

בס"ד, לק"י

פתרון מבחן מה"ט

אלקטרוניקה

תקבילית

קיץ 2011

פתר: אבי יומטוביאן

©

כל הזכויות שמורות

מחשבים את מתח הסדרה E_{TH} ואת ההתנגדות R_{TH} של מקור הוולטג'ים הנראה מהמסלול.

1

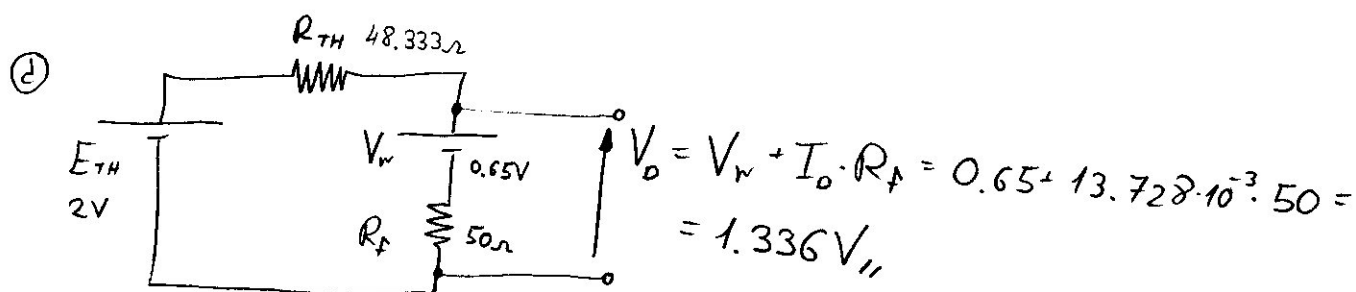
$$E_{TH} = U_{R_2} = E \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 12 \cdot \frac{10}{10 + 50} = 2V$$

$$R_{TH} = (R_1 \parallel R_2) + R_3 + R_4 = (10 \parallel 50) + 40 = 48.333 \Omega$$



$$① \quad I_D = \frac{E_{TH}}{R_{TH}} = 41.38 \text{ mA}$$

$$② \quad I_D = \frac{E_{TH} - V_T}{R_{TH}} = 27.931 \text{ mA}$$



$$I_D = \frac{E_{TH} - V_T}{R_{TH} + R_F} = 13.728 \text{ mA}$$

$$③ \quad I_D = \frac{U_{R_3}}{R_3} = \frac{0.7}{20} = 35 \text{ mA}$$

המתח על R_3 הוא 0.7V



$$V_D = \eta \cdot V_T \cdot \ln \left(\frac{I_D}{I_0} + 1 \right) =$$

$$= 1 \cdot 25 \cdot 10^{-3} \cdot \ln \left(\frac{35 \cdot 10^{-3}}{5 \cdot 10^{-12}} + 1 \right) = 0.566V = 566.73 \text{ mV}$$

2

$$V_{BE} = V_B - V_E$$

$$0.7 = 0 - V_E$$

$$V_E = -0.7V$$

⇓

$$V_{CE} = V_C - V_E = V_A - V_E = 1.8 - (-0.7) = 2.5V$$

$$I_E = \frac{V_E - V_{EE}}{R_E} = \frac{-0.7 - (-10)}{8.6} = 1.0814mA$$

⇓

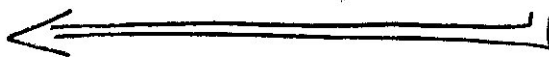
$$I_C = \frac{\beta}{\beta+1} \cdot I_E = 1.07mA \Rightarrow I_D = I_C = 1.07mA$$

⇓

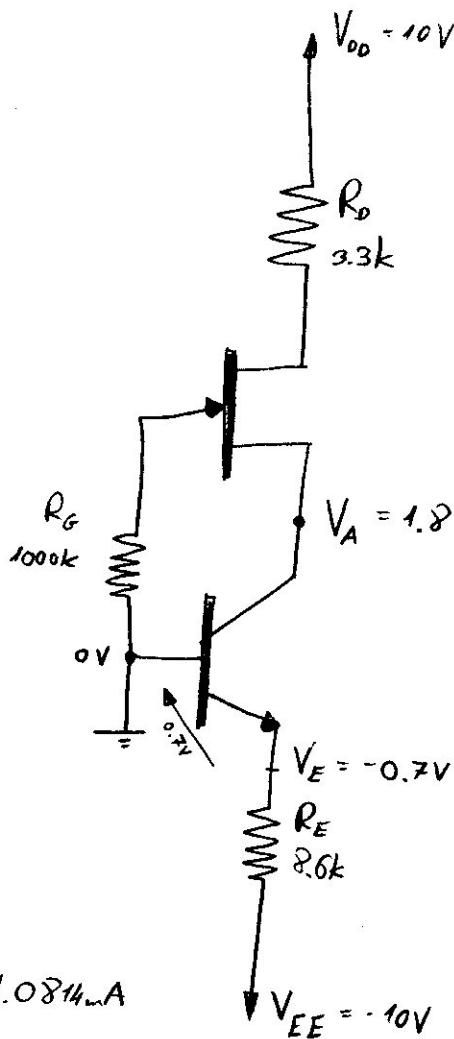
$$V_{R_D} = V_{DD} - V_D$$

$$3.555 = 10 - V_D$$

$$V_{R_D} = I_D \cdot R_D = 3.533V$$



$$V_D = 6.466V \Rightarrow V_{DS} = V_D - V_S = V_D - V_A = 6.466 - 1.8 = 4.666V$$



