

תדר גבוה	תדר נמוך	מלאכותי	מחשבים
תדר ביניים	מחשבים	בניית	המעגל
DS: נתק	AC: קצר	נתק	מחשבים
AC: קצר	נתק	נתק	w_{3db}

$$r_0 \rightarrow \infty$$

$$v_{out} = -g_m v_{GS} \cdot R_D$$

$$v_{GS} = -v_{in}$$

$$A_v = \frac{v_{out}}{v_{in}} = g_m R_D$$

שימוש: הגבר ליניארי

קסוד: C.E+C.B

שימוש: מרחיק את הקוטב

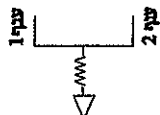
מעגלים השמליים:

איפוס מקורת בלתי-תלויים

מקור מתח מקצרים (אדמה)

מקור מתח מנתקים (.)

בהינתן:



אפשר לפצל את המעגל ל-2 הענפים כך שבכל ענף מופיע הגבר והמתח והזרם שומרים על ערכם בנקודה.

הנחות והנחות

* כאשר 2 נגדים מחוברים במקביל, הקטן הוא הדומיננטי ולכן נבחר את הנגד הגדול.

* אם אין נגד בכניסה ההתנגדות היא אינסוף.

מציאת ההתנגדות כניסה/יציאה:

נחבר מקור בוחן v_t (מייצר זרם i_t) ונמצא את היחס: v_t / i_t

כאשר יש צורך לאפס מקורת בלתי-תלויים

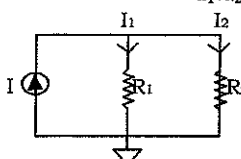
KVL - חוק קירכוב- סכום אלגברי של כל המתחים

בחוץ סגור שווה לאפס.

משפט מחלק מתח- $V_{R_x} = \frac{V_{source} \cdot R_x}{R_{eq}}$

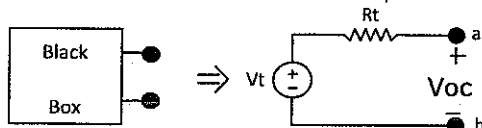
משפט מחלק זרם-

$$I_2 = \frac{I \cdot R_1}{R_1 + R_2} \quad I_1 = \frac{I \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$



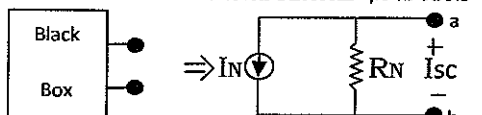
משפט KCL- הסכום האלגברי של הזרמים שנכנסים לצומת שווה לסכום הזרמים שיוצאים מהצומת.

משפט תבנית- Thevenin Theorem



משפט החלפת מקורות- אם יש מקור מתח בטור לנגד, אפשר להחליף אותו במקור זרם במקביל לנגד, ולהפך.

משפט נורטון- Norton Theorem



הערה: יותר קל להגיע למשפט תבנית, ולכן אפשר קודם להגיע למשפט תבנית ומשם לעשות החלפת מקורות ולהגיע למשפט נורטון.

התנגדות:

$$R_{eq} = \sum R_i \text{ טור-}$$

$$\frac{1}{R_{eq}} = \sum \frac{1}{R_i} \text{ מקביל-}$$

קיבול:

$$C_{eq} = \sum C_i \text{ טור-}$$

$$C_{eq} = \sum C_i \text{ מקביל-}$$

* רוב הזרם ילך למקום בו יש התנגדות נמוכה יותר.

* רוב המתח יפול על הנגד הגדול.

* התנגדות בנותק אינסוף וזרם בנותק הוא אפס.

