

בס"ד, לק"י

פתרון מבחן מה"ט

אלקטרוניקה

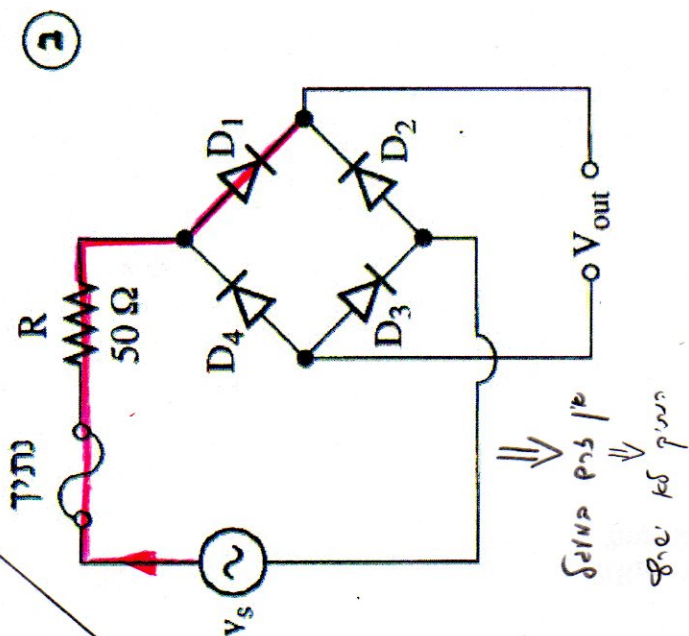
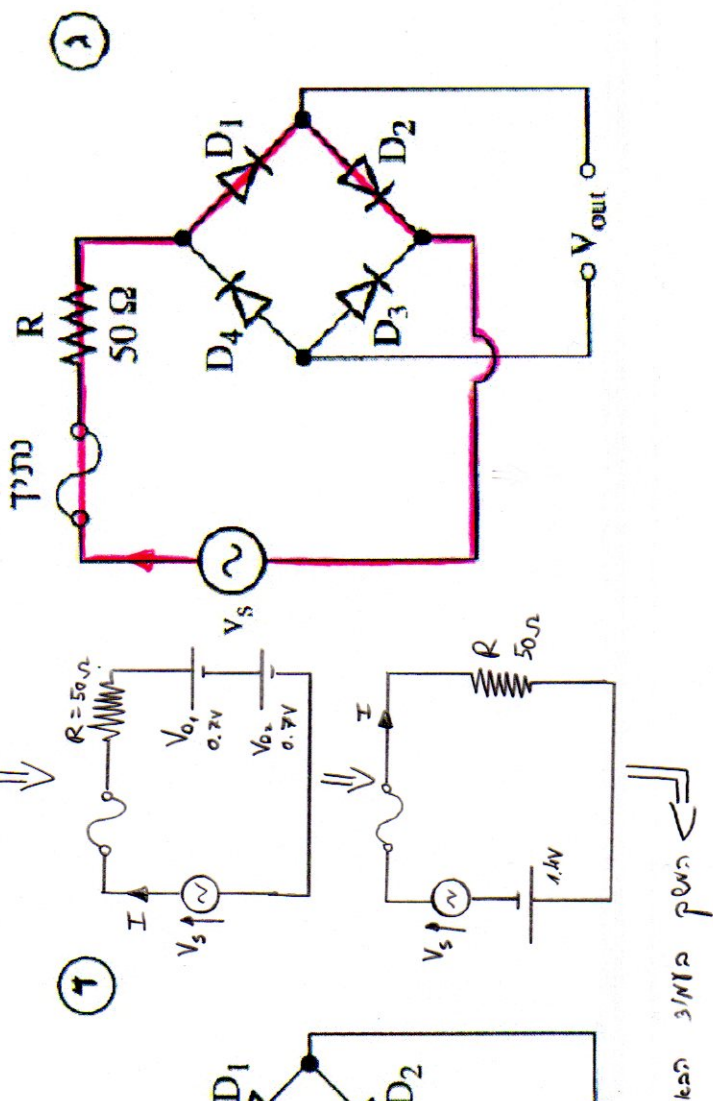
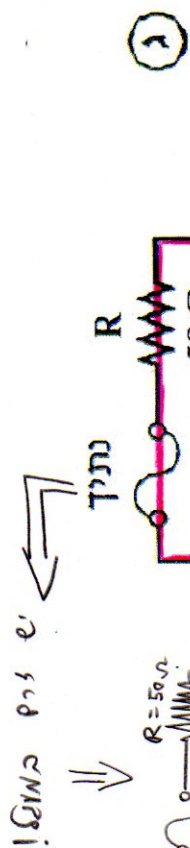
תקבילית

אביב 2012

פתר: אבי יומטוביאן

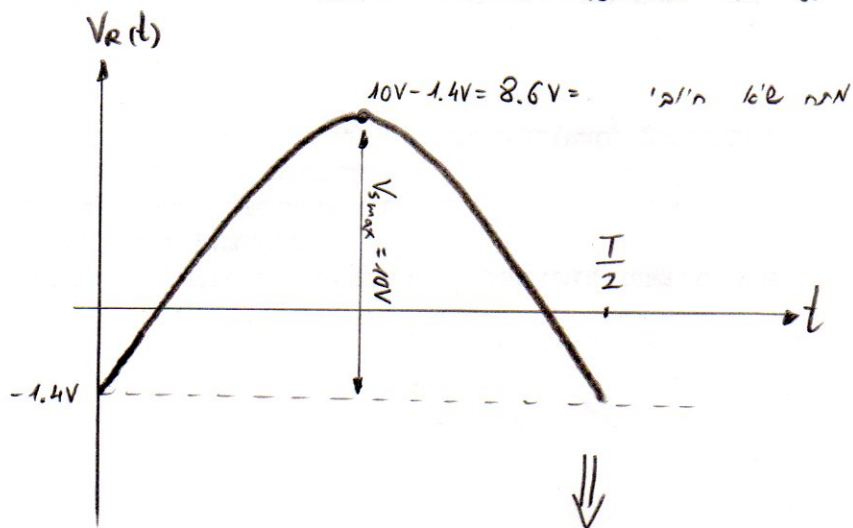
©

כל הזכויות שמורות



- 2 -

מכיוון שזרם באמצע $\hat{I}$ זרם רק זוגי חצי המחזור החיובי של V_s ,
נחלק את החצי עם R שהיננו מחפשים:



הזרם היחיד הנצמד ביותר זרם R והיננו יקבע כשה $V_R(t) = 8.6V$

$$i_{\text{מק}} = \frac{V_R(t)}{R} = \frac{8.6}{50} = 0.172A > 0.1A$$

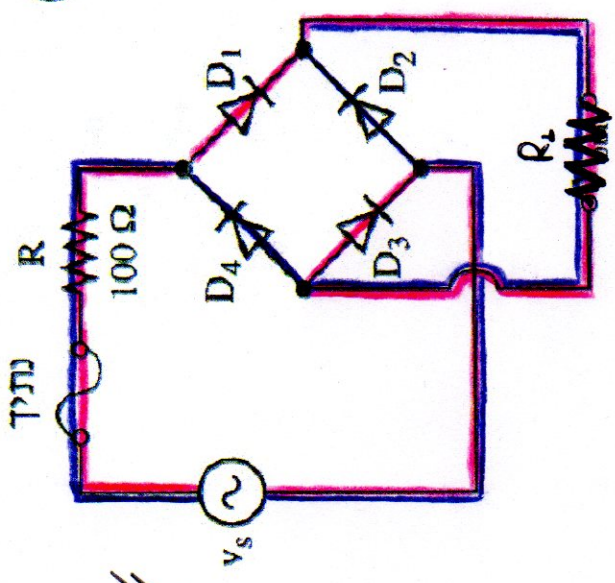
היננו ישר באמצע $\hat{I}$!

