

מחלק מתח ומחלק זרם:

$$V_i = \frac{V_{in} R_i}{\sum R_n}$$

$$I_i = \frac{I_{in}}{R_i \sum \frac{1}{R_n}} = \frac{V_{in}}{R_i} = \frac{I_{in} G_i}{\sum G_n}$$

$$I_2 = \frac{I_0 R_1}{R_1 + R_2}$$

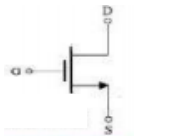
קבל:

- חיבור בטור: $\frac{1}{C_T} = \sum \frac{1}{C_n}$

- חיבור במקביל: $C_T = \sum C_n$

NMOS MOSFET

סימון: זרם זהה זורם דרך ה drain וה- source לא זורם זרם gate



ניתוח DC

כאשר נתבקש למצוא נקודת עבודה I_D, V_{DS} נחשב את I_D הדרישה על מנת שהטרנזיסטור יהיה במצב רוויה

$$V_{GS} > V_t; V_{DS} > V_{GS} - V_t \Rightarrow V_D > V_G - V_t$$

$$I_G = 0 \text{ **תמיד** } k = \frac{1}{2} \mu_n C_{ox} \frac{W}{L} \left[\frac{A}{V^2} \right]$$

$$I_{D,sat} = K(V_{GS} - V_t)^2$$

PMOS MOSFET

סימון: הפוך מ-NMOS

ניתוח DC

כאשר נתבקש למצוא נקודת עבודה I_D, V_{DS} נחשב את I_D הדרישה על מנת שהטרנזיסטור יהיה במצב רוויה

$$V_{SG} > |V_t|; V_{SD} > V_{SG} - |V_t| = V_G > V_D - |V_t|$$

$$I_{D,sat} = K(V_{SG} - |V_t|)^2$$

ניתוח AC- מעגל תמורה לאות קטן (PMOS, NMOS)

$$r_o = \frac{V_A}{I_D} = \frac{1}{\lambda \cdot I_D}$$

$$\lambda = \frac{I_D}{V_A}$$

$$I_{D,sat} = \frac{1}{2} k (V_{GS} - V_{th})^2 \cdot (1 + \lambda \cdot V_{DS})$$

בד"כ הلمדא מאוד קטנה ולכן אנחנו נשארים עם הנוסחא הרגילה של DC

התנגדות כניסה/יציאה:

מקור בוחן: נאפס את כל המקורות העצמאיים (בלתי-תלויים) ונסיף מקור במקום העומס שיקרא V_{TH} . נחשב את V_{TH} כתלות ב V_{TH} והיחס ביניהם יתן לנו את R_{TH} .

חיבור מקורות מתח בטור: ע"פ KVL.

- אין לחבר מקורות מתח במקביל, אלא אם הם זהים.

- מקור מתח כופה מתחו על כל רכיב שמקביל לו.

חיבור מקורות זרם במקביל: ע"פ KCL.

- אין לחבר מקורות זרם בטור, אלא אם הם זהים.

- מקור זרם כופה את זרמו על כל רכיב שבטור אליו.

BJT

NPN

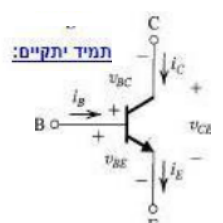
תמיד יתקיים:

$$i_E = i_C + i_B; i_C = \beta i_B$$

$$i_E = (\beta + 1) i_B$$

$$\alpha = \frac{i_C}{i_E} = \frac{\beta}{\beta + 1}$$

$$\frac{KT}{q} = V_{th}$$



שווה בד"כ 25mV אלא אם אמרו אחרת

הערות:

- עבור $\beta \geq 50$ ניתן להניח ש- $i_C = i_E$ וש- i_B זניח ביחס אליהם (אך לא שווה ל-0).

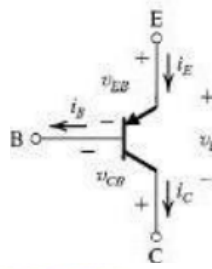
- בהינתן זרם אחד, ניתן לדעת את כל שאר הזרמים.