7. התנגדות:

טור-

$$R_{in,f} = R_{in}(1 + AB)$$

$$R_{out,f} = (1 + AB)$$

מקביל-

$$R_{in,f} = \frac{R_{in}}{(1 + AB)}$$

$$R_{out,f} = \frac{R_{out}}{1 + AB}$$

כאשר R מחושב עם R_s, R_L

$$R_{in} = R_{in,f} - R_s \text{ טור:}$$

$$R_{in,f} = \frac{1}{\frac{1}{R_{in,f}} - \frac{1}{R_{in,f}}} \text{ מקביל:}$$

כנ"ל R_{out}

סוגי מגבירים:

מגבר מתח- 1. A_v גדול 2. R_{in} גדול 3. R_{out} קטן

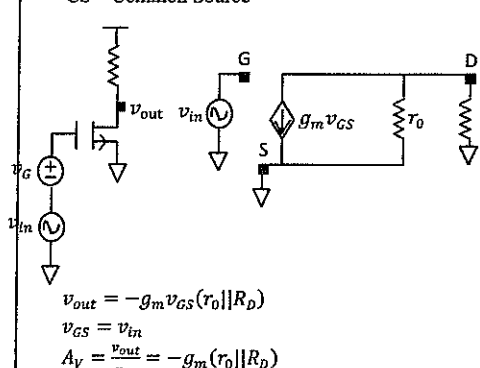
מגבר זרם- 1. A_i גדול 2. R_{in} קטן 3. R_{out} גדול

מגבר התנגדות- 1. G_m גדול 2. R_{in} קטן 3. R_{out} קטן

מגבר מוליכות- 1. G_m גדול 2. R_{in} גדול 3. R_{out} גדול

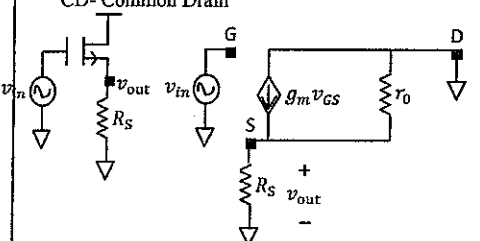
טופולוגיות של NMOS

CS - Common Source



שימוש: מגביר מתח

CD- Common Drain



שימוש: חוצץ מתח/זרם

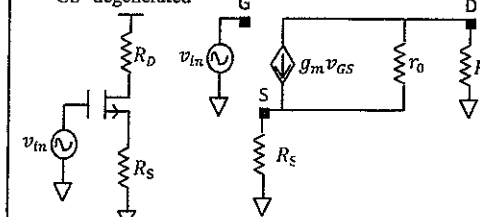
$$v_{out} = g_m v_{GS} (r_0 || R_S)$$

$$v_{GS} = v_{in} - g_m v_{GS} (r_0 || R_S)$$

$$A_v = \frac{v_{out}}{v_{in}} = \frac{g_m (r_0 || R_S)}{1 + g_m (r_0 || R_S)} \approx 1$$

שימוש: חוצץ מתח/זרם

CS- degenerated



$$r_0 \rightarrow \infty$$

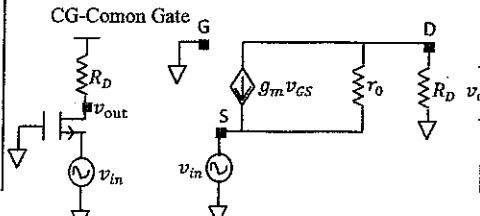
$$v_{out} = -g_m v_{GS} \cdot R_D$$

$$v_{GS} = v_{in} - g_m v_{GS} \cdot R_S$$

$$A_v = \frac{v_{out}}{v_{in}} = -\frac{g_m R_D}{1 + g_m R_S} \approx -\frac{R_D}{R_S}$$

שימוש: חוצץ או הגבר

CG-Comon Gate



קבלים טבעיים- פראזיטים nF,pF

קבלים פרוזיטים- NMOS:

בין G ל S: C_{gs}

בין G ל D: C_{gd}

קבלים פרוזיטים- BJT:

בין B ל E: C_{π}

בין B ל C: C_{μ}

מציאת תדר ביניים/ תדר ברך/קוטב:

$$w_{3db} = 1/\tau$$

$$\tau = RC$$

$$W = W_{3db} - 2\pi$$

משפט מילר:



K- הגבר בין 2 הנקודות שרוצים לפצל

$$Z_1 = \frac{Z}{1 + |K|} \quad Z_2 = \frac{Z}{1 - |K|}$$

$$R_L v_{out} - Y_1 = Y(1 + K) \quad Y_2 = Y(1 - \frac{1}{K})$$

1. נטרטט מעגל תמורה
2. נפצל את מעגל התמורה ל- 2 מעגלים נפרדים ע"י חישוב k z-1
3. נחשב τ עבור כל מעגל ע"י מציאת קיבול ההתנגדות
4. תדר הביניים הוא התדר הקטן.