ב) גם במצב זה נבדוק היכן זרם זוגי כחצי המחזור החיובי של R_2 , ואז
נחלק את החצי עם R_2 והיננו מחפשים:

נחלק את החצי עם R_2 והיננו מחפשים זרם זוגי חצי המחזור החיובי, ובצד R_2 כחצי
זוגי חצי המחזור החיובי.

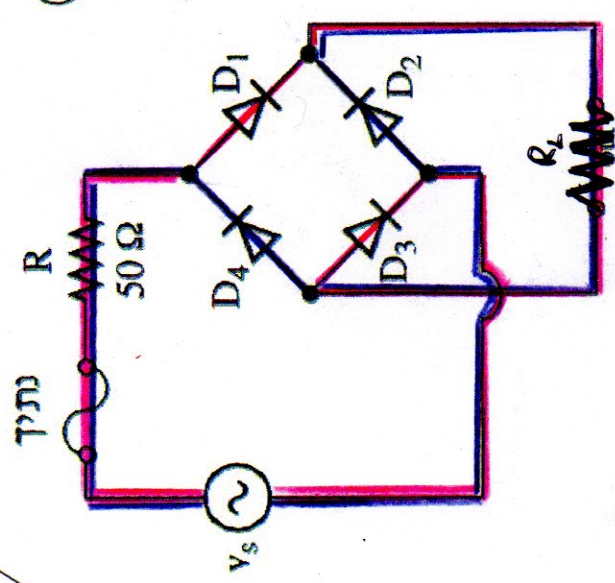


א

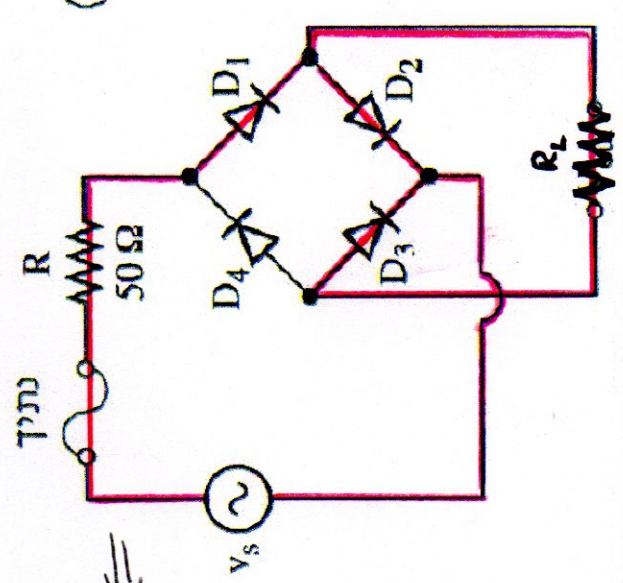


כאשר $R_L \ll R$ כלומר R_L קטן בהרבה מ- R , אז R_L הוא קצר חשמלי וכל הזרם יזרום דרך R ו- v_s .

ב

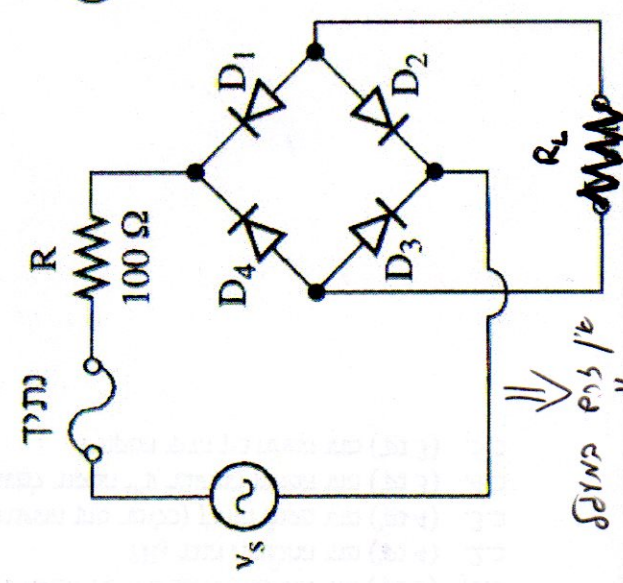


ג



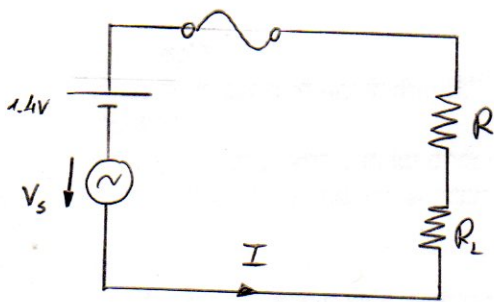
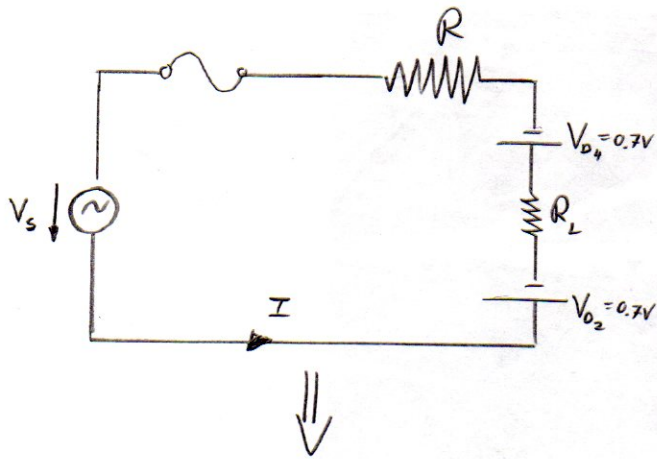
כאשר $R_L \gg R$ כלומר R_L גדול בהרבה מ- R , אז R הוא קצר חשמלי וכל הזרם יזרום דרך R_L ו- v_s .

ד



נשלח את המעגל למחשבון (המחשבון צריך, ונבדוק רק בזמן של R):

צורך חיבור המעגל השני

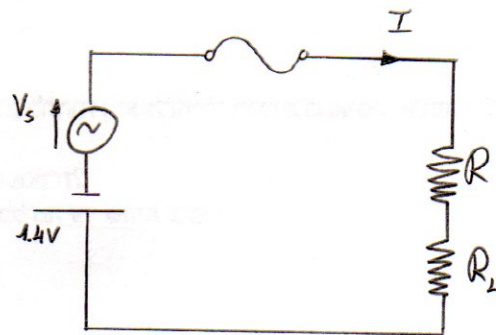
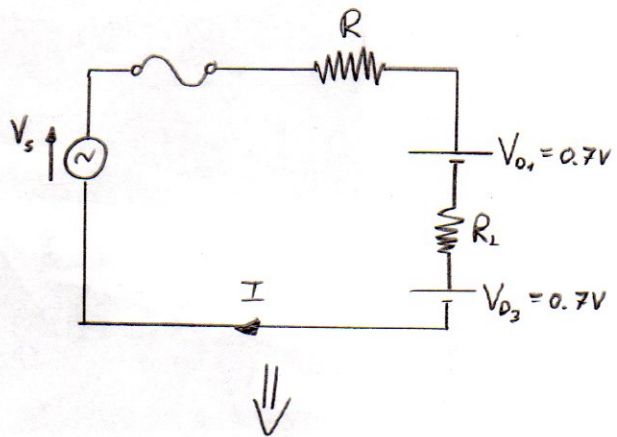


• המעגל שהקדם צריך החיבור השני צריך להיות מחובר החיבור

המסקנות והחישוב צריך להכיל

• במעגל א' הנתון לא יעבד!
• במעגל ב' הזרם בנתון יעבד
• 0.172A, ולכן הנתון יעבד.