התוצאות

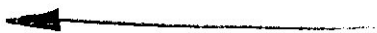
$$I_C = 1.07mA$$

$$V_{CE} = 2.5V$$

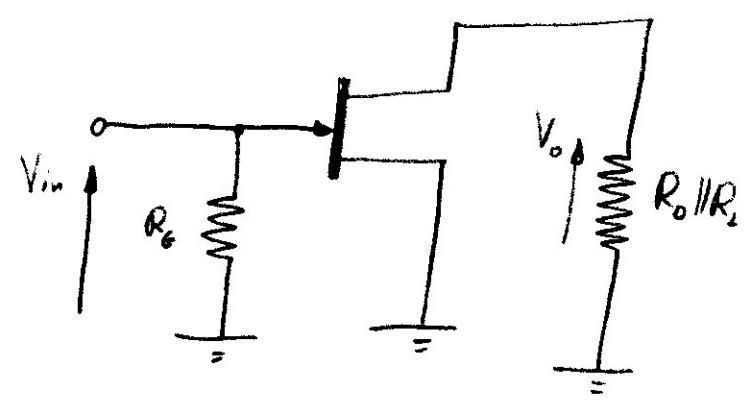
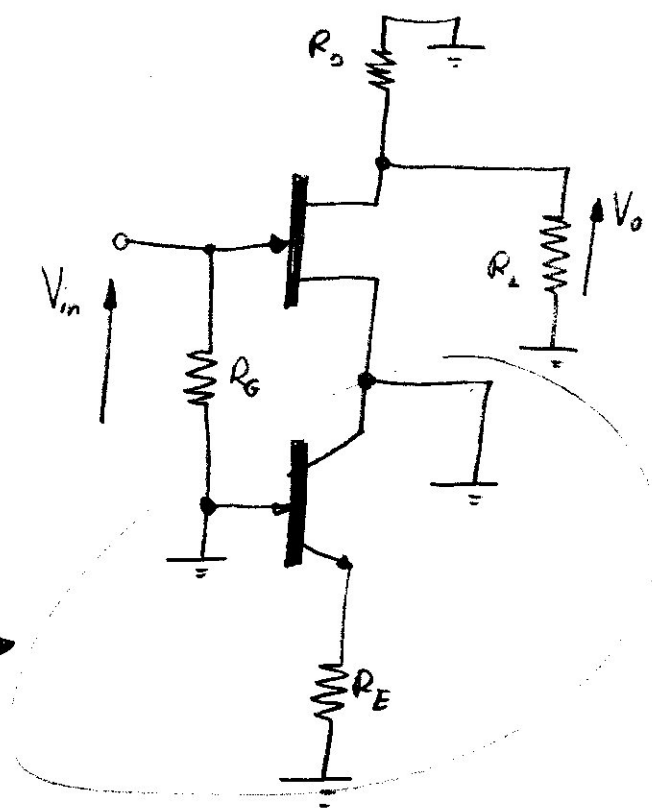
$$I_D = 1.07mA$$

$$V_{DS} = 4.666V$$

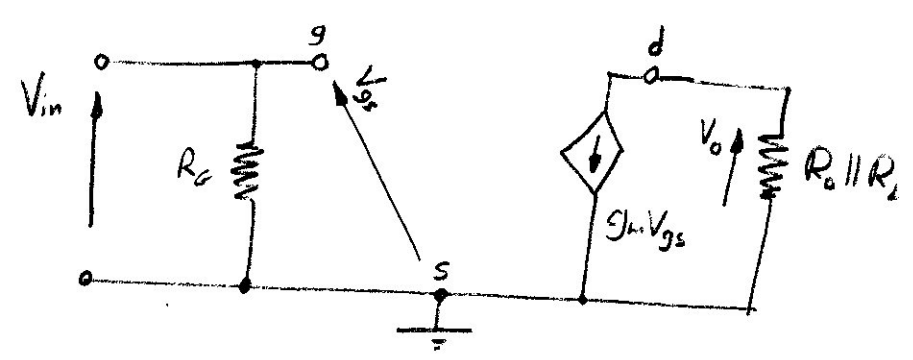
AC: הוצאת פארוק, פארוק, פארוק



نموذج لـ $1\mu31\mu$



$$r_d \rightarrow \infty$$



②

$$g_m = \frac{2I_{oss}}{|V_p|} \sqrt{\frac{I_0}{I_{oss}}}$$

צריך ח' של החברה י
לכאורה ג' של החברה
הבאה

DC -7- מ' של החברה ל' של החברה V_p מ' של החברה ל' של החברה I_0 מ' של החברה

$$I_0 = I_{oss} \cdot \left[1 - \frac{V_{gs}}{V_p} \right]^2$$

$$1.07 = 10 \left[1 - \frac{V_{gs} - V_s}{V_p} \right]^2$$

$$0.107 = \left[1 - \frac{0 - 1.8}{V_p} \right]^2$$

$$0.107 = \left[1 + \frac{1.8}{V_p} \right]^2$$

$$V_p = \begin{cases} -1.356V > V_{gs} = -1.8V \\ -2.675 < V_{gs} = -1.8V \end{cases} \checkmark$$

$$g_m = \frac{2 \cdot 10}{2.675} \cdot \sqrt{\frac{1.07}{10}} = 2.445 \text{ mS}$$

$$V_o = -g_m V_{gs} \cdot (R_L \parallel R_D) = -2.445 \cdot (3.3 \parallel 18) V_{gs} = -6.818 V_{gs}$$