הערות-

לא תמיד עובדת.

שימושי גם במעגלים מסובכים

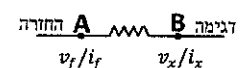
OTC

נחשב עבור כל קבל τ משלו:

1. נטרטט מעגל תמורה עבור כל קבל בנפרד.
2. נמצא ההתנגדות של כל מעגל ע"י הצבת מקור בוחן במקום הקבל
- קבל- נתק, מקור מתח- קצר, מקור זרם- נתק.

$$\tau_{tot} = \sum_{i=0}^n \tau_i$$

משוב שלילי:



פתרון מעגל בשיטת המשוב:

1. זיהוי סוג המשוב:

משוב "חיובי" על המקור- טורי

אחרת- מקבילי

סוגי משוב-

SISO [A/V]

SIPO [V/V]

PISO [A/A]

PIPO [V/A]

2. מציאת רשת המשוב

3. חישוב B:

שמים מקור בוחן מתאים בדגימה ובהחזרה

כניסה בטור- מקור זרם

כניסה במקביל- מקור מתח

יציאה בטור- מקור מתח

יציאה במקביל- מקור זרם

$$B = f/x$$

4. חישוב $R_A(\rightarrow)$, $R_B(\leftarrow)$

יציאה מקבילים מקצרים.

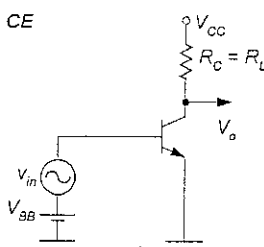
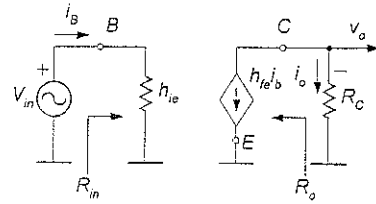
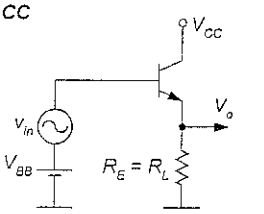
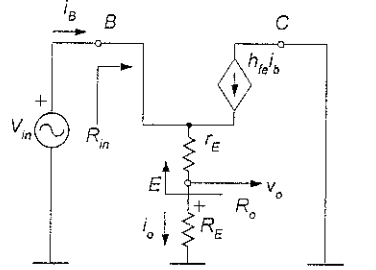
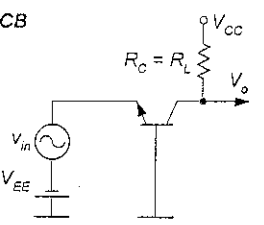
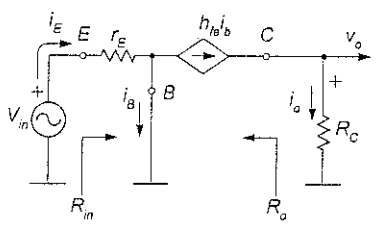
5. חישוב Ao.1- מעגל תמורה