צורך חיבור המעגל הראשון



• נותר ה'א' הוא $10V - 1.4V = 8.6V$ (הנחה צריך להניח 8V)

• בכך צריך להקדם את ה'א' $R_L = 0\Omega$

$$I_{R_L} = \frac{V(t)}{R + R_L} = \frac{8.6}{R + 0} = \frac{8.6}{R} =$$

$$= \frac{R=100\Omega}{\text{a}} = \frac{8.6}{100} = 0.086A < 0.1A$$

$$= \frac{R=50\Omega}{\text{b}} = \frac{8.6}{50} = 0.172A > 0.1A$$

• במעגל א' הנתון לא יעבד!
• במעגל ב' הזרם בנתון יעבד
• 0.172A, ולכן הנתון יעבד.

↓↓

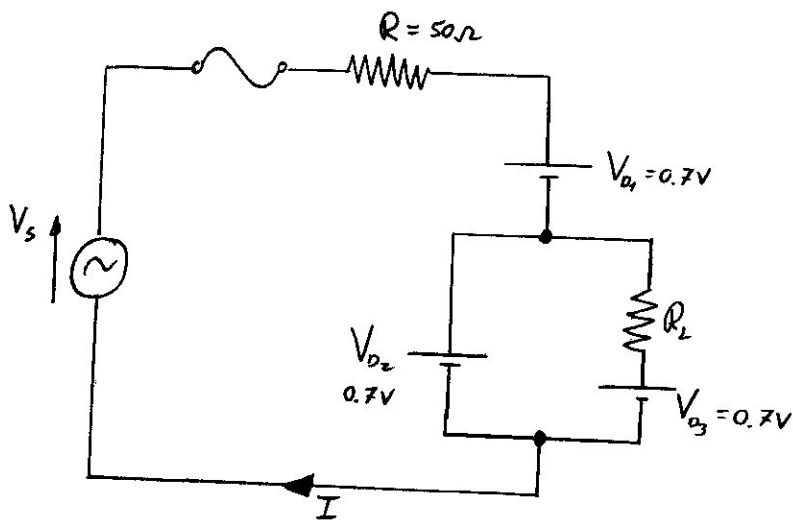
בכדי שהתנ"ק במחצית ב' לא יהיה ע' להציג את R_L כק, אלא
נקבע R_L הנ"ל לצורך $I = 0.1A$

$$I_{ק"מ} = \frac{V_{(1)}}{R + R_L}$$

$$0.1 = \frac{8.6}{50 + R_L}$$

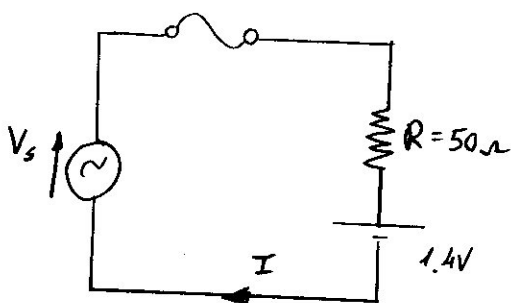
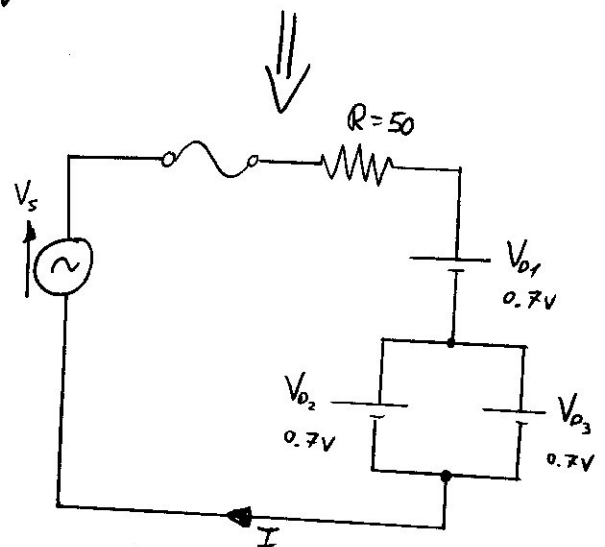
$$50 + R_L = \frac{8.6}{0.1}$$

$$R_L = 36\Omega //$$



כזאת נראה את מחצית ב':

⇒ בכדי שלא נקבע סתירה
חשבו את R_L ת"ב
סה"כ שיהיה 0.1A



המחצית ב' זהה למחצית א' בפרק ע', ולכן
הנ"ל יהיה ע' לזרם של 0.172A

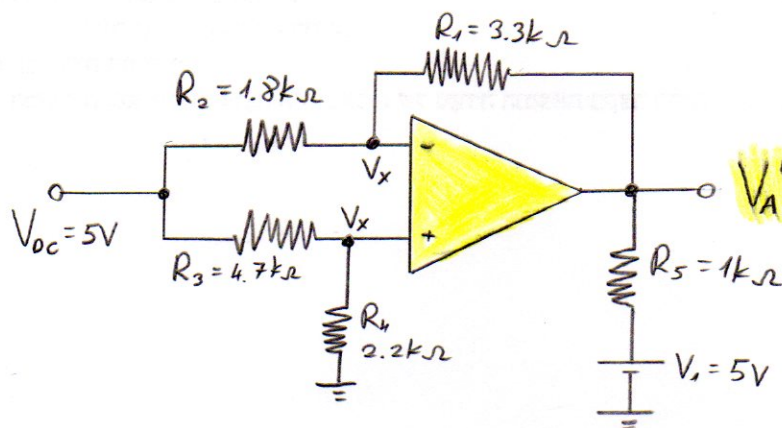
↓↓

התנ"ק יהיה במחצית ב'!

Ⓢ מכין ע- V_{oc} ו- V_s בק מוליך בתצורה שונה, את ח"ב פ
 סדרה את המעגל המצוי סופר-בוצ'יה.

2

נחשב את V_A ו- V_s בק מוליך V_s ו- V_{oc} בק מוליך:



$$V_x = V_{DC} \cdot \frac{R_4}{R_3 + R_4} = 5 \cdot \frac{2.2}{4.7 + 2.2} = 1.594V$$

⇓

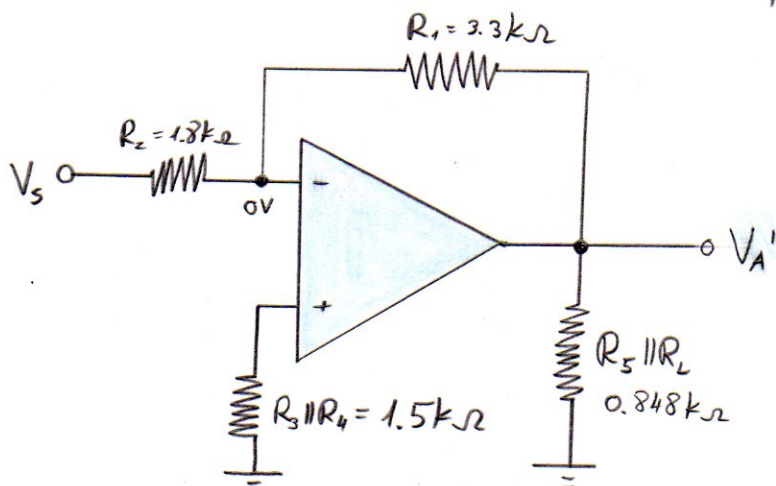
$$I_{R_2} = I_{R_1}$$

$$\frac{V_{DC} - V_x}{R_2} = \frac{V_x - V_{A'}}{R_1}$$

$$\frac{5 - 1.594}{1.8} = \frac{1.594 - V_{A'}}{3.3}$$

$$V_{A'} = -4.65V$$

כדי לשקל את V_{oc} ו- V_s בק מוליך, נחשב את V_A ו- V_s בק מוליך:



