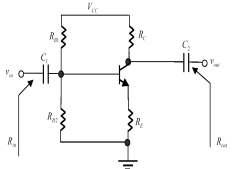
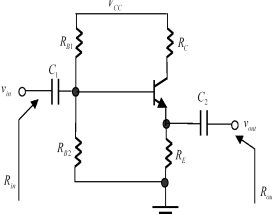
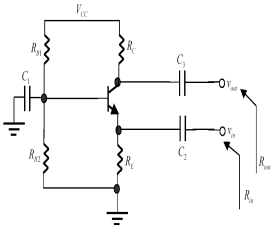


מגברים בסיסיים טרנזיסטור BJT

טבלת סיכום חיבורים בסיסיים:

הטבלה מסכמת את התוצאות שסוכם בהרצאה וההנחות הדרושות לכל מקרה:

	A_v , in terms of β	A_v , in terms of g_m	R_{IN}	R_{OUT}	Remarks
CE 	$\frac{-\beta R_C}{r_\pi + (\beta + 1) R_E}$	$\frac{-\alpha R_C}{R_E + r_e}$	$R_{B1} \parallel R_{B2} \parallel r_\pi$	$R_C \parallel r_o$	<p><u>For R_{in}/R_{out}:</u> $R_E = 0$</p> <p><u>For A_v:</u> $r_o \rightarrow \infty$</p>
CC 	$\frac{\beta R_E}{\beta R_E + r_\pi} \approx 1$	$\frac{g_m R_E}{g_m R_E + 1} \approx 1$	$R_{B1} \parallel R_{B2} \parallel [r_\pi + (\beta + 1) R_E]$	$r_e \parallel R_E$	<p><u>For R_{in}/R_{out}:</u> $r_o \rightarrow \infty$</p> <p><u>For A_v:</u> $\beta \rightarrow \infty$</p>
CB 	$\frac{R_C \beta}{r_\pi}$	$R_C g_m$	$R_E \parallel r_e$	$R_C \parallel r_o$	<p><u>For R_{in}/A_v:</u> $r_o \rightarrow \infty$</p> <p><u>For R_{out}:</u> $R_E = 0$</p>

מעבר מהגבר מתח להגבר זרם:

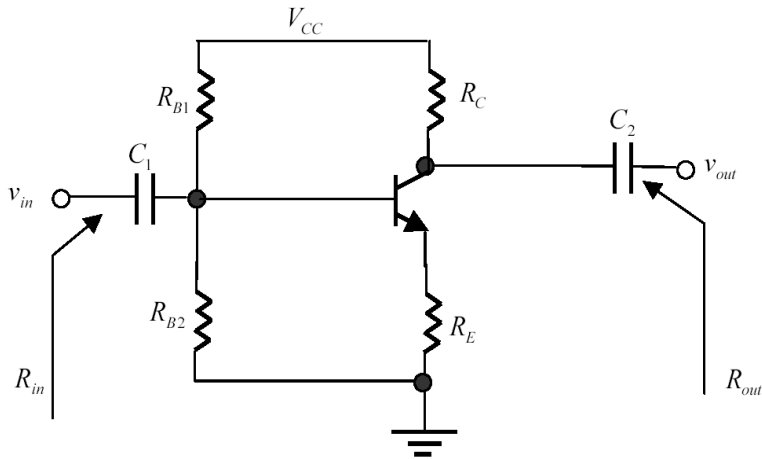
ניתן לעבור בכל אחד מהמקרים מהגבר מתח לזרם, בצורה הבאה:

$$A_i = \frac{I_{out}}{I_{in}} = \frac{V_{out} / R_{out}}{V_{in} / R_{in}} = A_v \cdot \frac{R_{in}}{R_{out}}$$

מגבר Common Emitter :

ויהוי: ה- Emitter מחובר לאדמה.

