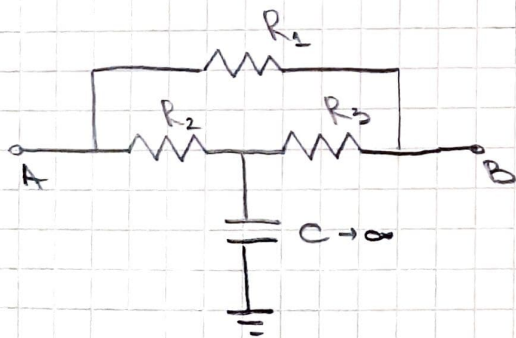
$$v_I = \frac{R_3}{R_2} \left(1 + \frac{2R_1}{R_0} \right) (V_{1m} - V_{2m}) \cos \omega t$$



$$v_I = v_{IDC} + v_{IAC}$$



AC:



$$R_3 = ?$$

$$v_I = k(v_A - v_B)$$

$$k = ?$$

$$V_I = -\frac{R_4}{R_1} V_B - \frac{R_4}{R_3} V_X$$

$$V_X = \frac{R_2}{R_1} (V_I - V_A)$$

$$V_I = -\frac{R_4}{R_1} V_B - \frac{R_4}{R_3} \cdot \frac{R_2}{R_1} (V_I - V_A)$$

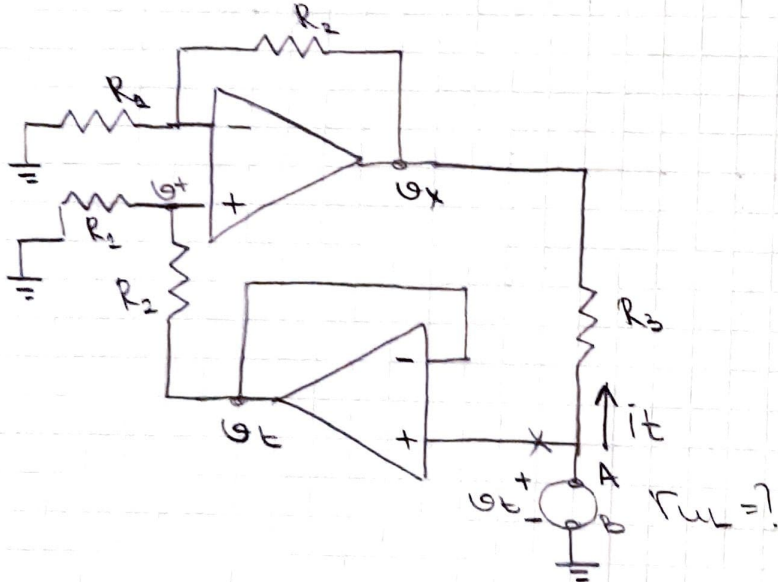
$$V_I = -\frac{R_4}{R_1} V_B - \frac{R_4 R_2}{R_3 R_1} V_I + \frac{R_4 R_2}{R_3 R_1} V_A$$

$$V_I \left(1 + \frac{R_4 R_2}{R_3 R_1} \right) = \frac{R_4 R_2}{R_3 R_1} V_A - \frac{R_4}{R_1} V_B = \frac{R_4}{R_1} \left(\frac{R_2}{R_3} (V_A - V_B) \right)$$

$$V_I = \frac{\frac{R_4}{R_1}}{1 + \frac{R_4 R_2}{R_3 R_1}} \left(\frac{R_2}{R_3} (V_A - V_B) \right) \quad \left. \begin{array}{l} K \\ R_3 = R_2 \end{array} \right\}$$

$$V_I = K (V_A - V_B)$$

$$K = \frac{\frac{R_4}{R_1}}{1 + \frac{R_4}{R_1}} = \frac{R_4}{R_1 + R_4}$$



$$V_t = r_{UL} \cdot i_t$$

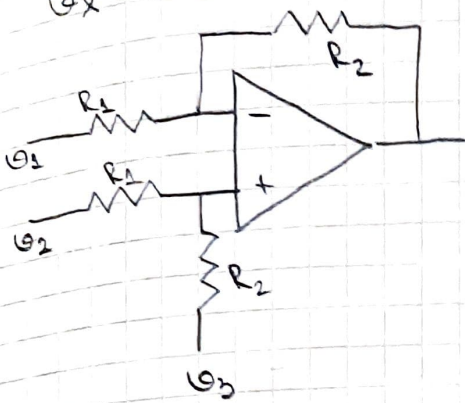
$$r_{UL} = \frac{V_t}{i_t} \quad i_t = I_{R_3}$$

$$V_t = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_x$$

$$V_x = V_t \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right)$$

$$v_x = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) v_t \left(\frac{R_1}{R_1 + R_2}\right)$$

$$v_x = v_t \Rightarrow i_t = 0 \Rightarrow r_{ul} = \infty$$



$$v_3 = 0$$

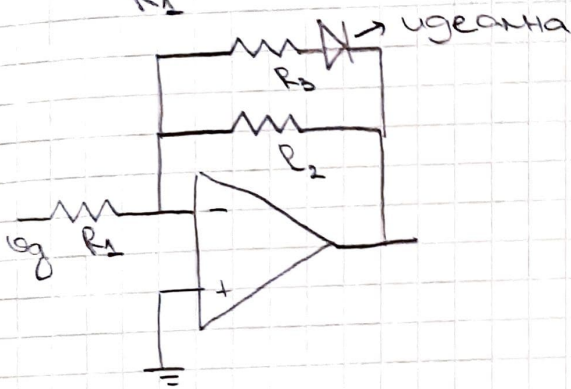
$$v_I' = \frac{R_2}{R_1} (v_2 - v_1)$$

$$v_1 = v_2 = 0$$

$$v_I'' = v^+ \cdot \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)$$

$$v^+ = \frac{R_2}{R_1 + R_2} v_3$$

$$v_I = \frac{R_2}{R_1} (v_2 - v_1) + v_3$$



$$v_g > 0$$

$$v_g < 0$$