$$V_A'' = -\frac{R_1}{R_2} V_s = -\frac{3.3}{1.8} V_s = -1.8333 V_s$$

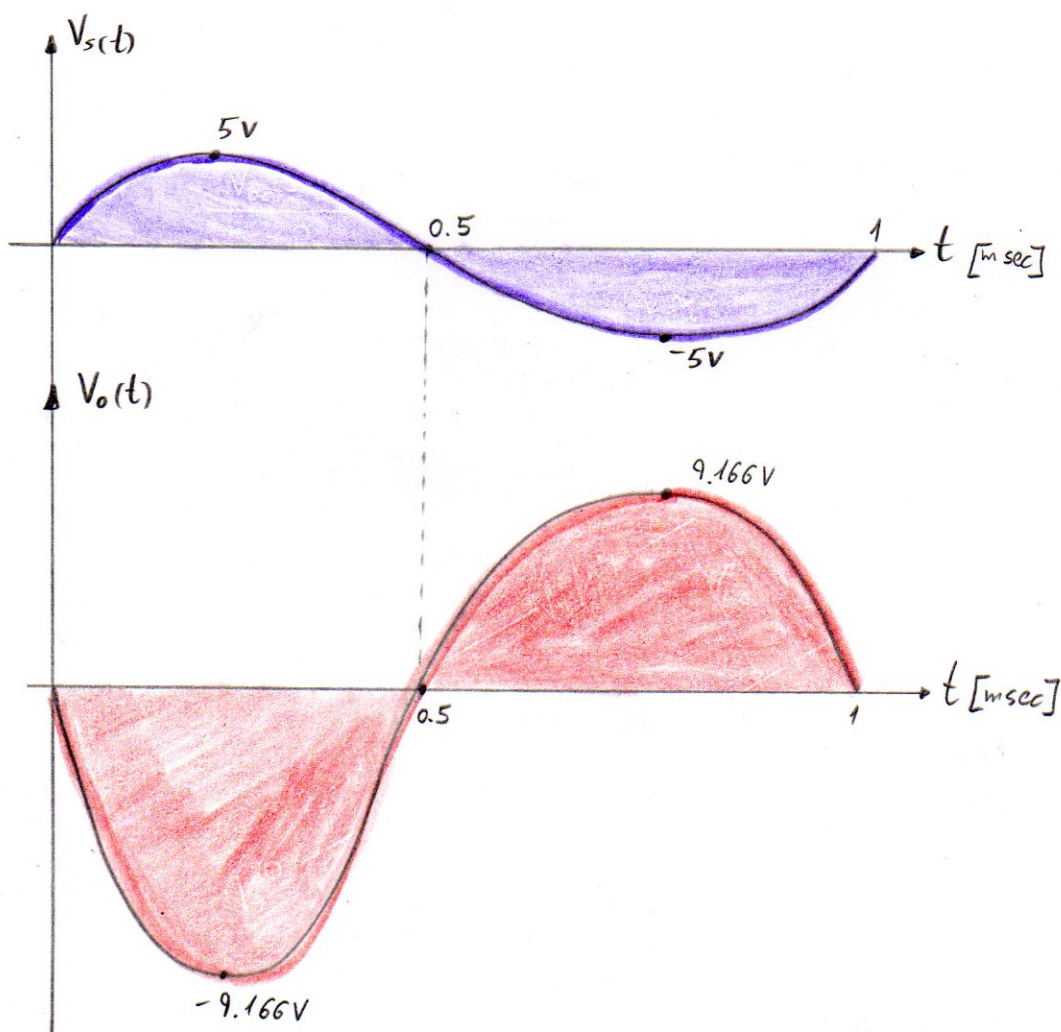


$$V_A = V_A' + V_A'' = -1.8333 V_s - 4.65 \text{ [V]}$$

סגור י' זה DC - ה ממש מיון V_A ל V_o ☺

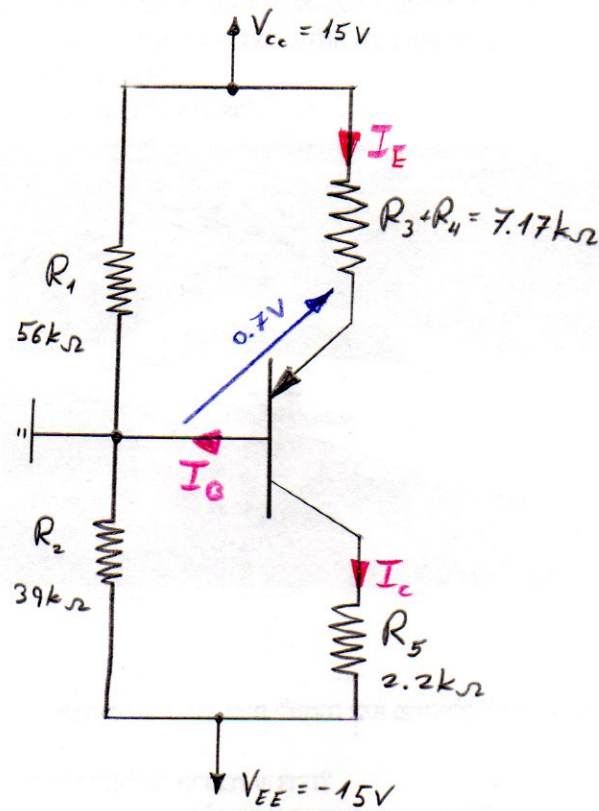
⇓

$$\begin{aligned} V_o(t) &= -1.8333 V_s = -1.8333 \cdot 5 \cdot \sin(2\pi \cdot 1000t) = \\ &= -9.166 \cdot \sin(2\pi \cdot 1000t) = \\ &= 9.166 \cdot \sin(2\pi \cdot 1000t + 180^\circ) \text{ [V]} \end{aligned}$$



© The circuit is shown below

3



$$V_{CC} - 0 = I_E (R_3 + R_4) + V_{EB}$$

$$15 = (\beta + 1) (R_3 + R_4) I_B + 0.7$$

$$14.3 = 101 \cdot 7.17 I_B$$

$$I_B = 19.746 \cdot 10^{-3} A$$



$$I_C = \beta I_B = 1.974 mA$$

$$I_E = (\beta + 1) I_B = 1.994 mA$$



$$V_{CC} - V_{EE} = I_E \cdot (R_3 + R_4) + V_{EC} + I_C \cdot R_5$$

$$15 - (-15) = 1.994 \cdot 7.17 + V_{EC} + 1.974 \cdot 2.2$$

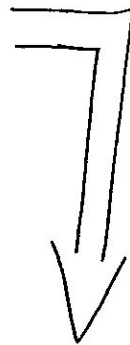
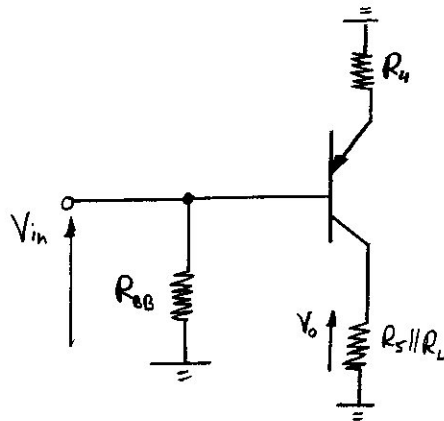
$$30 = 14.3 + V_{EC} + 4.343$$

$$V_{EC} = 11.357V$$



$$(V_{EC}, I_c) = (11.357V, 1.974mA),,$$

②



$$\textcircled{c} \quad V_o = -(R_5 || R_L) h_{fe} \cdot i_b =$$

$$= -1.8 \cdot 100 i_b = -180 i_b$$

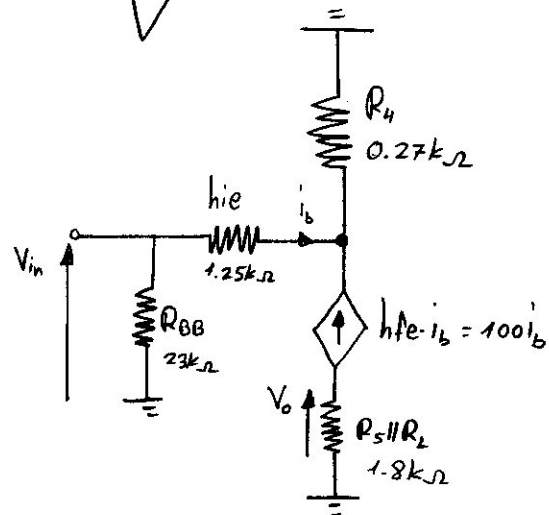
$$V_{in} = h_{ie} \cdot i_b + (h_{fe} + 1) i_b \cdot R_4 =$$