עבור $r_x = 0$; $c_\pi = c_\mu = 0$



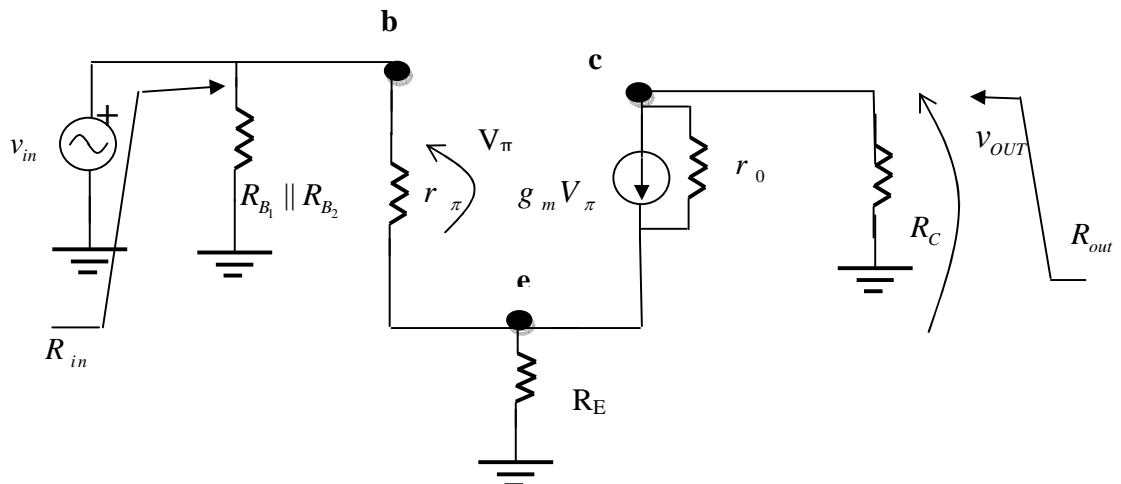
נקודת העבודה:

$$I_E = \frac{V_{BB} - V_{BE,on}}{R_E + \frac{R_{BB}}{\beta + 1}} = \frac{V_{BB} - \frac{kT}{q} \ln\left(\frac{I_E}{I_{ES}}\right)}{R_E + \frac{R_{BB}}{\beta + 1}}$$

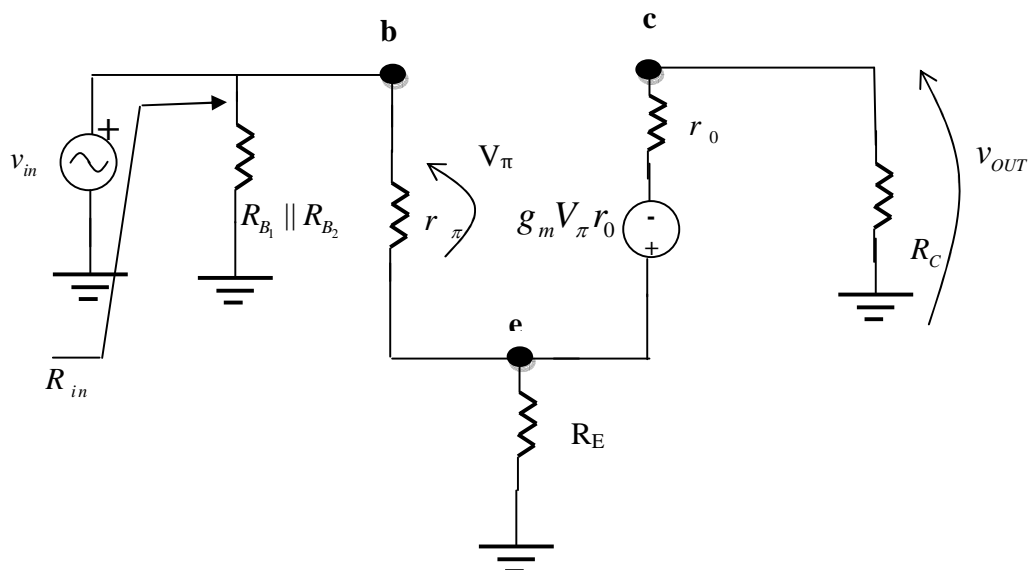
$$\text{לכן: } r_\pi = \frac{\beta}{g_m}$$

(*) עבור $\beta \rightarrow \infty$ וכן r_π - סופי, נקבל $g_m \rightarrow \infty$

חישוב הגבר עבור CE, סכימת תמורה לאות קטן:



לצורך פישוט החישובים נחליף את המקור זרם והנגד במקביל שנמצאים בין הנקודה c ל e, במקור מתח ונגד בטור לפי שקול תבנית:



3

כעת לצורך חישוב מתח היציאה נטייל מהנקודה b לנקודה c ונחשב את מפל המתח:

$$v_{r_0} = I_{r_0} \cdot r_0 = -\frac{v_{out}}{R_c} \cdot r_0$$

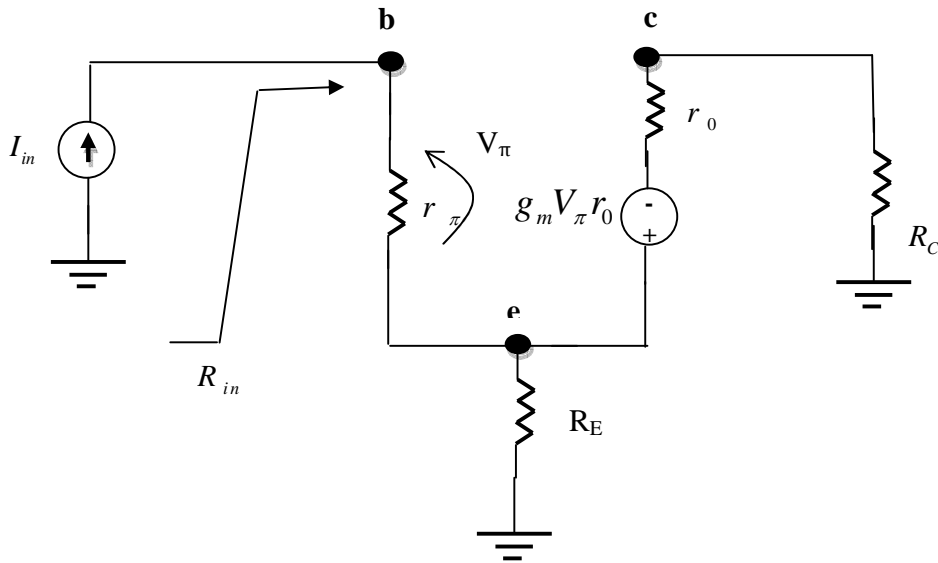
$$I_\pi + I_{r_0} = I_E = \frac{v_\pi}{r_\pi} - \frac{v_{out}}{R_c} \Rightarrow v_E = I_E \cdot R_E = v_{in} - v_\pi$$

נבודד את V_π ונציב חזרה במשוואה הרשונה, נקבל משוואה שקושרת את מתח הכניסה והיציאה.

$$r_\pi = \frac{\beta}{g_m} \quad \text{לכן נקבל לאחר בידוד מתח היציאה וחלוקה במתח הכניסה:}$$

$$A_{V,0} = \frac{v_{out}}{v_{in}} = -\frac{(r_0\beta - R_E)R_C}{r_0[r_\pi + (\beta+1)R_E] + R_E(R_C + r_\pi) + R_C r_\pi}$$

לחישוב התנגדות הכניסה נחשב את ההתנגדות שרואים מהנקודה b וימינה ולתוצאה זו נחבר במקביל את נגדי ה R_{B1}, R_{B2} נכניס זרם i_{in} ונחשב את התח בנקודה e, ע"י חילוק הגדלים האלו נקבל את הנגד הנקודה e וימינה אליו נחבר בטור את הנגד r_π



$$v_e = [I_{in} - I_{R_c}] \cdot R_E$$

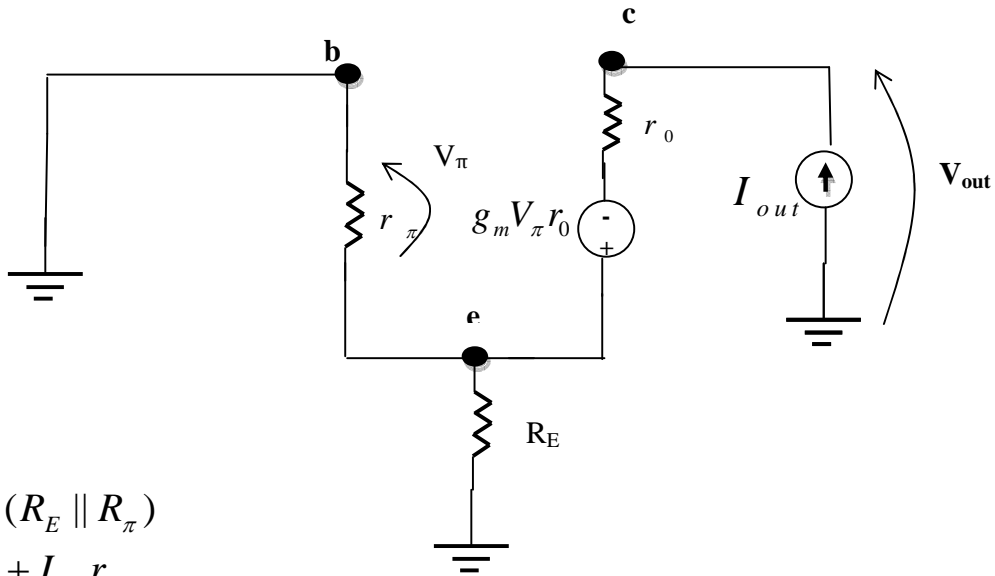
$$I_{R_c} = \frac{v_e - g_m r_0 v_\pi}{r_0 + R_c}$$