6. חישוב Ao.1:

$$A_{cl} = \frac{A_{o.1}}{1 + A_{o.1} \cdot B}$$

4.3 חישוב A_V, R_o, R_{in} עבור חיבורים שונים של טרנזיסטור BJT ו-FET

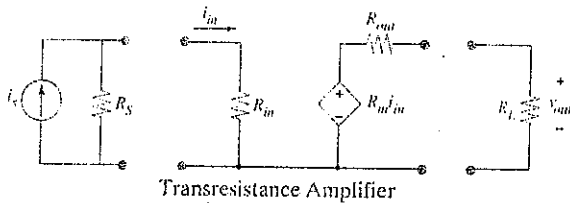
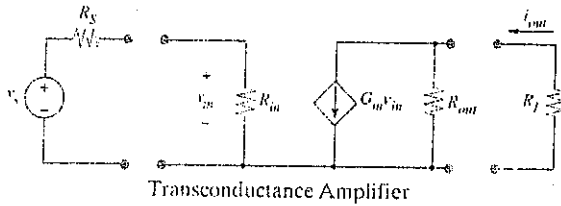
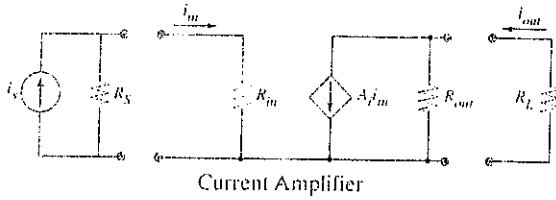
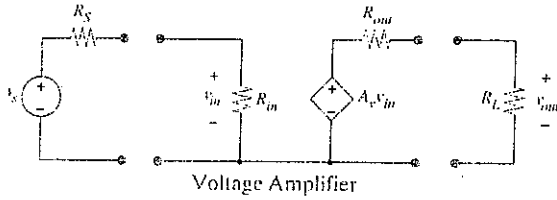
נניח שעבור הטרנזיסטור BJT $r_s = 0, h_{re} = 0, 1/h_{oe} \gg R_C, R_E$ נחשב A_V, R_o, R_{in} עבור החיבורים הבאים:

מעגל באות גדול	מעגל באדות קטן	A_V, A_I, R_o, R_{in}
<p>CE</p> 		$R_{in} = (1 + h_{fe})r_E$, medium $R_o = \infty$, high $A_I = -h_{fe}$, high $A_V = \frac{-h_{fe}i_B R_C}{(1 + h_{fe})i_B r_E} \Big _{h_{fe} \gg 1}$ $\approx -\frac{R_C}{r_E} = -\frac{R_C}{r_E + R_E}$, high
<p>CC</p> 		$R_{in} = (1 + h_{fe})(r_E + R_E)$, high $R_o = r_E$, low $A_I = 1 + h_{fe}$, high $A_V = \frac{R_E}{r_E + R_E} \Big _{R_E \gg r_E} \approx 1$, low
<p>CB</p> 		$R_{in} = r_E$, low $R_o = \infty$, high to very high $A_I = \frac{h_{fe}}{1 + h_{fe}} = \alpha_f \approx 1$, low $A_V = \frac{h_{fe}i_B R_C}{(1 + h_{fe})i_B r_E} \Big _{h_{fe} \gg 1}$ $\approx \frac{R_C}{r_E}$, high

$$A_{CE} = -G_m \cdot R_{out} = -g_m \cdot R_{out}$$

$$A_{CE,deg} = -G_m \cdot R_{out} = -\frac{g_m}{1 + g_m R_E}$$

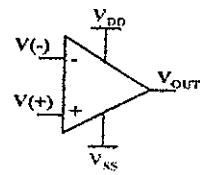
Two-port Amplifier Models



Type	Application	Controlled Source	R_{in}	R_{out}
CE	Transconductance	g_m	r_π	$r_o \parallel r_{oc}$
CS	Transconductance	g_m	∞	$r_o \parallel r_{oc}$
CE _{deg}	Externally controlled transconductance	$\frac{g_m}{(1 + g_m R_E)}$	$r_\pi (1 + g_m R_E)$	$r_o [1 + g_m (R_E \parallel R_L) \parallel r_{oc}]$
CB	Current buffer	-1	$1/g_m$	$r_o \parallel 1 + g_m (r_\pi \parallel R_S) \parallel r_{oc}$
CG	Current buffer	-1	$1/(g_m + g_{mb})$	$[r_o + g_m r_o R_S] \parallel r_{oc}$
CC	Voltage buffer	1	$r_\pi + \beta_o (r_o \parallel r_{oc} \parallel R_L)$	$\frac{1}{g_m} \frac{R_S}{1 + \beta_o}$
CD	Voltage buffer	$\frac{g_m}{g_m + g_{mb}}$	∞	$\frac{1}{g_m + g_{mb}}$