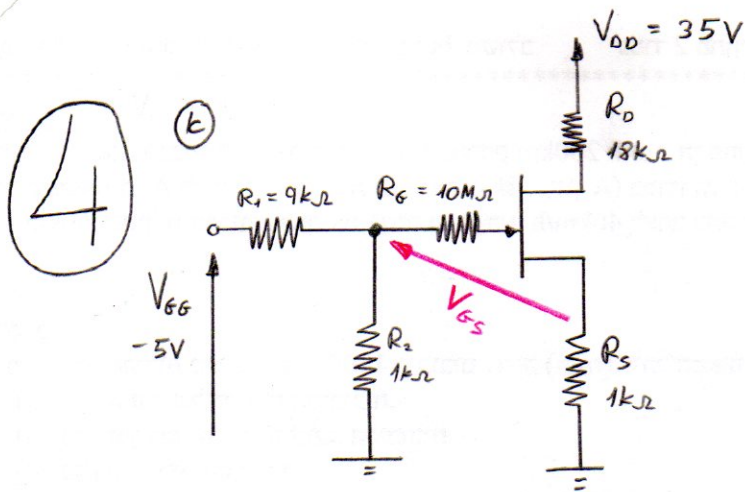
$$= 1.25 i_b + 101 \cdot 0.27 i_b =$$

$$= 28.52 i_b$$



$$A_v = \frac{V_o}{V_{in}} = \frac{-180 i_b}{28.52 i_b} = -6.311,,$$





$$V_{GS} = V_G - V_S \longrightarrow V_S = I_D \cdot R_S = 1 \cdot I_D = I_D$$

$$V_G = V_{GG} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} = -5 \cdot \frac{1}{1+9} = -0.5V$$

$\Downarrow$

$$V_{GS} = -0.5 - I_D$$

$$I_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P} \right)^2$$

$$I_D = 6 \cdot \left(1 - \frac{-0.5 - I_D}{-4} \right)^2$$

$$I_D = 6 \cdot \left(1 - \frac{0.5 + I_D}{4} \right)^2$$

$$I_D = \begin{cases} 8.166 \text{ mA} > I_{DSS} \\ 1.5 \text{ mA} < I_{DSS} \checkmark \end{cases}$$

$\Downarrow$

$$I_D = 1.5 \text{ mA},$$

$$V_{GS} = -0.5 - I_D = -2V,$$

$$V_{DD} = (R_D + R_S) I_D + V_{DS}$$

$$35 = (18 + 1) \cdot 1.5 + V_{DS}$$

$$V_{DS} = 6.5V,$$

$\Rightarrow$

$$V_{GS} = -2V$$

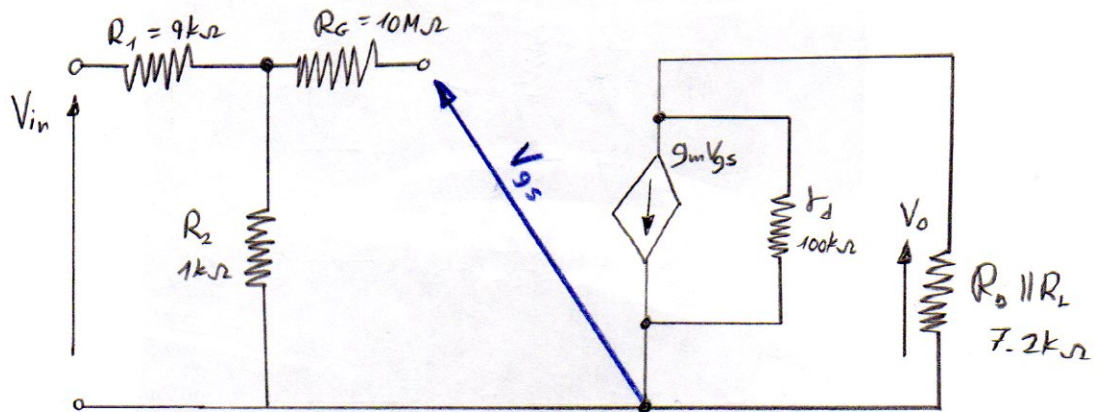
$$V_{DS} = 6.5V$$

$$I_D = 1.5 \text{ mA}$$

$\Downarrow$



$$\textcircled{2} \quad g_m = \frac{2I_{DSS}}{|V_p|} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_p}\right) = \frac{2 \cdot 6}{4} \left(1 - \frac{-2}{+4}\right) = 3 \cdot 0.5 = 1.5 \text{ mS}$$



$$\begin{aligned} \textcircled{2} \quad V_o &= -g_m V_{GS} \cdot \frac{r_d}{r_d + (R_o || R_L)} \cdot (R_o || R_L) = \\ &= -1.5 V_{GS} \cdot \frac{100}{100 + 7.2} \cdot 7.2 = -10.074 V_{GS} \end{aligned}$$

$$V_{GS} = V_{in} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} = \frac{1}{1+9} V_{in} = 0.1 V_{in}$$

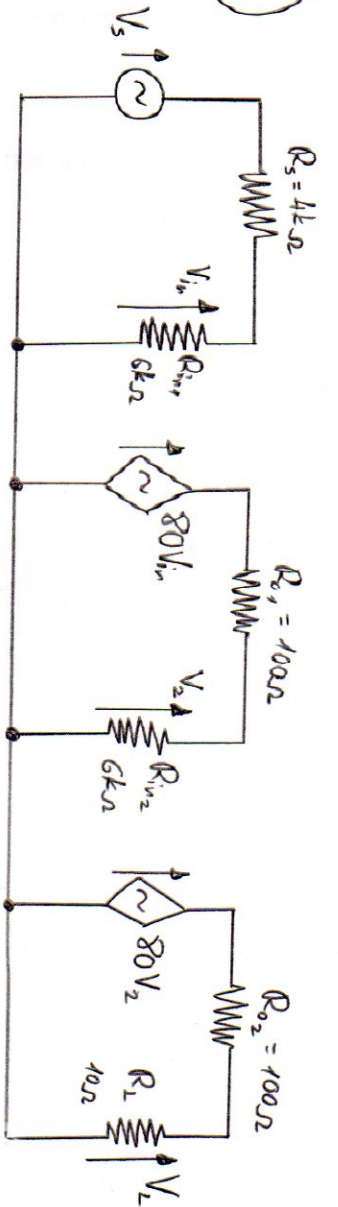


$$V_o = -10.074 V_{GS} = -10.074 \cdot 0.1 V_{in} = -1.007 V_{in}$$



$$A_v = \frac{V_o}{V_{in}} \approx \frac{-V_{in}}{V_{in}} = -1_{//}$$

5



$$V_L = 80V_2 \cdot \frac{R_L}{R_L + R_{o2}} = 80 \cdot \frac{10}{110} V_2 = 7.272V_2$$

$$V_2 = 80V_{in} \cdot \frac{R_{in2}}{R_{in2} + R_{o2}} = 80 \cdot \frac{6000}{6100} V_{in} = 78.688V_{in}$$

$$V_{in} = V_s \cdot \frac{R_{in1}}{R_s + R_{in1}} = \frac{6}{10} V_s = 0.6V_s$$

$\Downarrow$

$$V_L = 7.272 \cdot 78.688 \cdot 0.6V_s = 343.333V_s = 343.333 \cdot 3 = 1030mV \approx 1V$$

$\Downarrow$

$$A_V = \frac{V_L}{V_s} = 343.333$$

$$\textcircled{2} I_L = \frac{V_L}{R_L} = \frac{343.333V_s}{10} = 34.333V_s$$

$$I_s = I_{in} = \frac{V_s}{R_s + R_{in1}} = \frac{V_s}{4000 + 6000} = 100 \cdot 10^{-6} V_s$$