$$V_{in} = V_{gs}$$

$$A_v = \frac{V_o}{V_{in}} = \frac{-6.818 V_{gs}}{V_{gs}} = -6.818$$

③ נמצא את A_2 מתוך 3 משוואות כמערכת משוואות, נפתור:

$$V_{02} = -\frac{R_4}{R_5} \cdot E_2$$

$\Downarrow$

$$I_0 = I_{E_1} + I_{R_3} = \frac{E_1 - 0}{R_1} + \frac{V_{02} - 0}{R_3} = \frac{E_1}{R_1} + \frac{-\frac{R_4}{R_5} \cdot E_2}{R_3} =$$

$$= \frac{E_1}{R_1} - \frac{R_4 E_2}{R_3 R_5} \Rightarrow V_0 = -R_2 \cdot I_0 =$$

$$= -\frac{R_2}{R_1} E_1 + \frac{R_4 R_2}{R_3 R_5} E_2 //$$

נניח שיש לנו מעגל חשמלי כזה V_0 ו- E_1 ו- E_2 הם מקורות מתח, R_1, R_2, R_3, R_4, R_5 הם ערכי התנגדות.

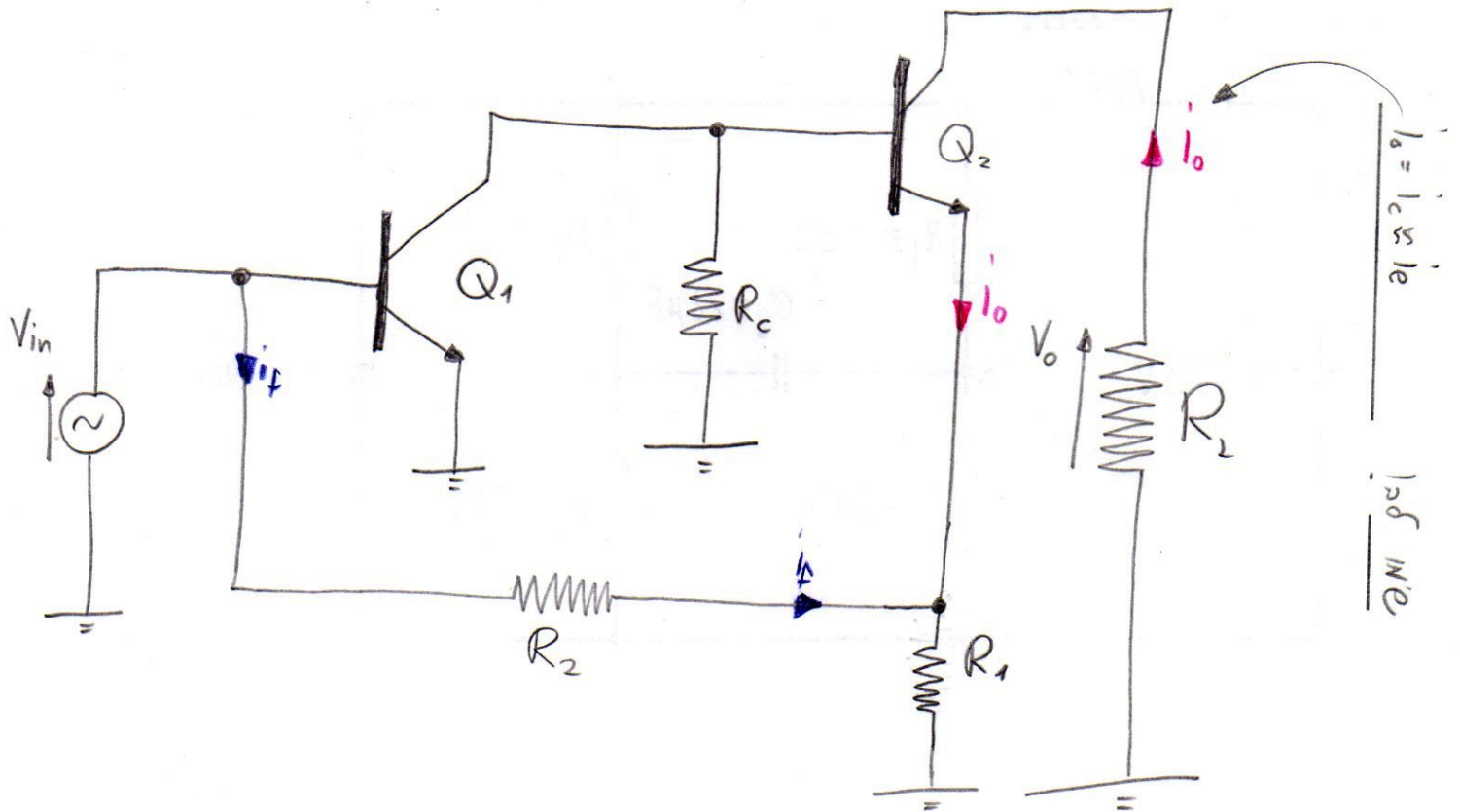
$\Downarrow$

$$② V_0 = -75 \frac{100}{100} + 100 \frac{10 \cdot 100}{10 \cdot 10} = 925 \text{ mV} //$$

4

Ⓐ כפי שהצגנו לנו, ק"פ כן משוב מקביל - לוי, כמות צמיחה זרם
 I_0 במוצא הציור לוחית, וחזית למקט הציור מקביל עם מנת
 שמים זו ישנה את הזרם שרכס בפועל למקט, וז"ל כן נחשב
 את מקט המשוב השלילי.

נתבונן על המודל עבור אמת AC, וננסה להציג בוחרת עצמנו למסקנה
 צמצם (משוב PISO).



במחצית זמן ז'קרון סופר - מוצ'ציה נבחרה את סוג המשוב:

Ⓐ צורה הצמיחה

• אם נקצר את מנת המוצא למחצה ע"י ק'צור R_2 , צב"ן 'זרם I_0 לכיוון R_1 $\Leftarrow$
 $\Leftarrow$ המשוב ק"פ.

• אם ננתק את זרם המוצא ע"י נתיק R_2 , לא 'זרם זרם ב- R_1 $\Leftarrow$ המשוב התבטא!



הצמיחה במוצא היא צמיחה (לוחית) P_{out}

צ'ה' החזרה

ניתן לראות בפעולה שבבסיס (בסיס Q_1) נוצר זרם I_1 .
חלוקה R_2 במחלק שזה חל חתך קירבה לזרם (אלא)

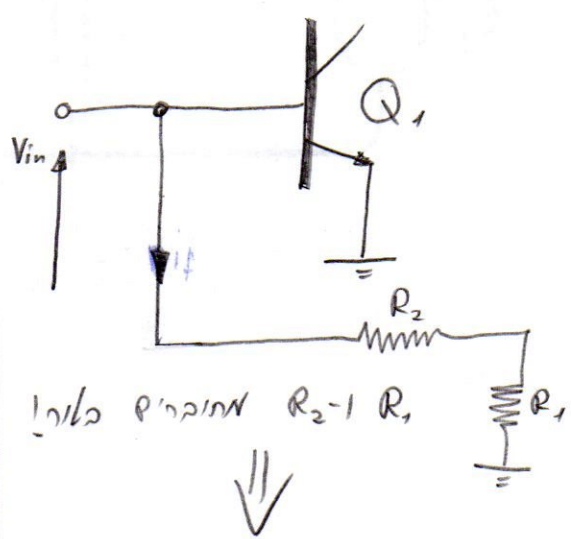


ההחזרה במקום היא החזרה לרס (מקביל)



מחלק מקב

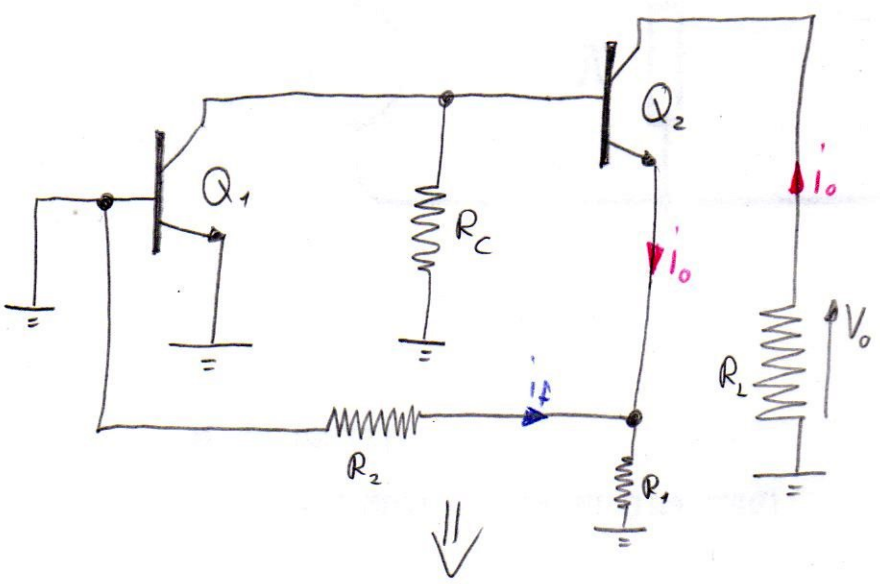
לפי האמירה לעיל, נחלק את זרם המוצא I_1 נחלק R_2 , וזה נקבע את המוצא הבא:



הזרם רחב השלב במבוא:
 $R_1 + R_2$ בין הבסיס של Q_1 לזמנה.

מוצא מוצא

לפי האמירה לעיל, צ'ה' בקלות שיש לנו החזרת זרם לעומת, ולכן בקצ' לראות את הפעולה השונה של המוצא, נשתק את V_{in} , כמראה נקצה אתה ונקבע:



הזרם רחב השלב במבוא:
 $R_1 || R_2$ בין V_{in} לזמנה Q_2 לזמנה.



ניתן לראות שבמוצא המוצא מק'ר השלב, וזמנה נחלק לזמנה את β (השלב) β .

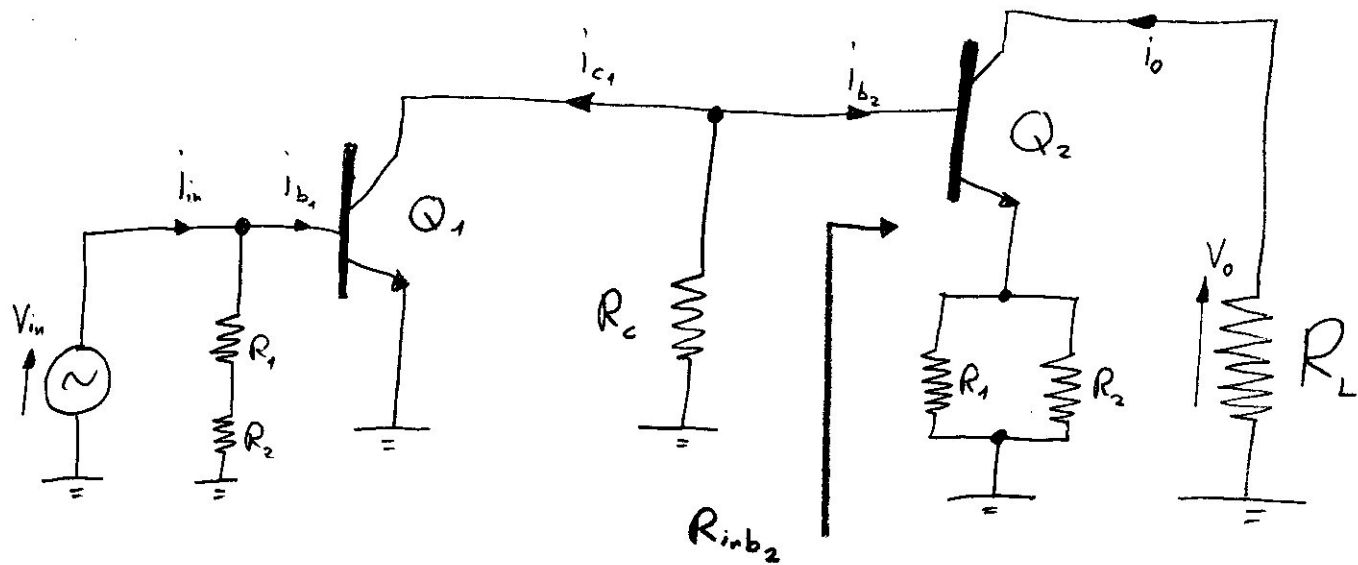
$$\beta \stackrel{\text{def}}{=} \frac{I_1}{I_0} = \frac{I_1}{I_0} = - \frac{R_1}{R_1 - R_2}$$

זהו מחלק זרם "שלי", כמראה זו זרם בכיוון ההפוך לזה שהוא אמר להיות, וכן שכן נכנס לזרם במחלק זרם.

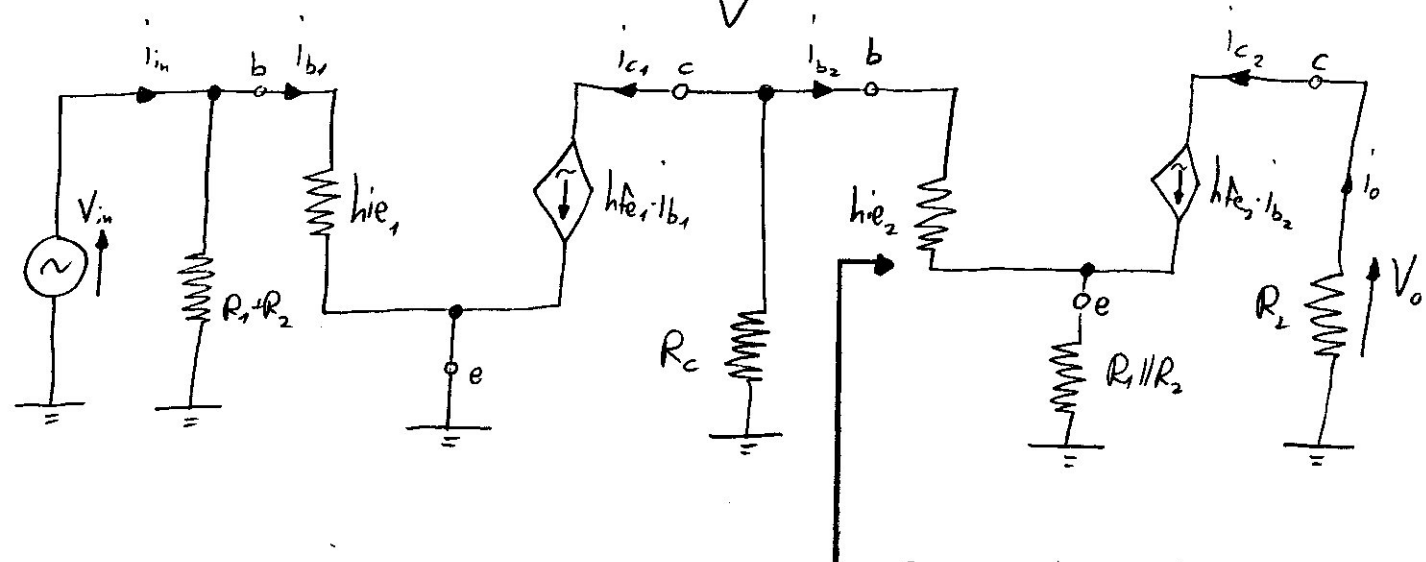
② הנחה: כל צורך שלול מוצג בתמונה עבור סוג השדה הנ"ל, יש להפיק את מקור המתח במבט למקור R_c .

בא צקא, V_{in} נתון על ידי התנגדות פנימית (המקור מזה אצאע), ולכן לא ניתן להמיר אותו למקור זרם.

מכאן מקור, נוסח לשלול ולפתור את המצב בנתון הבדלי הנ"ל.



R_{inb2}



$$R_{inb2} = hie_2 + (R_1 \parallel R_2)(hfe_2 + 1)$$

① $I_o = hfe_2 \cdot I_{b2}$

$I_{b2} = -I_{c1} \frac{R_c}{R_c + R_{inb2}} = -hfe_1 \frac{R_c}{R_c + R_{inb2}} \cdot I_{b1}$

$I_{b1} = \frac{V_{in}}{hie_1}$





$$i_o = h_{fe_2} \left(-h_{fe_1} \frac{R_c}{R_c + R_{in_b}} \right) \cdot \frac{V_{in}}{h_{ie_1}}$$

$$i_{in} = \frac{V_{in}}{R_1 + R_2} + \frac{V_{in}}{h_{ie_1}} = V_{in} \left(\frac{1}{R_1 + R_2} + \frac{1}{h_{ie_1}} \right) = V_{in} \frac{R_1 + R_2 + h_{ie_1}}{(R_1 + R_2) h_{ie_1}}$$



$A_{I \text{ o.L.}}$ open loop

$$= \frac{i_o}{i_{in}} = -h_{fe_2} \cdot h_{fe_1} \frac{R_c \cdot V_{in}}{(R_c + R_{in_b}) h_{ie_1}} \cdot \frac{(R_1 + R_2) h_{ie_1}}{(R_1 + R_2 + h_{ie_1}) V_{in}} =$$

$$= -h_{fe_2} \cdot h_{fe_1} \cdot \frac{R_c}{R_c + [h_{ie_2} + (R_1 || R_2)(h_{fe_2} + 1)]} \cdot \frac{R_1 + R_2}{R_1 + R_2 + h_{ie_1}} //$$

הצורה הזו היא בעצם הצורה הסטנדרטית של ה- $A_{I \text{ o.L.}}$ עבור תצורה כזו.

$$\frac{i_o}{i_{in}} = -h_{fe}^2 \frac{(R_1 + R_2) \cdot R_c}{(R_c + [h_{ie} + (R_1 || R_2)(h_{fe} + 1)]) \cdot (R_1 + R_2 + h_{ie})}$$

5) עברנו מסך אקל'בי, כלומר מלבד פונקציה סטן
תצרים בתחום מסוף, המענה שרת צואל אלהגור את התצרים
הרצו"פ.

מגבר שרת הופק מוסף

$$\textcircled{e} \quad A_{V(s)} = \frac{V_{O(s)}}{V_{in(s)}} = - \frac{Z_{2(s)}}{Z_{1(s)}} = - \frac{R_2}{X_C(s) + R_1} =$$

כלככר
מסוף
מסוף

$$s = j\omega$$

$$= - \frac{R_2}{\frac{1}{sC} + R_1}$$

כבר בשלב זה ניתן לזהות שפערנו מסך אקל'בי מסוף HPF, מכיוון
שצורה תצרים מסוף נקבע שהמכנה ישלם ∞ - ∞ , ובתוצאה מסך A_V יהיה
שוא לאפס.
מאצק צמר תצרים לבדוק, הקבע יתנה בקצרה, ואז A_V יהיה שוא $-\left(\frac{R_2}{R_1}\right)$.

$$\Downarrow$$

$$A_{V(s)} = \begin{matrix} s \rightarrow 0 & = 0 \\ s \rightarrow \infty & = -\frac{R_2}{R_1} \end{matrix} \Rightarrow \text{HPF}$$

כרת משק אברה את הבולוי של $A_{V(s)}$:

$$A_{V(s)} = - \frac{R_2}{\frac{1}{sC} + R_1} = - \frac{R_2}{\frac{1 + sR_1C}{sC}} = - \frac{sR_2C}{1 + sR_1C} //$$

אחרית שהצט אבולוי הרצו"פ, נסמך אסבר את הבולוי הנל אצורה קצת אחרת.
נחלק את המונה ואת המכנה ב- R_1 :

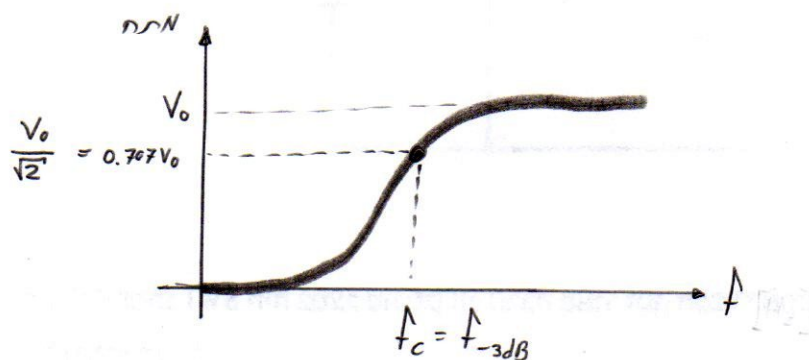
$$A_{V(s)} = - \frac{R_2}{\frac{1}{sC} + R_1} \cdot \frac{\frac{1}{R_1}}{\frac{1}{R_1}} = \frac{-R_2/R_1}{1 + \frac{1}{sR_1C}} =$$

$$= -\frac{R_2}{R_1} \cdot \frac{1}{1 + \frac{1}{sR_1C}}$$

חלק ההגבר. חלק
זה שני תלוי בתצורה!

(ב) חלק החסם, שניתן לראות e^{-s}
דפנוס מסת. HPF
[ז"ל בנסחאן ספרתי - 3/47 3/47]

(ג) תצורה -3dB - הוא תצורה מחצית ההספק, כלומר התצורה שגורו
נקבה עומת המוצא הוא 70.7% מהזרם שיתקבל זכור תצורה אחרים.



דקוטה רק שטר
חלק החסם, כי
זה שני תלוי בתצורה!

$$\left| \frac{1}{1 + \frac{1}{sR_1C}} \right| = \frac{1}{\sqrt{2}}$$

$$\left| \frac{1}{1 + \frac{1}{j\omega R_1C}} \right| = \frac{1}{\sqrt{2}}$$

$$\frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{1}{\omega R_1C}\right)^2}} = \frac{1}{\sqrt{2}}$$



$$\sqrt{1 + \frac{1}{\omega^2 R_1^2 C^2}} = \sqrt{2}$$

$$1 + \frac{1}{(2\pi \cdot 80 \cdot 125)^2 C^2} = 2$$

$$C = 15.9 \mu F$$

כאמ"כ, מעבר "דחסיק" את הפרק הנ"ל, לאחר שזיהו שזהו מסך
HPF $\frac{30N}{\text{השן}}$ - ודכן, הנוסחה במ"מ 69 במסמך האולטי:

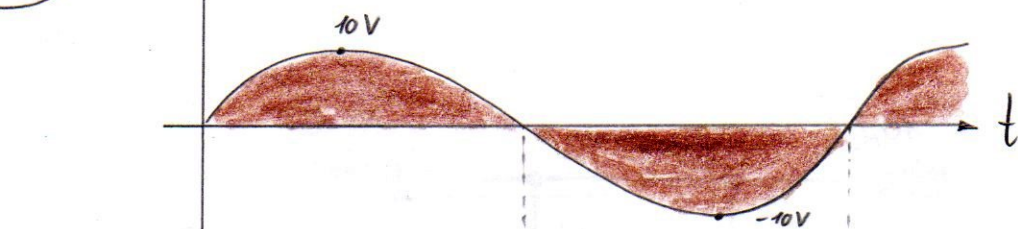
$$f_c = \frac{1}{2\pi R_1 C}$$

$$80 = \frac{1}{2\pi \cdot 125 \cdot C}$$

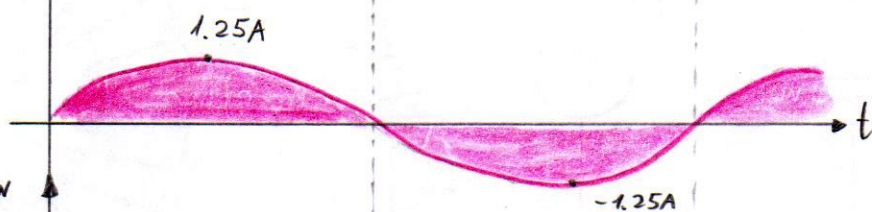
$$C = 15.9 \mu F$$

המחבר שם 3 מחסבים! 18310

6

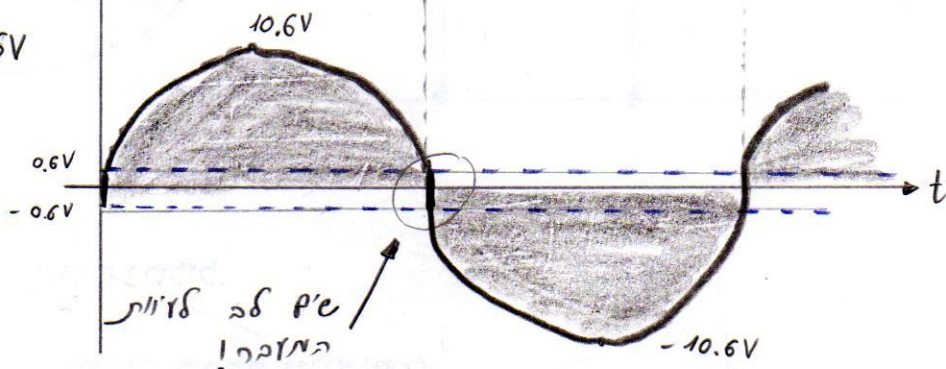


$$I_{R_L} = \frac{V_o}{R_L}$$



המחבר שם 3 מחסבים!

$$V_o + V_{BE} = V_o + 0.6V$$



בזאת נרשום את מחסבי ההספקים עבור המחברת:

הספק של $V_{EE} - V_{CC}$ ספק' הכח

$$P_{CC} = P_Q + P_{R_L}$$

ההספק של הטרנזיסטורים

ההספק של המזינס



$$P_{CC} = 2 (V_{CC} \cdot I_{CC_{av}}) = 2 \left(15 \cdot \frac{I_{L_{max}}}{\pi} \right) =$$

$$= 30 \cdot \frac{1.25}{\pi} = 11.936W$$

$$P_{R_L} = \frac{U_{RMS}^2}{R_L} = \frac{(V_{o_{max}}/\sqrt{2})^2}{R_L} = \frac{V_{o_{max}}^2}{2R_L} = \frac{10^2}{2 \cdot 8} = 6.25W$$



$$P_Q = P_{cc} - P_{R_2} = 11.936 - 6.25 = 5.686W$$

כאמין שיהיה זה ארבעה חלקים שיתקבל, כלומר:

$$P_{Q_1} = P_{Q_2} = \frac{P_Q}{2} = 2.843W,,$$

③ האגרה שהיא מוצאת ה"צוות" האגרה (ראו גם במחצית הקודם)
ע"י קצב האגרה שהיא נמצאת



$$\textcircled{E} \quad U_{R_2} = V_2 = 6V$$

$$I_{R_2} = I_{R_3} = I_{R_P} = \frac{U_{R_2}}{R_2} = \frac{6}{3} = 2mA$$



$$V_0 = I_{R_2} \cdot (R_P + R_3 + R_2) = \frac{R_P = 0k\Omega}{R_P = 5k\Omega} \cdot 2 \cdot 4 = 8V,,$$
$$2 \cdot 9 = 18V,,$$



$$8V \leq V_0 \leq 18V$$

$$\textcircled{2} \quad V_0 = 8V$$

$$I_0 = \frac{V_0}{R_L} = \frac{50\Omega}{50} = \frac{8}{50} = 0.16A,,$$
$$\frac{8}{10} = \frac{8}{10} = 0.8A > 0.5A$$