- נניח כי הטרנזיסטור תמיד במצב פעיל ($V_{BE} = 0.7V$)

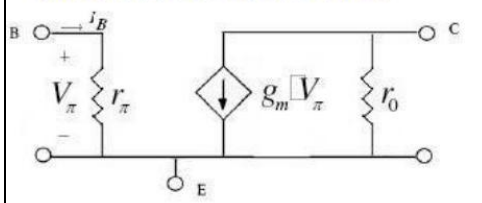
ניתוח DC: נקודת עבודה- יש למצוא את I_C, V_{CE}

PNP

הנוסחאות של NPN תקפות גם ל PNP וכן נקודת העבודה והנחת הטרנזיסטור במצב פעיל



ניתוח AC - מעגל תמורה לאות קטן: (NPN, PNP)



$$r_o = \frac{V_A}{I_C}; g_m = \frac{I_C}{V_{th}}; r_\pi = \frac{V_{th}}{I_B} = \frac{\beta}{g_m}; V_\pi = I_B r_\pi$$

$$g_m V_\pi = I_B \beta; g_m = \frac{\beta}{r_\pi}; r_\pi = \frac{\beta V_{th}}{I_C}$$

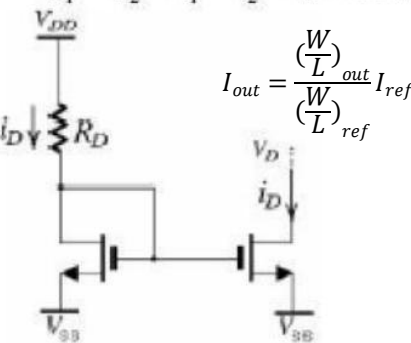
הערה: ככל שנגד העומס יגדל, כך ביצועי הטרנזיסטור ישתפרו.

ראי זרם

$$V_1 = V_2; V_1 = V_2; V_1 = V_2$$

$$g_1 = g_2; g_1 = g_2; g_1 = g_2$$

$$\Rightarrow I_{D1} = I_{D2}; V_{s1} = V_{s2}; r_{oc} = \frac{1}{\lambda \cdot I_D}$$



מגברים

סוגים ונתונים:

מגבר מתח: 1. Av גדול 2. Rin גדול 3. Rout קטן

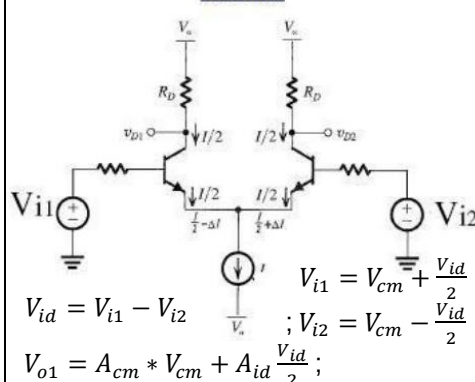
מגבר זרם: 1. Ai גדול 2. Rin קטן 3. Rout גדול

מגבר התנגדות: 1. Rin גדול 2. Rout קטן 3. Rout קטן

מגבר מוליכות: 1. Gm גדול 2. Rin גדול 3. Rout גדול

ע"י חיבור שילוב של טרנזיסטורים שונים נוכל לקבל הגברים שונים.

מגבר הפרש



$$V_{i1} = V_{cm} + \frac{V_{id}}{2}$$

$$V_{i2} = V_{cm} - \frac{V_{id}}{2}$$

$$V_{o1} = A_{cm} * V_{cm} + A_{id} \frac{V_{id}}{2}$$

ד"ר שינוי יחסית גדול במתח הכניסה של הטרנזיסטורים או יכולים לגרום שדרס יעבור רק בצד אחד.

כל עוד הפרש בין מתח הטרנזיסטור האחד למתח הטרנזיסטור השני **קטן מ-20mV**, שניהם יהיו פעילים.

תפקיד מגבר הפרש: להגביר את הפרש הדפנציאלי ולדחות אות משותף.