$\Downarrow$

$$A_I = \frac{I_L}{I_s} = \frac{34.333V_s}{100 \cdot 10^{-6} V_s} = 343.333 \cdot 10^3$$

$\Downarrow$

$$A_P = A_V \cdot A_I = 343.333 \cdot 343.333 \cdot 10^3 = 117.877 \cdot 10^6$$

$$A_P [dB] = 10 \log |A_P| = 80.74dB$$

mean 2132 P2 Ap we can get

$$A_P = \frac{P_L}{P_{in}} = \frac{\frac{V_L^2}{R_L}}{\frac{V_s^2}{R_s + R_{in1}}} = \frac{V_L^2}{V_s^2} \cdot \frac{R_s + R_{in1}}{R_L} =$$

$$= \left(\frac{V_L}{V_s}\right)^2 \cdot \frac{R_s + R_{in1}}{R_L} = A_V^2 \cdot \frac{R_{in1}}{R_L} = 117.877 \cdot 10^6$$

2. 722N

$$V_{in2} = V_z = 141.64 \text{ mV}$$

$\Downarrow$

$$P_{in2} = P_{o1} = 3.343 \mu\text{W}$$

$$V_{o2} = V_L = 80 \text{ mV} \cdot \frac{R_L}{R_L + R_{o2}} = 80 \cdot 141.64 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{10}{10 + 100} = 1.03 \text{ V} \approx 1 \text{ V}$$

$\Downarrow$

$$P_{o2} = P_{R_L} = \frac{V_L^2}{R_L} = \frac{1^2}{10} = 0.1 \text{ W}$$

1. 722N

(2)

$$V_{in1} = V_s \cdot \frac{R_{in1}}{R_s + R_{in1}} = 3 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{6}{6 + 4} = 1.8 \text{ mV}$$

$\Downarrow$

$$P_{in1} = \frac{V_{in1}^2}{R_{in1}} = \frac{(1.8 \cdot 10^{-3})^2}{6} = 0.54 \text{ nW}$$

$$V_{o1} = V_z = 80 \text{ mV} \cdot \frac{R_{in2}}{R_{in2} + R_{o1}} = 80 \cdot 1.8 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{6000}{6100} = 141.64 \text{ mV}$$

$\Downarrow$

$$P_{o1} = \frac{V_z^2}{R_{in2}} = \frac{(141.64 \cdot 10^{-3})^2}{6} = 3.343 \mu\text{W}$$

6

המשולב הוא מסוג זרם-זרם או במסלול האחר זרם-מקבילי.

הסבר: אנו צוברים באמצעות I_0 , שהוא חלק ממקור הזרם

ו.א.א. מכיוון שמתן לנו ש- ו.א.א הוא מקור זרם, הצגנוהו
ממנו חייבים להיות במקביל.

ניתן לראות בפעולת שבמבוא, רשת הענף מחברת
במקביל בק שמוכח להפסיד זרם הזמין באמצע זרם
KCL (במקביל אחרת: יש צומת = יש התנה זרם).

נציב עכ"ה האלמנטים שאופיז במסמלון ביחידות 62-64:

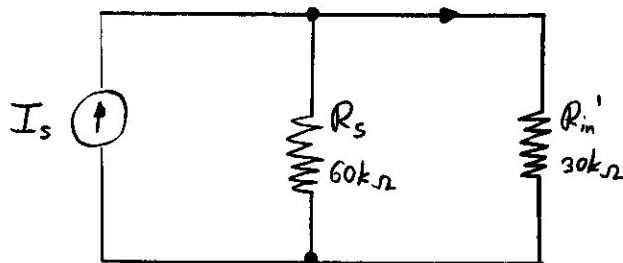
חשב את הזמנת רשת הענף במבוא האמצע:
[2] במשולב הזרם זרם, פתח את חוט המוצא.

יש לנתק את החוט בו זרם I_0

$$I_0 = 0$$

מקור הזרם $0.1 I_0$ לא יהיה פעיל, ונקבע את הזמנת הבא:

$$i_{in} = I_0$$



הזמנת רשת הענף במבוא מתבטאת בהתנגדות אגוסיות (נחק), שאוקף
בתקופות החיבור של מקור הזרם $0.1 I_0$, ולכן נקבע $i_{in} = I_0$.

חשב את הזמנת רשת הענף באמצע:

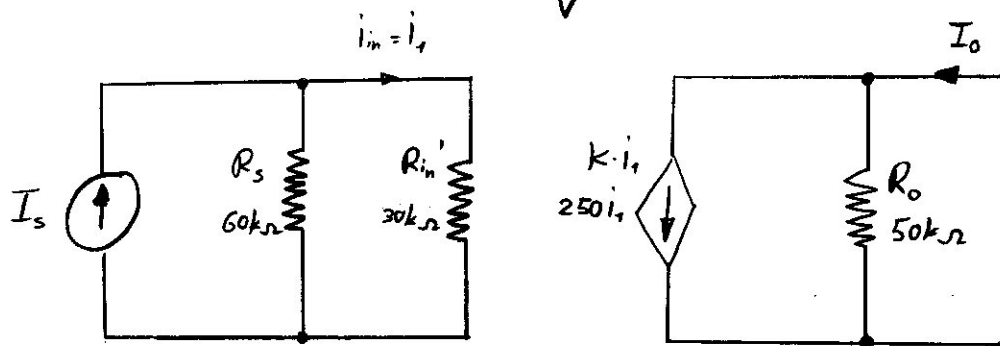
[2] במשולב שמתני זרם לאבטא, קצרר להאקרה את הצומת בו מתחברת
רשת הענף.



נ"תן לחסוך את שלב זה מבין שבתחילת כל רשת המשוב אינה פנויה מרשת עצים סלעולית, ואלא מחקור זרם תלוי וחול קצר, שאין בינהם חלוקה חשמלית ישיר, ולכן נ"תן לראות רשת המשוב כא מחזיקה זרם מוגבל המוצא.

[3] שרול את המוגבל על רשת המשוב, אך בהתחשב בהזמנת רשת המשוב במקביל ובמוצא.

[2] נורולן במקביל.



[ה] בהתאם לסוג המשוב, חשב את A:

$$I_o = k i_1 = 250 i_1$$

$$i_1 = I_s \frac{R_s}{R_s + R_{in}} = \frac{60}{30 + 60} I_s = \frac{2}{3} I_s$$

$$I_o = 250 i_1 = 250 \cdot \frac{2}{3} I_s = 166.666 I_s$$

$$A = \frac{I_o}{I_s} = 166.666$$

ד) נשקף עצמית כדי הנאמר בנוסחאות:

1) בהתאם לסוג המשוב, תשוב את לורס המשוב β



קדם מאיזו ערואת $I_f = 0.1 I_o$, ולכן:

$$\beta = \frac{I_f}{I_o} = \frac{0.1 I_o}{I_o} = 0.1$$



2) תשוב את לורס א-ה' (D):

$$D = 1 + \beta \cdot A = 1 + 0.1 \cdot 166.666 = 17.666$$



3) תשוב את ההגברה:

$$A_f = \frac{A}{D} = \frac{166.666}{17.666} = 9.433$$

3) כדי האבאה שבמאיז 62 בנוסחאות נקבע:

$$R_{inf} = \frac{R_{in}}{D}$$

כאשר R_{in} היא לא ההתנגדות שמופיעה במקביל ל- I_s , אלא הכוללת להתנגדות המואת הכוללת של המואת אלא משוב, בהתאם בהתאמת רשת המשוב.