$$v_e = I_{in} \cdot R_E - \frac{v_e \cdot R_E}{r_0 + R_c} + \frac{g_m v_\pi r_0 R_E}{r_0 + R_c}$$

$$\frac{v_e}{I_{in}} = \left(R_E \cdot \frac{R_C + r_0(\beta+1)}{R_C + r_0 + R_E} \right) \Rightarrow R_{in} = R_1 \parallel R_2 \parallel \left(r_\pi + R_E \cdot \frac{R_C + r_0(\beta+1)}{R_C + r_0 + R_E} \right)$$

לחישוב התנגדות המוצא נחבר מקור זרם בנקודה c נחשב את המתח ונקבל נגד שקול משמאל לנקודה זו, אחר כך נחבר אותו במקביל

לנגד R_c .



$$v_\pi = -v_e = -I_{out} \cdot (R_E \parallel R_\pi)$$

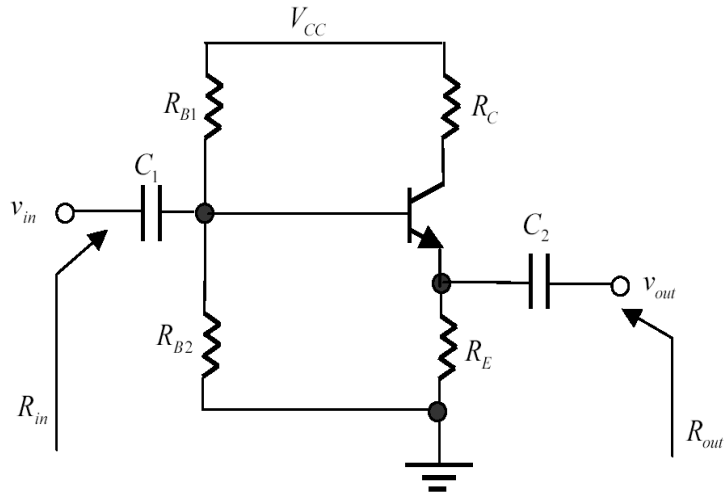
$$v_{out} = v_e - g_m r_0 v_\pi + I_{out} r_0$$

$$v_{out} = I_{out} \cdot [(R_E \parallel r_\pi) + r_0 + g_m r_0 (R_E \parallel r_\pi)] \Rightarrow R_{out} = R_C \parallel [(R_E \parallel r_\pi)(1 + g_m r_0) + r_0]$$

$A_{V,0} = \frac{v_{out}}{v_{in}} = - \frac{(r_0 \beta - R_E) R_C}{r_0 [r_\pi + (\beta + 1) R_E] + R_E (R_C + r_\pi) + R_C r_\pi}$	$\begin{aligned} &\xrightarrow{r_0 \rightarrow \infty} \frac{-\alpha R_C}{R_E + r_e} = \frac{-\beta R_C}{r_\pi + (\beta + 1) R_E} \stackrel{(*)}{\approx} \frac{-R_C}{R_E + \frac{1}{g_m}} \\ &\xrightarrow{\beta \rightarrow \infty} -\frac{R_C}{R_E} \\ &\xrightarrow{R_E = 0} -\frac{\beta}{r_\pi} (R_C \parallel r_0) = -g_m (R_C \parallel r_0) \quad (\text{like CS}) \end{aligned}$	הגבר מתח
--	--	-------------

התנגדות כניסה ויציאה:

$R_{IN}^{CE} = R_{B1} \parallel R_{B2} \parallel \left(r_\pi + R_E \cdot \frac{R_C + r_0 (\beta + 1)}{R_C + r_0 + R_E} \right)$	$\begin{aligned} &\xrightarrow{r_0 \rightarrow \infty} R_{B1} \parallel R_{B2} \parallel [r_\pi + R_E (\beta + 1)] \\ &\xrightarrow{\beta \rightarrow \infty \Rightarrow I_{B=0}} R_{B1} \parallel R_{B2} \\ &\xrightarrow{R_E = 0} R_{B1} \parallel R_{B2} \parallel r_\pi \end{aligned}$
$R_{OUT} = R_C \parallel [r_0 + (R_E \parallel r_\pi)(1 + g_m r_0)]$	$\begin{aligned} &\xrightarrow{r_0 \rightarrow \infty} R_C \\ &\xrightarrow{\beta \rightarrow \infty \Rightarrow I_{B=0}} (R_E + r_0) \parallel R_C \\ &\xrightarrow{R_E = 0} R_C \parallel r_0 \end{aligned}$