הזרם ב- R_L לא יכול להיות מעל $0.5A$ של הזרם המרבי, $0.5A$ של הזרם המרבי

$$I_{0max} = I_{\text{מקסימום}} - I_{R_2} = 500 - 2 = 498mA = 0.498A,,$$

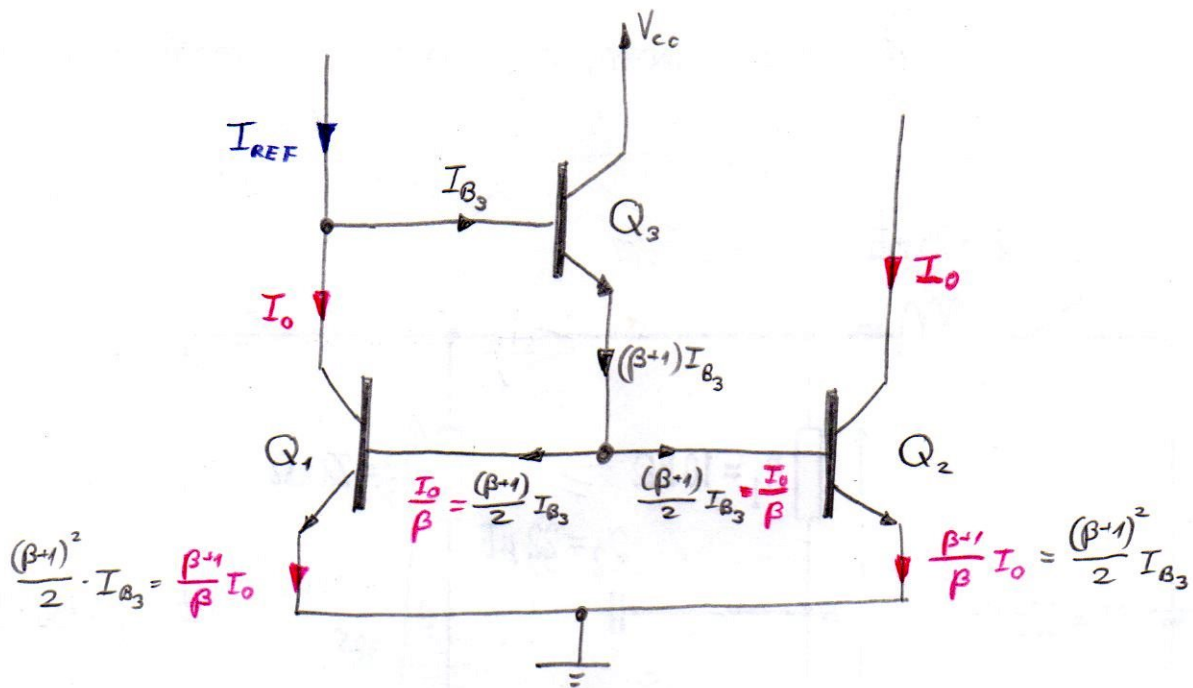
$$\textcircled{3} \quad V_0 = 18V$$

$$\rightarrow I_0 = 0.498A$$

$$\Rightarrow R_{Lmin} = \frac{V_0}{I_{0max}} = \frac{18}{0.498} = 36.144\Omega.$$

8
 (a) המעגל ממש כמקור זרם, הממוצע באלר "רא' זרם" $(Q_2 - Q_1)$

(b) מכיון ש- Q_1 ו- Q_2 מחוברים כרא' זרם, הזרמים בהם שווים.
 נסתק וז' המעגל אל כס' המסתמך מנק' (שמו אבא):



$$[I_{B1}] \quad \frac{I_O}{\beta} = \frac{(\beta+1)}{2} I_{B3} \Rightarrow I_{B3} = \frac{2I_O}{\beta(\beta+1)}$$

$$I_{REF} = I_O + I_{B3} = I_O + \frac{2I_O}{\beta(\beta+1)} = I_O \left[1 + \frac{2}{\beta(\beta+1)} \right]$$

$$I_{REF} = I_O \cdot \frac{\beta(\beta+1) + 2}{\beta(\beta+1)}$$

$$I_O = \frac{\beta(\beta+1)}{\beta(\beta+1) + 2} I_{REF}$$

$$\textcircled{d} \quad I_0 \geq 0.99 I_{REF}$$



נקה את התנאי הטובים ביותר, כלומר $I_0 = 0.99 I_{REF}$, ולכן:

$$0.99 I_{REF} = \frac{\beta(\beta+1)}{\beta(\beta+1)+2} I_{REF}$$

$$0.99 = \frac{\beta(\beta+1)}{\beta(\beta+1)+2}$$

שם אכלו! β נאם כגון בהיבט, כלומר לפנינו משוואה ריבועית



אנו צריכים לקבל שתי תוצאות עבור β =

$$\beta_{1,2} = \begin{cases} 13.58 \\ -14.58 < 0 \end{cases}$$



$$\beta_{min} = 13.58$$