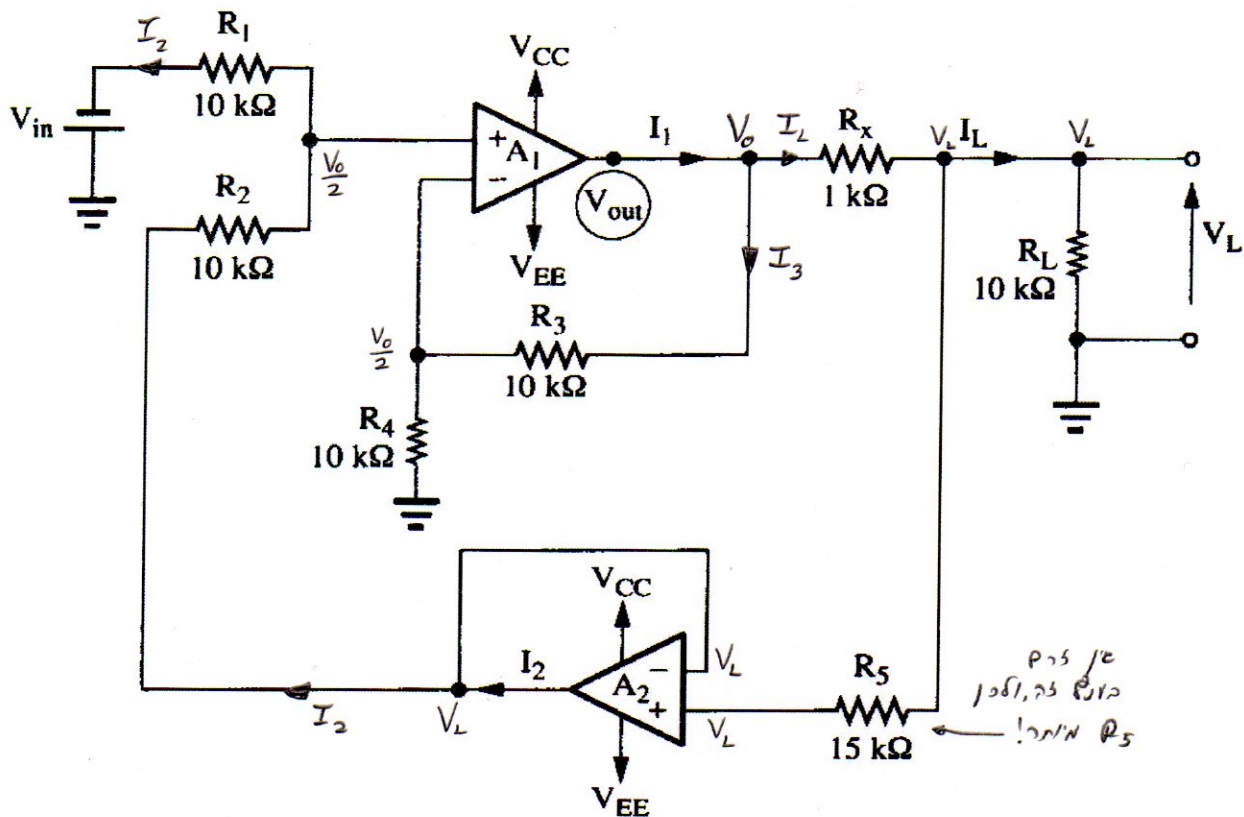


$$R_{in} = R_s \parallel R_{in}' = 30 \parallel 60 = 20 \text{ ק}\Omega$$



$$R_{inf} = \frac{20}{17.666} = 1.132 \text{ ק}\Omega$$

בצורך כאלה המשוב של β , מקבלת זרם של, אך זאת בתנאי ש-A נש שלם. במידה של A ידוע, וכן ה- β . כל זאת כדי הבאם שח"ב מתקיים $\beta A > 0$



① $I_2 = I_2$

$$\frac{V_L - \frac{V_o}{2}}{R_2} = \frac{\frac{V_o}{2} - V_{in}}{R_1}$$

$$\frac{V_L - \frac{V_o}{2}}{10} = \frac{\frac{V_o}{2} - (-1)}{10}$$

$$\boxed{V_L = V_o + 1}$$

$I_L = I_L$

$$\frac{V_o - V_L}{R_x} = \frac{V_L - 0}{R_L}$$

$$\frac{V_o - V_L}{1} = \frac{V_L}{10}$$

$$V_o = V_L + 0.1V_L$$

$$\boxed{V_o = 1.1V_L} \Rightarrow V_L = \frac{V_o}{1.1}$$



$$V_L = 1.1V_L + 1$$

$$-0.1V_L = 1$$

$$\boxed{V_L = -10V} \Rightarrow V_o = -11V$$

$$\textcircled{2} I_1 = I_L + I_3 =$$

$$= \frac{V_0 - V_L}{R_x} + \frac{V_0 - \frac{V_0}{2}}{R_3} =$$

$$= \frac{-11 + 10}{1} + \frac{-11 + 5.5}{10} = -1 - 0.55 = -1.55 \text{ mA},$$

$$\textcircled{d} I_2 = \frac{V_L - \frac{V_0}{2}}{R_2} = \frac{-10 + 5.5}{10} = -0.45 \text{ mA},$$

③ אסור שמתח הכניסה לאמצעית שרת ישרים אחר אחרים אחרים (הן חלופות יין שלפני).

אם נחזיק את A_2 נראה שהוא מתקרב כחוצץ (= אמצע חלופה), ולכן צריך להפחית שמתח הכניסה שלו (V_L) לא יחזיק את הגבולות $14V$ ו- $-13V$.

אם לא A_2 מאריך אתנו, אלא A_1 , כי הוא החלופה החלפה באמצע, שהיא V_{in} מוצגת, ואת צביר V_{in} יחסית קלן אתו עלולים לקבל אחת חלופה.

השליש נמצא את הקשר בין מוצא A_1 (V_0) ו- V_{in} :

$$I_1 = I_2$$

$$\frac{V_L - \frac{V_0}{2}}{R_2} = \frac{\frac{V_0}{2} - V_{in}}{R_1}$$

$$\frac{V_L - \frac{V_0}{2}}{10} = \frac{\frac{V_0}{2} - V_{in}}{10}$$

$$V_{in} = V_0 - V_L = V_0 - \frac{V_0}{1.1} = V_0 \left(1 - \frac{1}{1.1}\right) = \frac{V_0}{11}$$

$$V_{in} = \frac{V_0}{11}$$

כעת נציב את צרכי החלופה ב- V_0 ונמצא את צרכי ה- V_{in} האפשריים:

$$V_{in} = \frac{V_0}{11} = \frac{V_0 = 14V}{11} = 1.272V,$$

$$V_{in} = \frac{V_0}{11} = \frac{V_0 = -13}{11} = -1.181V,$$

⑦ $I_L = 1 \text{ mA}$

↓

$$V_L = I_L \cdot R_L = 1 \cdot 10 = 10V$$

$$I_L = \frac{V_0 - V_L}{R_x}$$

$$1 = \frac{V_{CC} - 10}{R_x}$$

$$1 = \frac{14 - 10}{R_x}$$

$$R_{x_{\max}} = 4k\Omega_{II}$$

8

$$I_{E1} = I_{E2} = 2 \text{ mA}$$

$$I_{B1} = I_{B2} = \frac{I_{E1}}{\beta + 1} = \frac{2}{241} = 8.3 \cdot 10^{-3} \text{ mA}$$

$$I_{C1} = I_{C2} = \beta I_{B1} = 240 \cdot 8.3 \cdot 10^{-3} = 2 \text{ mA}$$

אפשר היה לראות מידע $I_C = I_E$ - עכ"ל, מכיוון $\beta \gg 1$, נכנסה מילה, וזוהי $I_E = I_C + I_B$ והוא I_B הפחות.