מגבר Common Collector :

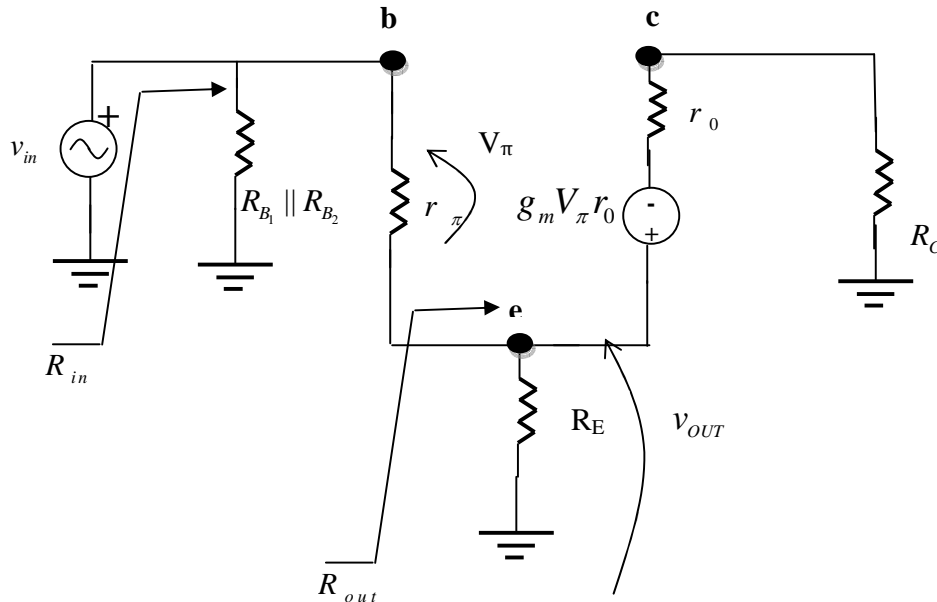
זיהוי: ה- Collector מחובר לספק.

$$\boxed{r_x = 0 ; c_\pi = c_\mu = 0} \text{ עבור}$$

$$r_\pi = \frac{\beta}{g_m} \text{ ו } r_e = \frac{\alpha}{g_m} \text{ לכן:}$$

(*) עבור $\beta \rightarrow \infty$ וכן r_π - סופי, נקבל $g_m \rightarrow \infty$
 (***) עבור $\beta \rightarrow \infty$ וכן g_m - סופי, נקבל $r_\pi \rightarrow \infty$

סכמת תמורה לאות קטן עבור CC



$$v_{out} = v_{in} - v_\pi \Rightarrow v_\pi = v_{in} - v_{out}$$

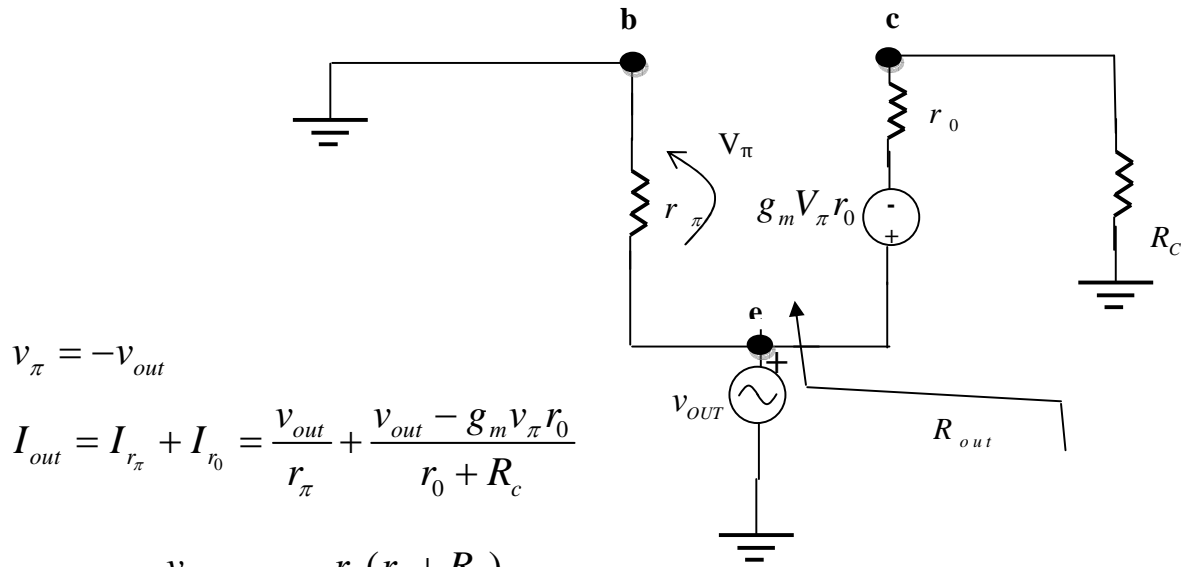
$$I_{R_E} = I_{r_\pi} + I_{r_0} = \frac{v_{in} - v_{out}}{r_\pi} - \frac{v_{out} - g_m v_\pi r_0}{r_0 + R_C} \Rightarrow v_{out} = I_{R_E} R_E$$