נקודות חשובות:

כאשר מדובר במעגל סימטרי נוכל לחצות את המעגל ל-2 ולטפל בחצי אחד, תוך כדי התחשבות בנקודות הבאות:

1. מקור מתח מחולק ל-2: $V_s / 2$

2. התנגדות מקור מתח מחולקת ל-2 (נגדים בטור): $R_s / 2$

3. התנגדות פנימית של מקור זרם מופלגת פי 2 (נגדים במקביל): $R_s' / 2$

$$V_{ic} = V_{cm} = \frac{V_{i1} + V_{i2}}{2}; r_\pi f(I/2)$$

חישוב AC:

נבנה מעגל תמורה ונתחשב בהתנגדות הפנימית של מקור הזרם.

$$A_d = \frac{V_{out}}{V_{in}}; V_{in} = \frac{V_s}{2}$$

חישוב ACm:

נבנה מעגל תמורה ונתחשב בהתנגדות הפנימית של מקור הזרם.

$$A_{cm} = \frac{V_{out}}{V_{cm}}; V_{cm} = \frac{V_s}{2}$$

Common Mode Rejection Ratio

- ככל שהיחס גדול יותר, כך מגבר הפרש דוחה את האות המשותף ומגביר טוב יותר ההפרש.

$$CMRR = 20 \log \left| \frac{A_d}{A_{cm}} \right|$$

A_d - הגבר הפרש A_{cm} - הגבר אות משותף

תגובת תדר של מגברים

קבלים פרזיטים:

עכבה של קבל:

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

ב- DC כאשר $\omega = 0$ נקבל: $Z_c = \frac{1}{0C} = \frac{1}{0} = \infty$ כלומר התנגדות אינסופית והקבל מתנהג כנתק.

סדר גודל של קבלים:

קבלים בעלי קיבול נמוך מ-נאנו פרד נחשבים קבלים קטנים.

קבלים בעלי קיבול גבוה-שווה לנאנו פרד נחשבים קבלים גדולים.

תדרים נמוכים: קבל נמוך מהווה נתק.

תדרים ביניים: קבל נמוך - משפיעו

תדרים גבוהים: קבל נמוך מהווה קצר.

הקיבול הפרזיטי מתפתח לא רק בלחות מקבילים:

בטרנזיסטור MOSFET

בין ה- drain ל- gate: C_{gd} בין הבסיס והאמיטר: $C_{be} = C_{\pi}$

בין ה- source ל- gate: C_{gs} בין הבסיס והקולקטור: $C_{bc} = C_{\mu}$

$$V_{o2} = A_{cm} * V_{cm} - A_{id} \frac{V_{id}}{2}$$

סדר הגודל של הקיבולים הפרזיטים הוא פיקו-פארד.

התחום 3db קובע את הגבול שבו עוצמת ההגבר ירדה פי 2.

$$\tau = RC = \frac{1}{\omega}; \tau = \frac{1}{\omega_{3dB}} \rightarrow \omega_{3dB} = \frac{1}{\tau}$$

שיטת OTC

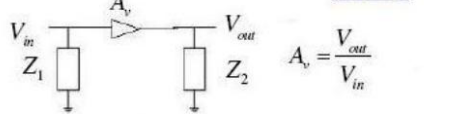
א. מנתקים את כל שאר הקבלים למעט הקבל שעבורו אנחנו מחשבים התנגדות שקולה ומאפסים מקורות ב"ת.

ב. שמים מקור בוחן במקום הקבל שעבורו אנחנו מחשבים.

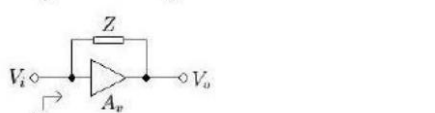
ד. חוזרים על התהליך לכל הקבלים בנפרד. כאשר $\tau_i = C_i \cdot R_i$

$$\omega_{3dB} = \frac{1}{\tau_{total}}; \tau_{total} = \tau_1 + \tau_2 + \dots$$

משפט מילר



$$A_v = \frac{V_{out}}{V_{in}}$$



במקרה שלנו העכבות הם קבלים ולכן:

$$c1 = c(1-A)$$

$$c2 = c(1-\frac{1}{A})$$

דיודות

דיודה היא רכיב שמשמש נתק במידה ולא נפרץ או קצר במידה ונפרץ.