$$I_{R_{C1}} = I_{C1} + I_{R_L} = 2 + \frac{V_{C1}}{R_L} = 2.25 \text{ mA} \Rightarrow R_{C1} = \frac{V_{CC} - V_{C1}}{I_{R_{C1}}} = \frac{5 - 2.5}{2.25} = 1.111 \text{ k}\Omega$$

$$R_{C2} = \frac{V_{CC} - V_{C2}}{I_{C2}} = \frac{5 - 2.5}{2} = 1.25 \text{ k}\Omega$$

$$U_{RE} = V_E - V_{EE} = -0.7 - (-5) = 4.3 \text{ V}$$

$$I_{RE} = 2 I_E = 2 \cdot 2 = 4 \text{ mA}$$

$$R_E = \frac{U_{RE}}{I_{RE}} = \frac{4.3}{4} = 1.075 \text{ k}\Omega$$

2) נניח שכל A_v ב-3 יציאות:

[1] הבה נראה במסגרת שמופיעה במסגרת במסגרת:

ע"פ מ"ל נראה שיש קשר בין A_v לבין A_{d1}

$$A_{d1} = \frac{h_{fe} \cdot R_{C1}}{2(R_s + h_{ie})} = \frac{240 \cdot (R_{C1} \parallel R_L)}{2(0 + 3.12)} = \frac{240 \cdot 1}{2 \cdot 3.12} = 38.461$$

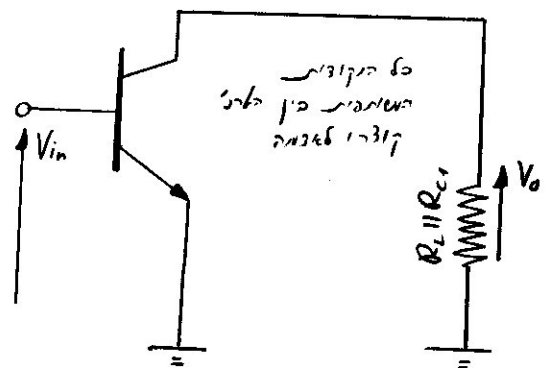
[2] נניח שיש A_v ב-3 יציאות:

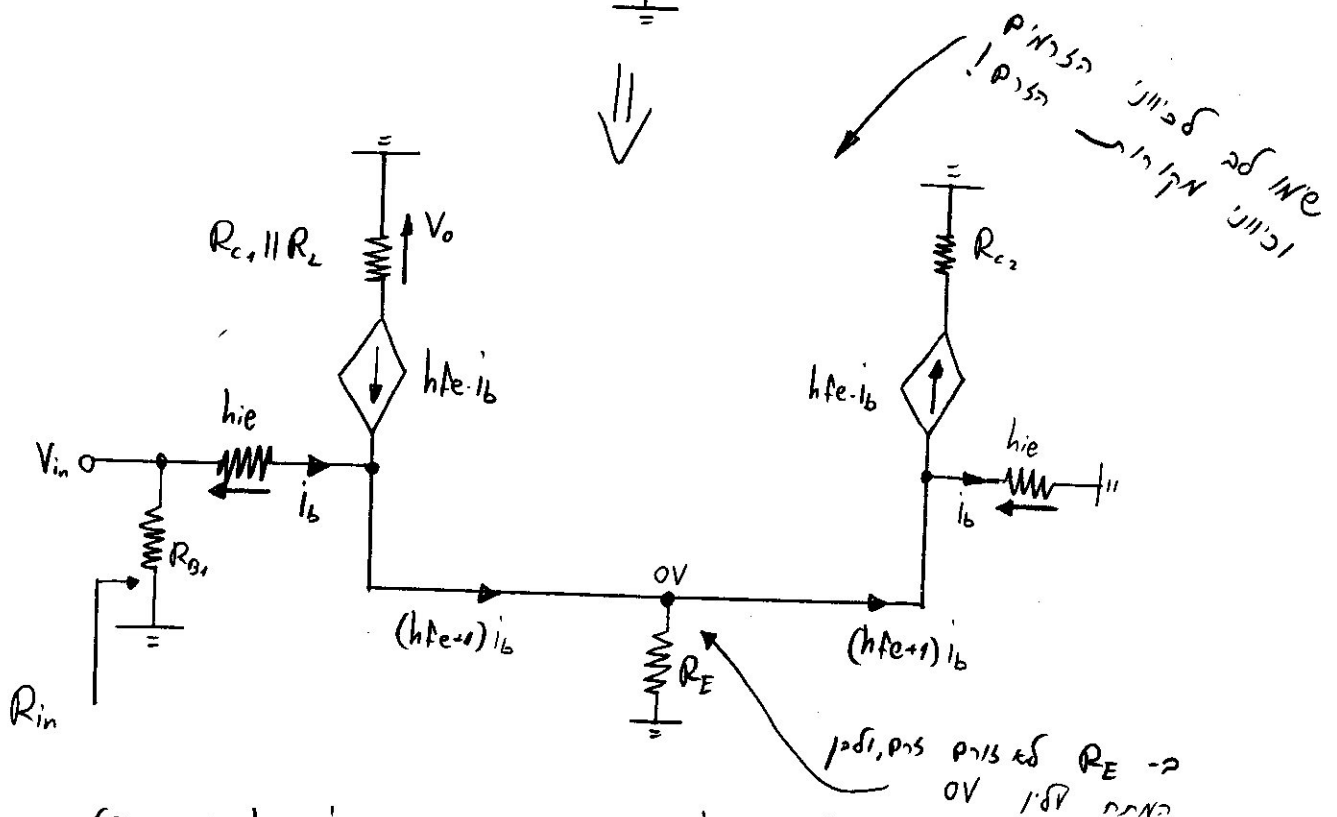
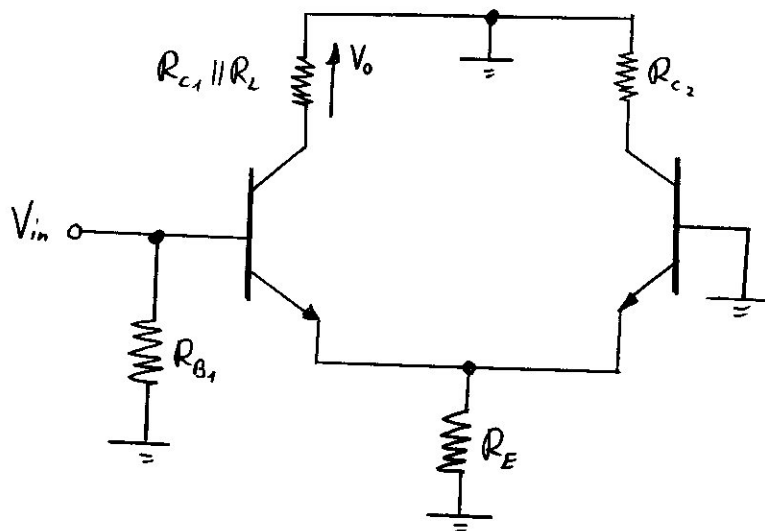
$$V_o = -h_{fe} \cdot i_b \cdot (R_L \parallel R_{C1})$$

$$V_{in} = i_b \cdot h_{ie}$$

$$A_d' = \frac{-h_{fe} (R_L \parallel R_{C1})}{h_{ie}} \cdot \frac{i_b}{i_b} = \frac{-h_{fe} (R_L \parallel R_{C1})}{h_{ie}}$$

$$A_d = \left| \frac{A_d'}{2} \right| = \frac{h_{fe} (R_L \parallel R_{C1})}{2 h_{ie}} = \frac{240 \cdot 1}{2 \cdot 3.12} = 38.461$$





$$V_o = -(R_{C1} \parallel R_L) \cdot h_{fe} \cdot I_b$$

$$V_{in} = I_b \cdot h_{ie} + I_b \cdot h_{ie} = 2 I_b \cdot h_{ie}$$

$$A_d = \left| \frac{V_o}{V_{in}} \right| = \frac{h_{fe} \cdot (R_{C1} \parallel R_L)}{2 h_{ie}} \cdot \frac{I_b}{I_b} = 38.461$$

$$\textcircled{d} R_{in} = R_{B1} \parallel 2 h_{ie} = 10 \parallel 6.24 = 3.842 \text{ k}\Omega$$