$$A_v = \frac{v_{out}}{v_{in}} = \frac{[R_C + r_0(\beta + 1)]R_E}{r_0[r_\pi + (\beta + 1)R_E] + R_C R_E + R_C r_\pi + R_E r_\pi}$$

התנגדות הכניסה מחושבת בדיוק כמו במקרה של CE, ולכן נקבל כאן:

$$R_{IN}^{CC} = R_{IN}^{CE} = R_{B1} \parallel R_{B2} \parallel \left[r_\pi + R_E \frac{R_C + r_0(\beta + 1)}{R_C + r_0 + R_E} \right]$$

עבור התנגדות מוצא נחבר מקור מתח ונחשב את הזרם הנכנס, נעשה זאת ללא R_E ובסוף נחברו במקביל.



$$v_\pi = -v_{out}$$

$$I_{out} = I_{r_\pi} + I_{r_0} = \frac{v_{out}}{r_\pi} + \frac{v_{out} - g_m v_\pi r_0}{r_0 + R_C}$$

$$R_{out}^* = \frac{v_{out}}{I_{out}} = \frac{r_\pi (r_0 + R_C)}{r_0 + R_C + (1 + g_m r_0)} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow R_{out} = R_{out}^* \parallel R_E = \frac{(r_0 + R_C) R_E r_\pi}{r_0 [r_\pi + (\beta + 1) R_E] + R_C R_E + R_C r_\pi + R_E r_\pi}$$

$$A_{V,0} = \frac{v_{out}}{v_{in}} = \frac{[R_C + r_0 (\beta + 1)] R_E}{r_0 [r_\pi + (\beta + 1) R_E] + R_C R_E + R_C r_\pi + R_E r_\pi}$$

$$\begin{aligned} &\xrightarrow{r_0 \rightarrow \infty} \frac{(\beta + 1) R_E}{r_\pi + (\beta + 1) R_E} \\ &\xrightarrow{\beta \rightarrow \infty} \frac{g_m r_0 R_E}{R_E [r_0 g_m + 1] + R_C + r_0} \end{aligned}$$

הגבר
מתח

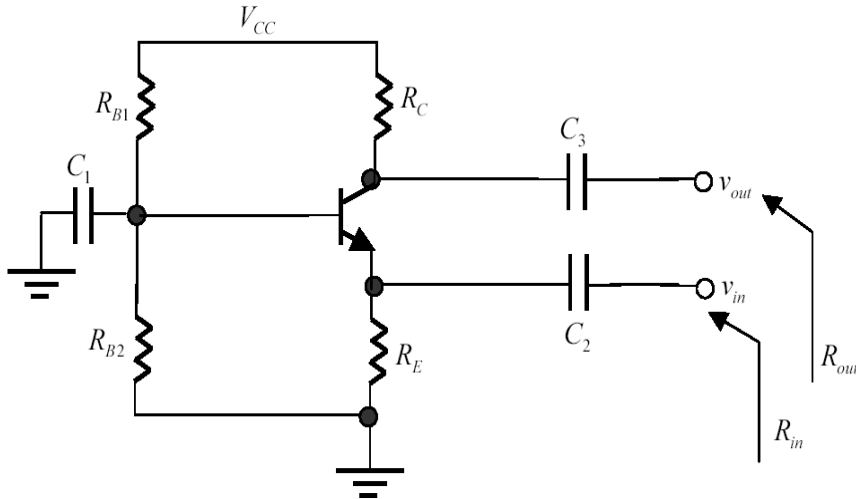
התנגדות כניסה ויציאה :