עבור דיודה אידיאלית אם הכניסה לדיודה היא גדולה

מאפס אזי הדיודה היא קצר אחרת היא נתק

בדיודה לא אידיאלית נקודת הפריצה היא 0.7V

$$I = I_S (e^{V_D / (\eta V_T)} - 1)$$

I - הזרם בדיודה

I_s - זרם הזליגה בדיודה (זה הזרם שזורם בדיודה כאשר היא במתח אחורי)

V_D - המתח על הדיודה; n נתונים לנו

תמיד

דיאגרמת בודה:

נגיע ל- $H(\omega)$ מהצורה הבאה:

$$H(j\omega) = A \left(\frac{1 + \frac{j\omega}{\omega_{z1}}}{1 + \frac{j\omega}{\omega_{p1}}} \right) \left(\frac{1 + \frac{j\omega}{\omega_{z2}}}{1 + \frac{j\omega}{\omega_{p2}}} \right)$$

נרשום את הקטבים והאפסים מתוך $H(j\omega)$
אמפליטודה: $Const = 20 \log(|A|)$

אפסים: אמפליטודה=0, עד ל- $\log(|\omega_{z1}|)$.
ב- $\log(|\omega_{z1}|)$, האפס תורם 20db/dec (מעלה)
אפס בראשית: תרומה של שיפוע של 20db/dec (מתחיל 10^{-2} -40m)

קטבים: אמפליטודה=0, עד ל- $\log(|\omega_{p1}|)$.
ב- $\log(|\omega_{p1}|)$, האפס תורם 20db/dec (מוריד)
קוטב בראשית: תרומה של שיפוע שלילי -20db/dec (מתחיל מ-40 10^{-2})
אם יש ריבוי באפסים/קטבים השיפוע הוא פי הריבוי.
בצורה יותר מדויקת כאשר ω קטן מהקוטב יש לנו 0 dB. כאשר ω שווה לקוטב יש לנו -3dB. כאשר ω גדול מהקוטב יש לנו ירידה בשיפוע של -20dB/dec.

בסוף עושים סופרפוזיציה של כל הגרפים.

פאזה:

Const=0

אם יש מקדם של -1 זה מוסיף 180° קבוע.
אפסים: הפאזה=0 עד ל- $\log(|\omega_{z1}|/10)$. נתחיל לעלות כאשר ב- $\log(|\omega_{z1}|)$ אנו מוסיפים 45° וב- $\log(|10\omega_{z1}|)$ משלימים עלייה של 90° ומיישרים את הגרף.

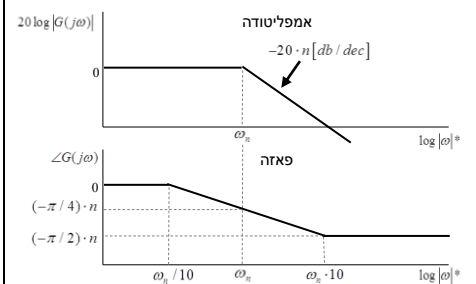
קטבים: הפאזה=0 עד ל- $\log(|\omega_{p1}|/10)$. נתחיל לרדת כאשר ב- $\log(|\omega_{p1}|)$ אנו יורדים 45° וב- $\log(|10\omega_{p1}|)$ משלימים ירידה של 90° ומיישרים את הגרף.

אפסים/קטבים בראשית: תרומה קבועה של $\pm 90^\circ$.
אם יש ריבוי באפסים/קטבים השיפוע הוא פי הריבוי.

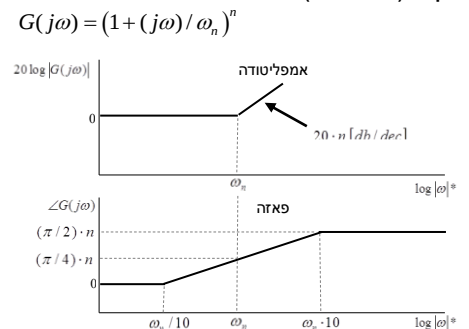
בסוף עושים סופרפוזיציה של כל הגרפים.

ניתוח בודה של פונקציות בסיסיות:
פונקציה (קוטב שמאלי):

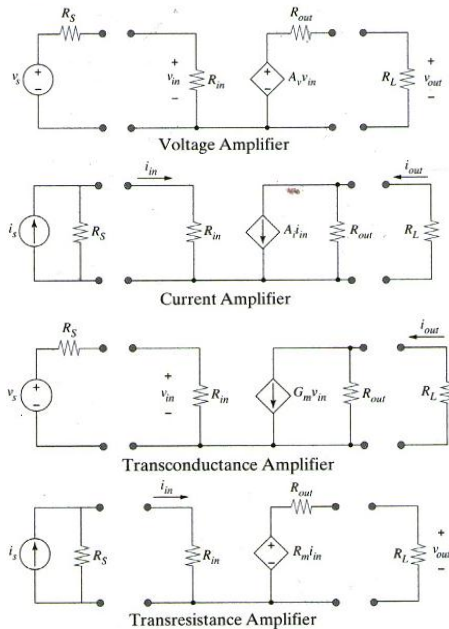
$$G(j\omega) = \left(\frac{1}{1 + (j\omega)/\omega_n} \right)^n$$



פונקציה (אפס שמאלי):



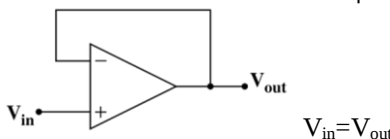
Two Ports



The T Model

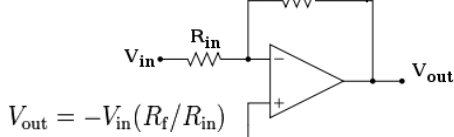
This values for two port only				
Type	Application	Controlled source	rin	rout
ce	Transconductance	g_m	r_π	$r_o r_{oc}$
cs	Transconductance	g_m	∞	$r_o r_{oc}$
Ce(deg)	Externally controlled Transconductance	$\frac{g_m}{1 + g_m R_E}$	$r_\pi(1 + g_m R_E)$	$r_o(1 + g_m R_E) r_{oc}$
cb	Current buffer	-1	$\frac{1}{g_m}$	$r_o(1 + g_m(r_\pi R_S) r_{oc})$
cg	Current buffer	-1	$\frac{1}{g_m + g_{mb}}$	$r_o(1 + g_m R_S) r_{oc}$
cc	Voltage buffer	1	$r_\pi + \beta(r_o r_{oc} R_L)$	$\frac{1}{g_m} + \frac{R_S}{\beta}$
cd	Voltage buffer	$\frac{g_m}{g_m + g_{mb}}$	∞	$\frac{1}{g_m + g_{mb}}$

חוצץ מתח:



בחוצץ מתח משתמשים כאשר רוצים לחבר רכיב במקביל למעגל בלי להשפיע על המעגל כלל.

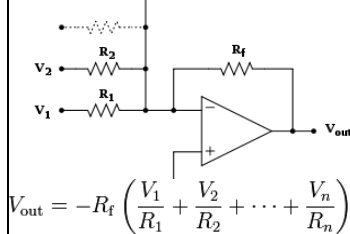
מגבר הופך:



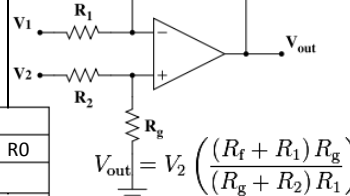
Values for transistors in circuit			
Type	rin	Av0	RO
T-MODEL $r_{eT} = \alpha/g_m$			
ce	$(\beta + 1)r_e$	$-g_m R_C$	R_C
Ce(deg)	$(\beta + 1)(r_e + R_E)$	$\frac{-g_m R_C}{1 + g_m R_E}$	R_C
cb	r_e	$g_m R_C$	R_C
Emitter follower	$(\beta + 1)(r_e + R_L)$	1	r_e
cs	∞	$-g_m R_D$	R_D
Cs with Rs	∞	$\frac{-g_m R_D}{1 + g_m R_S}$	R_D
cg	$\frac{1}{g_m}$	$g_m R_D$	R_D
Source follower	∞	1	$\frac{1}{g_m}$

דוגמאות מגברים:

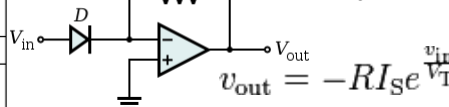
מסכם מהפך:



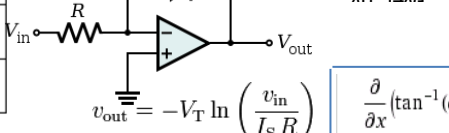
מגבר הפרש:



מגבר אנוני לוג:



מגבר לוג:



השהיית חבורה: $\tau = -\frac{d}{d\omega} \text{phase}$
 $\frac{\partial}{\partial x} (\tan^{-1}(ax)) = \frac{a}{a^2 x^2 + 1}$