מגבר שרשרתי:

מגבר שרשרתי הינו מעגל רב דרגתי בעל תכונה הבאה:



$$\begin{aligned} A_v &\rightarrow \infty \\ R_i &\rightarrow \infty \\ R_o &\rightarrow 0 \\ V_{out} &= A_v (V_i - V_o) \end{aligned}$$

$$\lim \rightarrow 0$$

$$V_2 = -V_1$$

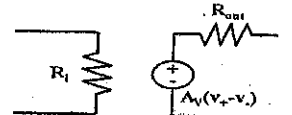
לא נכנס ולא יוצא זרם

דרגה ראשונה מגבר הפרש

דרגה שנייה מגבר מתח

דרגה שלישית חוצץ/מגבר הספק

מעגל תמורה:



דוגמאות:

מגבר מהפך מופע:

$$\begin{aligned} I_i &= \frac{V_i - 0}{Z_i} = \frac{0 - V_{out}}{Z_f} = I_f \\ A_v &= -\frac{Z_f}{Z_i} \end{aligned}$$

מגבר מתח:

$$Z_i = R_i$$

$$Z_f = R_f$$

$$A_v = -\frac{R_f}{R_i}$$

מעגל גורר:

$$Z_i = C_i$$

$$Z_f = R_f$$

$$A_v = -\frac{C_i R_f}{C_f}$$

אינטגרטור:

$$Z_i = R_i$$

$$Z_f = C_f$$

$$A_v = -\frac{1}{C_f R_i}$$

מגבר לא מהפך מופע:

$$I_i = \frac{0 - V_{out}}{Z_i} = \frac{V_i - V_{out}}{Z_f} = I_f$$

$$A_v = 1 + \frac{Z_f}{Z_i}$$

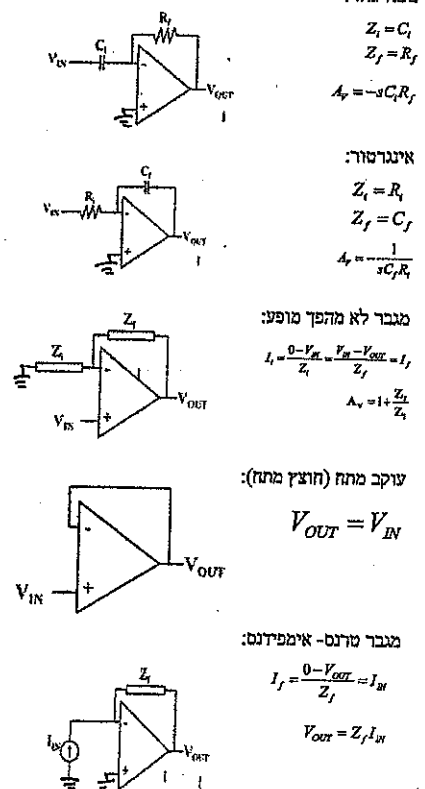
עוקב מתח (חוצץ מתח):

$$V_{out} = V_{in}$$

מגבר טרנס-אימפדנס:

$$I_f = \frac{0 - V_{out}}{Z_f} = I_{in}$$

$$V_{out} = Z_f I_{in}$$



10 ⁿ	תחילית	שם לועזי	m
10 ⁻³	מילי	milli	m
10 ⁻⁶	מיקרו	micro	μ
10 ⁻⁹	ננו	nano	n
10 ⁻¹²	פיקו	pico	p
10 ³	קילו	kilo	k
10 ⁶	מגה	mega	M

Two-port Model Parameters for Single-Stage Bipolar/MOS Amplifiers