$$\begin{aligned} R_{IN}^{CC} = R_{IN}^{CE} &= R_{B_1} \parallel R_{B_2} \parallel \left[r_\pi + R_E \frac{R_C + r_0 (\beta + 1)}{R_C + r_0 + R_E} \right] \\ &\begin{cases} \xrightarrow{r_0 \rightarrow \infty} R_{B_1} \parallel R_{B_2} \parallel [r_\pi + (\beta + 1) R_E] \\ \xrightarrow{R_E = 0} R_{B_1} \parallel R_{B_2} \parallel r_\pi \\ \xrightarrow{\beta \rightarrow \infty} R_{B_1} \parallel R_{B_2} \end{cases} \\ R_{OUT} &= \frac{(r_0 + R_C) R_E r_\pi}{r_0 [r_\pi + (\beta + 1) R_E] + R_C R_E + R_C r_\pi + R_E r_\pi} \\ &\begin{cases} \xrightarrow{r_0 \rightarrow \infty} \frac{R_E r_\pi}{r_\pi + (\beta + 1) R_E} = r_\pi \parallel R_E \parallel \frac{1}{\frac{r_\pi}{\beta} = \frac{1}{g_m}} = r_e \parallel R_E \\ \xrightarrow{\beta \rightarrow \infty} \frac{R_E r_\pi}{r_\pi + \beta R_E} = \frac{R_E}{1 + (\beta / r_\pi) R_E} = R_E \parallel \frac{1}{\beta / r_\pi = g_m} \end{cases} \end{aligned}$$

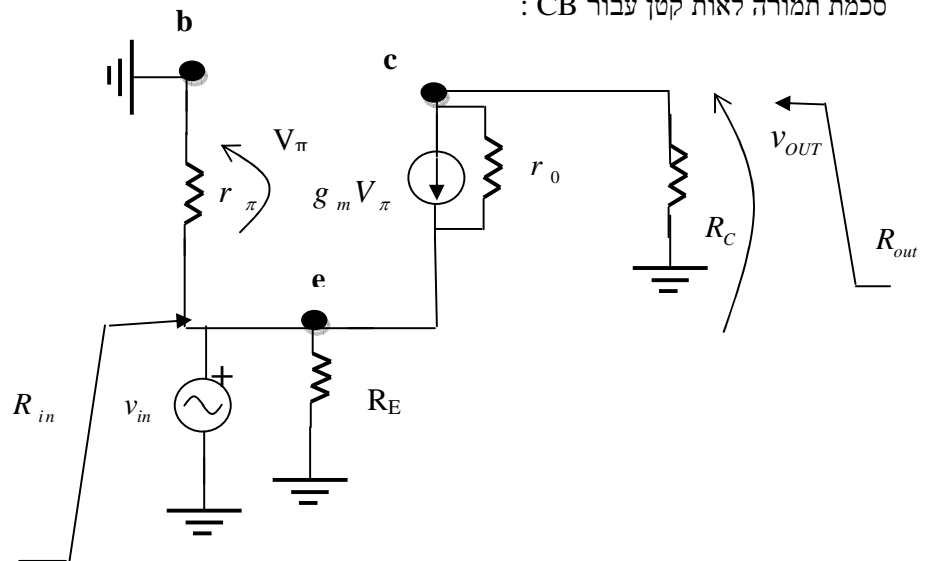
מגבר Common Base :

זיהוי: ה-Base מחובר לאדמה.

עבור $r_x = 0 ; c_\pi = c_\mu = 0$



סכמת תמורה לאות קטן עבור CB :



לחישוב הגבר המתח נחשב את הזרם שזורם בנגד R_C :

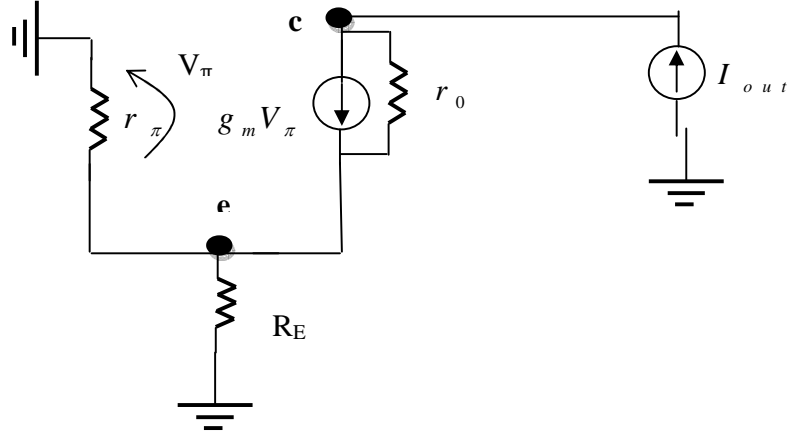
$$v_\pi = -v_{in}$$

$$I_{R_c} = -g_m v_\pi + I_{r_0} = g_m v_{in} + \frac{v_{in} - v_{out}}{r_0} \Rightarrow v_{out} = I_{R_c} R_c$$

$$v_{out} \left[\frac{1}{R_c} + \frac{1}{r_0} \right] = v_{in} \left[g_m + \frac{1}{r_0} \right] = v_{out} [R_c \parallel r_0]^{-1} = v_{in} \left[\frac{1}{g_m} \parallel r_0 \right]^{-1}$$

$$A_v = \frac{v_{out}}{v_{in}} = \frac{R_c \parallel r_0}{\frac{1}{g_m} \parallel r_0}$$

כעת נחשב את התנגדות המוצא, נחבר מקור זרם במוצא, ללא הנגד R_c ונחשב את המתח המתפתח במוצא ובסוף נחבר את הנגד במקביל:

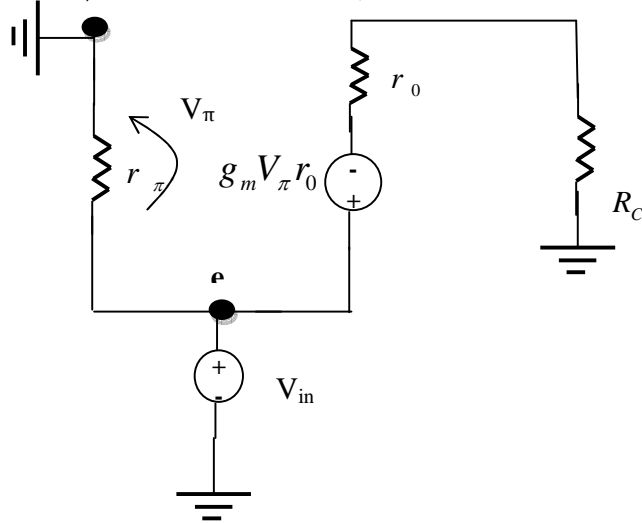


$$v_\pi = -v_e = -I_{out} [R_E \parallel r_\pi]$$

$$I_{out} = g_m v_\pi + I_{r_0} = -g_m v_e + \frac{v_{out} - v_e}{r_0} = -g_m I_{out} [R_E \parallel r_\pi] + \frac{v_{out} - v_e}{r_0}$$

$$R_{out}^* = \frac{v_{out}}{I_{out}} = r_0 + [R_E \parallel r_\pi][g_m r_0 + 1] \Rightarrow R_{out} = R_c \parallel R_{out}^*$$

נחבר מקור מתח בכניסה ונחשב את הזרם דרכו, נחברו ללא הנגד R_E ובסוף נחברו במקביל:



$$v_\pi = -v_{in}$$

$$I_{in} = I_{R_c} + I_{r_0} = \frac{v_{in} - g_m v_\pi r_0}{r_0 + R_c} + \frac{v_{in}}{r_\pi} = v_{in} \left[\frac{1}{r_\pi} + \frac{1 + g_m r_0}{r_0 + R_c} \right]$$

$$R_{in}^* = \frac{v_{in}}{I_{in}} = \frac{r_\pi (r_0 + R_c)}{r_0 (1 + g_m r_\pi) + R_c + r_\pi} \Rightarrow R_{in} = R_E \parallel R_{in}^*$$

$A_{V,0} = \frac{v_{out}}{v_{in}} = \frac{r_0 \parallel R_C}{r_0 \parallel \frac{1}{g_m}} \left[\xrightarrow{r_0 \rightarrow \infty} R_C g_m = \frac{\beta R_C}{r_\pi} = \frac{\alpha R_C}{r_e} \right]$	הגבר מתח
---	-------------

$$R_{IN} = R_E \parallel \frac{r_\pi (r_0 + R_c)}{r_0 (1 + g_m r_\pi) + R_c + r_\pi} \left[\begin{array}{l} \xrightarrow{r_0 \rightarrow \infty} R_E \parallel \frac{r_\pi}{(\beta + 1)} = R_E \parallel r_e \xrightarrow{\beta \gg 1} R_E \parallel \frac{1}{g_m} \\ \xrightarrow{\beta \rightarrow \infty} \frac{r_0 + R_c}{r_0 g_m + 1} \end{array} \right]$$
$$R_{OUT} = R_C \parallel [r_0 + (R_E \parallel r_\pi)(g_m r_0 + 1)]$$

התנגדות כניסה ויציאה: