

סיכום קורס מעלים אנלוגיים - נרה מנהל

רקע:

מרה - מר פרץ

מבחן - זמסל מרציון הסופי
אתר הקורס -

חומר פתיח, 3 שאלות פתיחיות

<https://www.ee.bgu.ac.il/~analog/>

Recommended literature

- Course slides
- Sergio Franco, "Design With Operational Amplifiers And Analog Integrated Circuits" (any addition)
- Ramakant A. Gayakwad, "Op-amps and linear integrated circuit technology:
- David A. Johns, Ken Martin, "Analog Integrated Circuit Design"
- Hans Camenzind, "Designing Analog Chips"
- Analog IC Design - <http://www.aicdesign.org/>
- Analog Electronic circuits - <http://www.ee.bgu.ac.il/~angcirc>

ספחת מנאלות:

Lesson #1 Outline

- Review of basic transistor circuits
 - Current mirrors
 - Voltage reference (Bandgap)
 - Differential pair
- The operational amplifier (opamp)
 - Basic internal (transistor) circuit
 - Ideal amplifier
 - Characteristics of the ideal opamp
- Basic circuits
 - Inverting amp, Non-inverting amp
 - Summing, difference, integrator, differentiator
- Additional applications
 - Voltage reference, current source

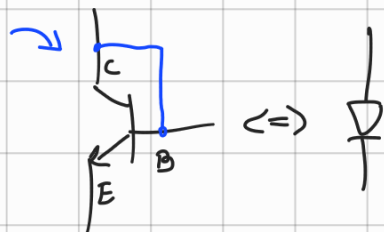
• בעולם האלקטרוניקה יש 3 פלאפורמות:
אנלוגית, דיגיטלית ומעוללת.

חברה על מבנה ארניסאורים

דיוקה:

- בדרך כלל זו הדרך לממש דיוקה
במעגלי מנאלות.

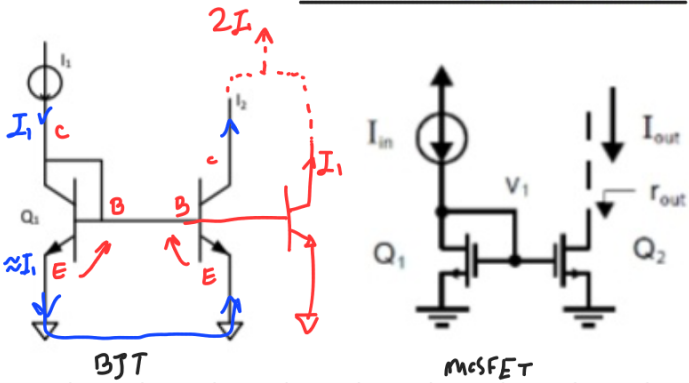
ברגע שמכניסים את
הזרם בין הבסיס לדיוקה
יצטרף דיוקה.



⊗ כאשר נרצה לממש בסדרת MOSFET

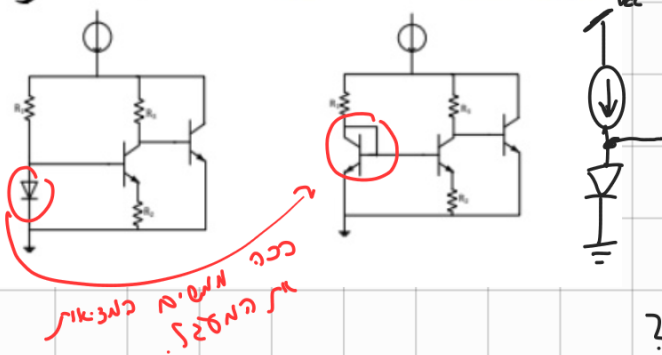
על ההכרח נקל דיוקה מכיוון שארניסאורים בניו יורק ואל מנאלות
העצם זה שלקחנו את אותה הרגליים וקיצרנו אותה אז יצרנו דיוקה
ספציית. בכדי טקול תפוקה של דיוקה אז גודל הדיוקה צריך להיות
משמעותי. (לוא במנס) נצטרך מאד את המעלה כדי לקבל אפקט צומע

Current Mirror - קראי 15



תפקידו הוא לקחת מקור זרם
 בסיסי I_1 ולשכפל את מקור הזרם עצמו
 עידו ובכך חיבור עצמים בתקדף ניתן
 לשכפל את מקור הזרם מס' פעמים.
 נשים לב כי חיך מהזרם בורה לבסיס
 ולכן ישנה אי איזולציה בין הזרם המקורי
 לזרם שמופיע בעצמים התקדולים.

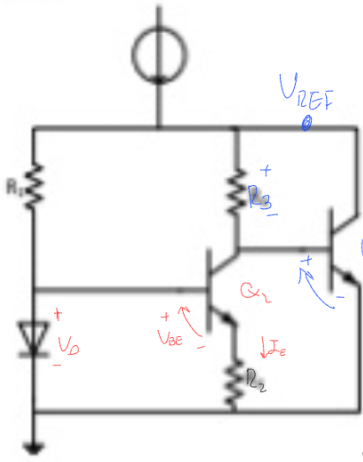
Voltage Reference (Bandgap) - יצירה ריפוף



נרצה למדוד מתח כוללה במעגדה
 ונרצה לקדם שאכן המתח הזה הוא
 בדיוק מה שאנחנו מודדים ושאינו סליה
 כלשהי. הציורק המתח רכונט במעגל
 אנלוגיים הוא צורך זינרי.
 אז אין מ"צרים מתח רפרנט כזה??
 ניקח מקור זרם שממומל ע"י ראי זרם ונפבר אותו לעינדה שמקובלת לאדמה.

הערה: בהנחה ואנו מצביעים זרם I מספיק גבוה, אלוהו מוצאים במצב
 בו הזרם מפסיק להשתנות. ההערה שדיודה משמש סט האמפ'
 $2mV/^\circ C$ שט אצור קרואי שתלני לנו את ממש היפרנס.
 משא ה-Bandgap מסא בהערה זו ע"כ שמשקל את האוקארין
 וז"ל ש"הספיקין שפרו פריטר עלא משתנה (כי פ"קווי)

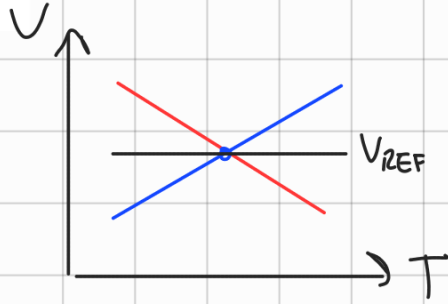
נקט קדום
 שטי תלוי
 באמפ' } => דיודה
 מבו שפואי עם
 האמפ'



יורד עם הטמפרטורה
 יורד עם הטמפרטורה
 קבוע עם הטמפרטורה

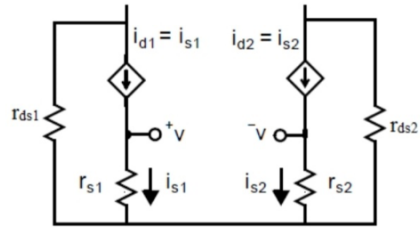
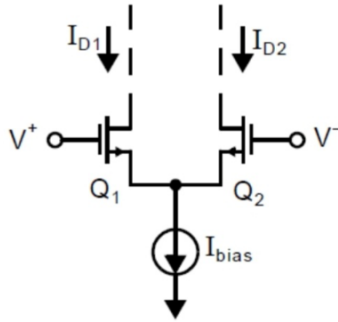
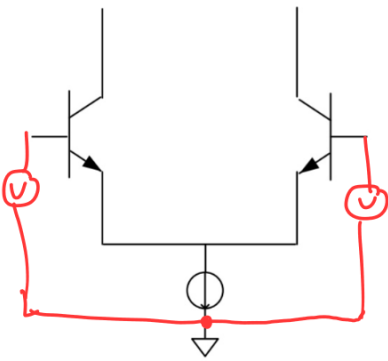
$$I_E = \frac{V_D - V_{BE}}{R_2} \approx \frac{\Delta V_{BE}}{R_2}$$

$$V_{REF} = V_{BE_{Q3}} + I_{R3} \cdot R_3 = V_{BE_{Q3}} + \Delta V_{BE} \cdot \frac{R_3}{R_2}$$



V_{BE} - יורד עם הטמפרטורה
 ΔV_{BE} - סוף עם הטמפרטורה
 $\frac{R_3}{R_2}$ - סוף עם הטמפרטורה

Differential Pair - זוג דיפרנציאלי



$$i_{d1} = i_{s1} = \frac{V_{in}}{r_{s1} + r_{s2}} \quad r_s = 1/g_m$$

Q_1 and Q_2 have the same bias currents $\rightarrow g_{m1} = g_{m2}$

$$i_{d1} = \frac{g_{m1}}{2} V_{in} \quad i_{d2} = i_{s2} = -i_{d1} \rightarrow i_{d2} = -\frac{g_{m1}}{2} V_{in}$$

$$i_{out} \equiv i_{d1} - i_{d2} \rightarrow i_{out} = g_{m1} V_{in}$$

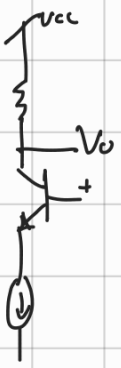
זוג דיפרנציאלי הוא שני אינר שהאמיאלים שלהם מחוברים יחד

למקור זרם משותף. נוכל לחבר מקורות אחר קאל עשני הקטיסים על הארץ ואותם לחבר זאקמיה בצורה סימטרית (מפיע באיור).

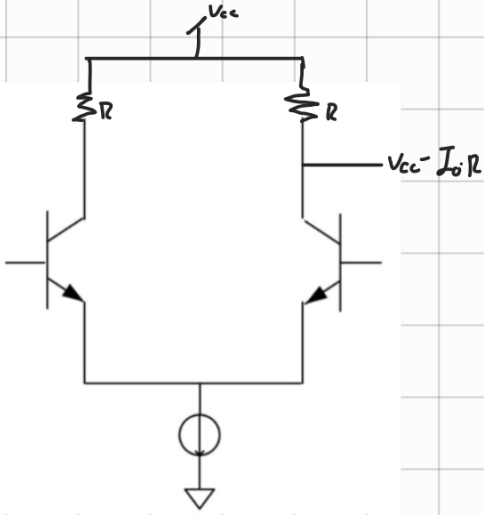
כאשר 2 האותות הקטנים שווים אז הפרם בסני הארץ שווה וטוטר האות הימני יהיה קצת יותר גדול מהאות השמאלי אז בצד

ימני קאל קצת יותר זרם סיזחה לארץ לחזק יותר אוב לזמר זרמנו קטינו. באיכון על הפרם.

קולומה:

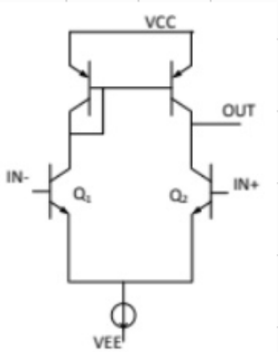


כאשר נשים קצת יותר ממה קבל כ הזרם יותר גדול כך
 ממיל המיתם הנפיל של V_b יהיה יותר נמוך כלפי האדמה, כך
 שכבר השני המיתם של הטרנז יהיה נמוך יותר כך שהמיתם
 כלפי האדמה יהיה גבוה יותר וקיבלנו הסרת מיתם ישנוני מ-0
 כך $I_{out} = g_m \cdot V_{in}$.



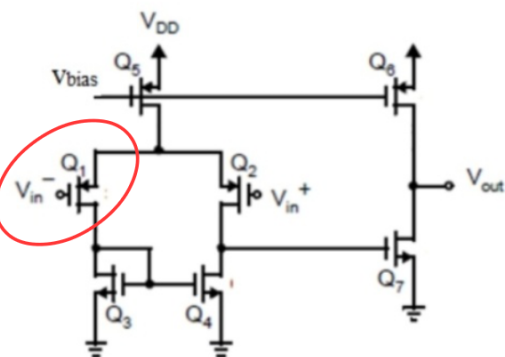
הפנתי ה- V_{cc} ב- $V_b = V_{cc} - I_c R$ קצת ממה שיפוע
 הזרם (כלומר ההזרם R של הזרם הפערנציאלי).
 אנחנו חוצים להשתמש במספרת של זרם דפרנציאלי.
 כדי להבין מהו ההפרש הפוטנציאלי בין 2 ק"י.
 נדידה דיפרנציאלי היא נדידה אחת ויאהב

נרצה להיות מסוגלים לנהיג סכמה מאוד קטנים ולהכנס אותם לסכמה
 יותר גבוהים שאפשר לעבוד איתם לכן בהכרח R יהיה גבוה מאוד.
 ולכן המקום לשים נגדים סקייים (חסרון) נקודה מספרת של האי זכרם שניפח
 לנו התנגדות גדולה. ע"י האי זכרם יהיה אפשר לפקד התנגדות מאוד
 גדולה באיזור קי אקדור מסוים \Leftarrow מספרים זרמים מאוד קטנים \Leftarrow מ"צרים
 פוטנציאלי גבוה.

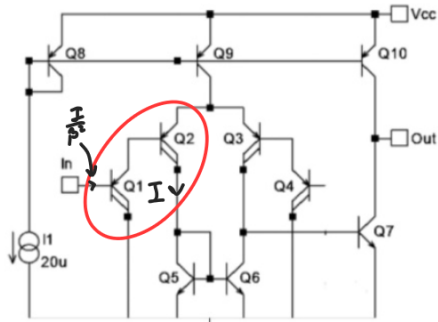


בסכמה ע"י חיבור של האי זכרם (באופן הנ"ל \Leftarrow)
 לפז דיפרנציאלי קבל דרזה דיפרנציאלי
 כך שבה- V_b קבל הזרם מאוד גדול.

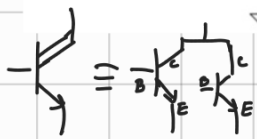
כעת נרצה להזקוף יותר את ההכנסה לכן
 נשתמש בארני שראוני שלו הוא ככה שכאופן
 סל"י לא זרים לו זכרם דקסיס (MOS).



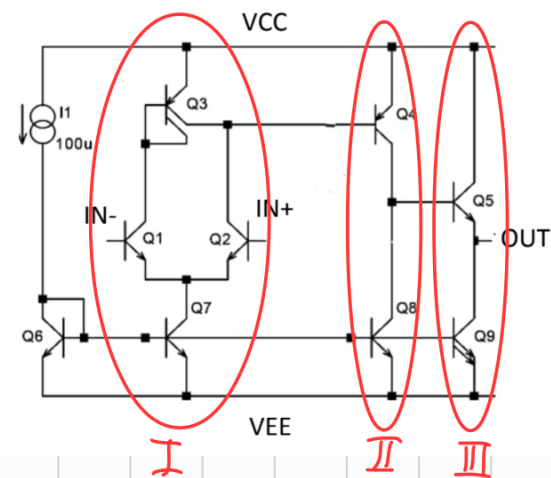
זו דרך אחת להזקוף את התנגדות הכניסה.
 דרך נוספת הנה (בסדרת DJT) $\sqrt{\quad}$



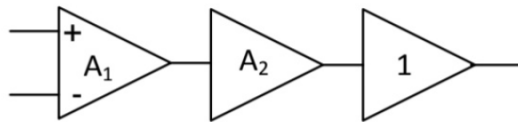
ניסג דרזר כפולה (קטו דרזרנטון) - דרזר
 זו מכפילי את β כן שבבסיס הזרם הוא
 $\frac{I}{\beta}$. במעגל הנל נקל דרזר דיפרנציאלי משמש
 כהזרר ולמזר מכן דרזר ניספ-שמוריפז את אימפדנס
 המוצר והמשמש כהזרר. אך דרזר זו לא מוריפז
 נמון מספיק את אימפדנס המוצר והספיקין זב נגבר שרת!



מגבר שרת

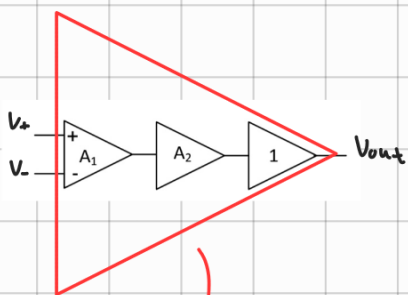


מגבר איפז גז 3 דרזר-הירעיון
 הוא ערשור דרזר האשונה עט הזרר
 כמה שיוקר לבורה וכן עמור סליה
 במוצר נקל סליה מאז קלכ בכניסה
 ועמור סליה בכניסה נקל סליה מאז גזורה
 במוצר.



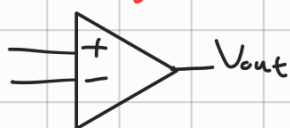
כניסה:	diff	Single	single
הזרר:	$\sim 10^4$	~ 100	~ 1

⊗ הסיבה שארזרז המשוני יז הזרר משמשותי היא בכפי שהפרעלז אחוסי דיוקים מהדרזר הזרות יסוקפו אחור ככנתות יחסי



תכונות של מגבר שרת:

• ירצה עיצוב תיאום התנגדות כן שניספיע כמה שפחות של התנגדות המוצר כלומר $R_{out} \rightarrow 0$ ומצד שני $R_{in} \rightarrow \infty$.

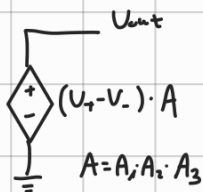


• ההפרש בין V_+ ל- V_- משמש כתייסן מרם אשר משקל

למקור מתח תלוי כאשר התוצר של מקור המתח הוא

$(V_+ - V_-) \cdot A$ והזרר A הני A_1, A_2, A_3 (במקור מעסי גדל"כ $10^5 - 10^7$).

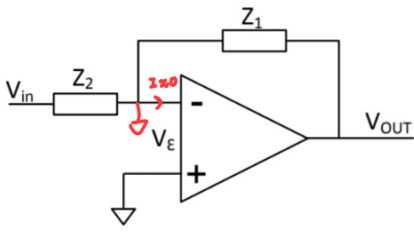
נרצה $A \rightarrow \infty$, נניה V_{out} עסי אז $(V_+ - V_-)$ הפרס פול(נציאליס מאוז קלן).



• רחוב סזכ אינסופי (סגול) כלומר DC ו- AC מוגדרים באותו אופן (במקל- מעסי כן C BW)

Inverting Amp Virtual Ground

מגבר מתוך:

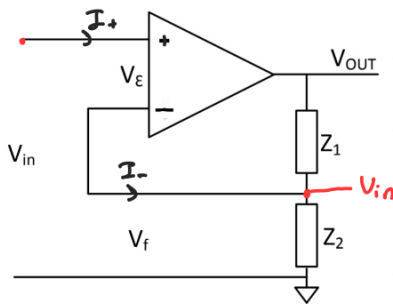


מכיוון שיש בולטנאל 0 בין ההדקים ו- V_+ מאריך לאדמה נקט כי $V_- = V_+$ (אדמה וירטואלית) ובנוסף התנגדות כניסה אינסופית. לכן כל הזרם עובר במשך ונקל:

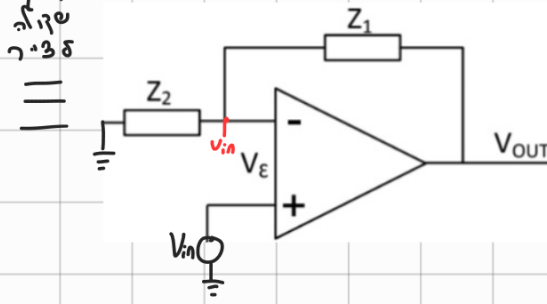
$$\frac{V_{in} - 0}{Z_2} = \frac{0 - V_{out}}{Z_1} \Rightarrow \frac{V_{out}}{V_{in}} = -\frac{Z_1}{Z_2}$$

Non-inverting Amp

מגבר עם מתוך:



שקולת
3.38



גם כאן מכיוון שהפלט היסולציוני הוא 0 והתנגדות כניסה אינסופית

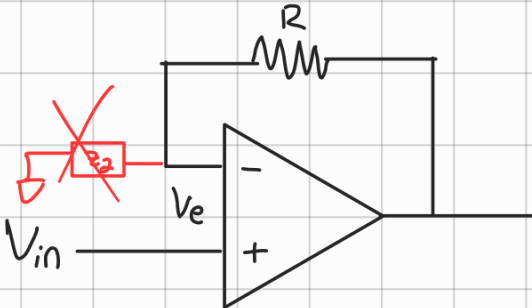
לכן $I_- = I_+ = 0$ נקט כי $V_- = V_+$ ומכאן ש:

$$V_{in} = V_o \cdot \frac{Z_2}{Z_1 + Z_2} \Rightarrow \frac{V_o}{V_{in}} = \frac{Z_1 + Z_2}{Z_2} = 1 + \frac{Z_1}{Z_2}$$



$$V_\epsilon = V_{in} - V_f$$

נקרה פראי (שימוש מאוד) נקרא חוצץ/יחידה Buffer:



כאן בעצם Z_2 הוא אימפדנס גבוה מאוד ולכן $\frac{V_o}{V_{in}} = 1 + \frac{R}{Z_2} = 1$.

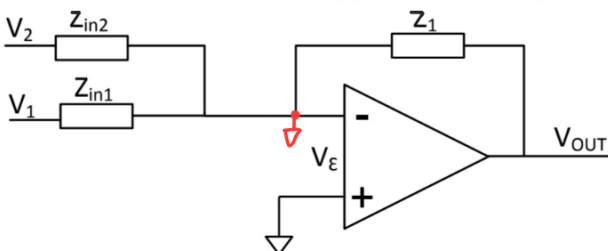
את הנגד R שמים כדי שלא לעשות

קצר בין המיפא לעניסה. כי הפרמים יכולים להיות די גבוהים

כאשר עושים איזון ראשון (חשוב להבין שהנגד הזה לא משנה את פסולת המגבר).

Summing Amp

מגבר סוכום:

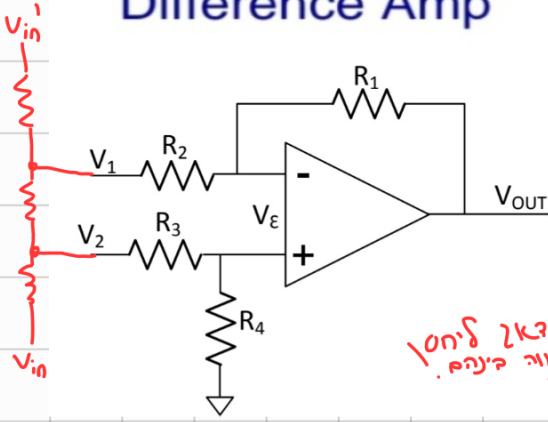


מכיוון שהמשאן לינארי דרך נוהי לעתים איתו היא הסופר פוליצייה.

$$V_{out,1} = -\frac{Z_1}{Z_{in,1}} \cdot V_1 \Rightarrow V_{out_{total}} = -\left[V_1 \cdot \frac{Z_1}{Z_{in,1}} + V_2 \cdot \frac{Z_1}{Z_{in,2}} \right]$$

$$V_{out,2} = -\frac{Z_1}{Z_{in,2}} \cdot V_2$$

Difference Amp



מגבר הפרטי:

למה משתמש בו? כדי להגדיר את האנפורמטורה הפרטית!
 כלומר כאשר נרצה מגדירה על ביחס לצורה, וביון שהמערכת
 היא ליניארית נוכל לעשות ספר פוליציה ונבדוק את
 צפוף המערכת כפי אחר כאשר משתנים את V_1
 ואחר כך כאשר משתנים את V_2 .

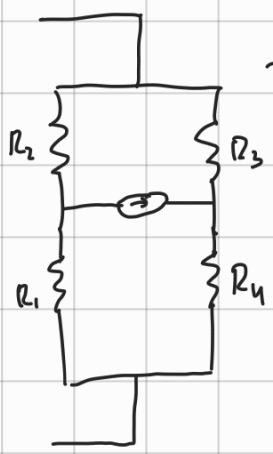
נבאק לחסל!
 שווה ביניהם!

$$V_{out_1} = -V_1 \left(\frac{R_1}{R_2} \right)$$

$$V_{out_2} = V_2 \left(\frac{R_4}{R_3 + R_4} \right)$$

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{R_3}{R_4} \Rightarrow V_{out} = \frac{R_1}{R_2} (V_2 - V_1)$$

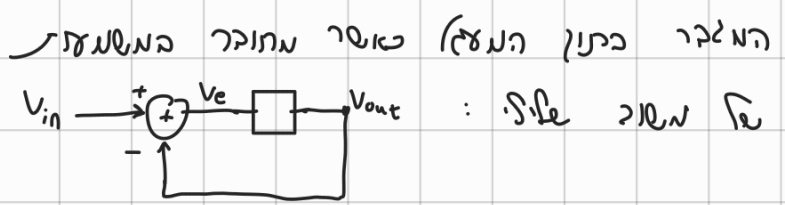
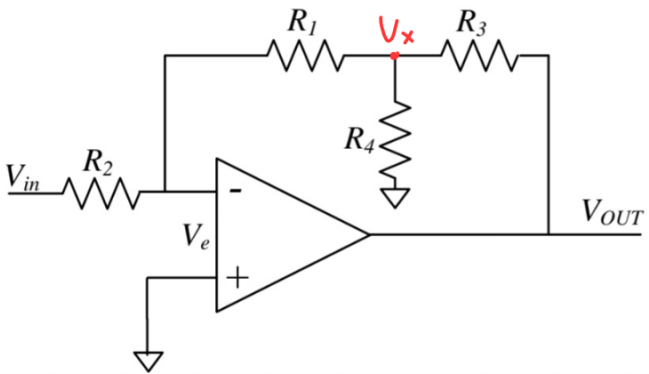
חברון: כאשר נרצה לשנות את ההגדרה $\frac{R_1}{R_2}$ ננה ע"י שינוי R_1 ניה
 תיביים לשנות גם את R_3/R_4 כדי לשמור על היחס (בהמשך הקורס
 נראה איך נאלץ בקטור זה).



נשים על כ המבנה של מגבר הפרטי מצביר את גסר
 וינזסון באמצעות איזון של יחס נקדים אפשר
 להזיז עמפק שבו הפרט הפולצ'אלים הוא אפס. שמים
 באמצע מ-ג-זרם מאב רזים, כאשר הגסר מאוכן
 כלומר $\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4}$ אז $V_o = \frac{R_1}{R_2} (V_2 - V_1)$

נבדק עדי קצת על המשמעות של המגבר בתוך המעלה:

Feedback forces zero error state



המגבר בתוך המעלה כאשר מתוקר במשמעות
 של משוק שלי: V_{in} ו V_{out}
 כאשר אנו מודדים את V_{out} ומחסיכים אותו
 מ V_{in} ע"י משוק נקז שהתפקיד של \square
 יהיה ע"יבר סיגנל בן שהנק V_{out} ו V_{in}
 יהיו שווים. ובצדס ק המגבר שאז
 e- V_e יהיה אפס (כי האפס בן המדקים).

$$\frac{V_{in} - 0}{R_2} = \frac{0 - V_x}{R_1} \Rightarrow \frac{V_x}{V_{in}} = -\frac{R_1}{R_2}$$

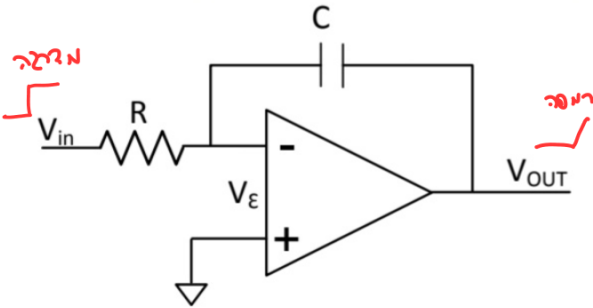
⊗ ק"ה 63 המצאה 2 כנאל יס לעור אד-
 ע"י מחלק נתר כ-למבוא את V_x אכל
 הכרמים ע"י שווים.

כמה שנתרם של חיבים שמכילים עמו רק נגדים.
 ערוך אלו הם משתמשים בסולמות המסולות אנולוגיים אלא מן
 בקולות.

אינטגרלר:

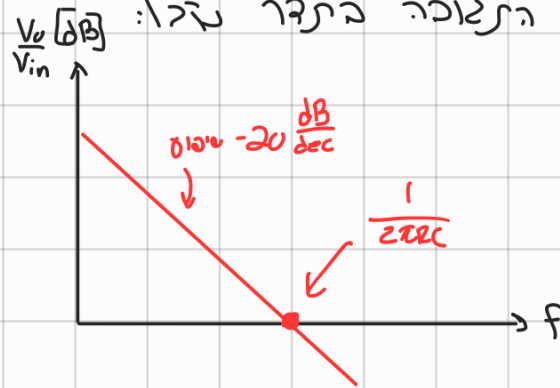
Integrator Amp

המסלול של שטח קבול במקום נגד
 במסלול ונקול:



$$V_{out} = \frac{1}{RC} \int V_{in} dt = \frac{1}{RC} V_{in}$$

אם נצ"ר את התשובה בתור עקול:



$\frac{1}{s} = \int dt$

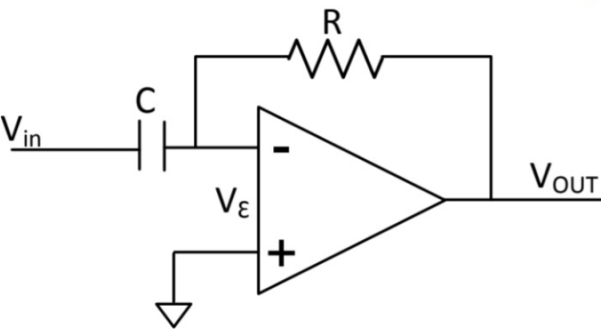
ניתן ביטול עקול מראשית עקול:

כניי כי ניתן את כנסה V חיבול יום-duty cycle
 כאשר תדיר כנסה f_c ותדיר של אה הוא f_c כן
 ש f_c << f_c מה את המופא?
 תשובה: את ה-DC יהיה $\frac{V \cdot T_{off}}{T_{off}} = \frac{V}{2}$ שכל
 המופא של אינטגרל של את חיבול

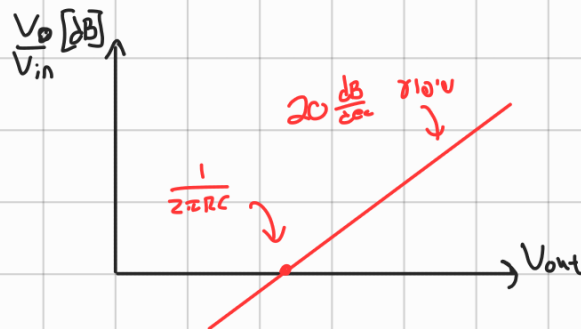
לוקר:

Differentiator Amp

המסלול של עקול עכו עמקוד את AC

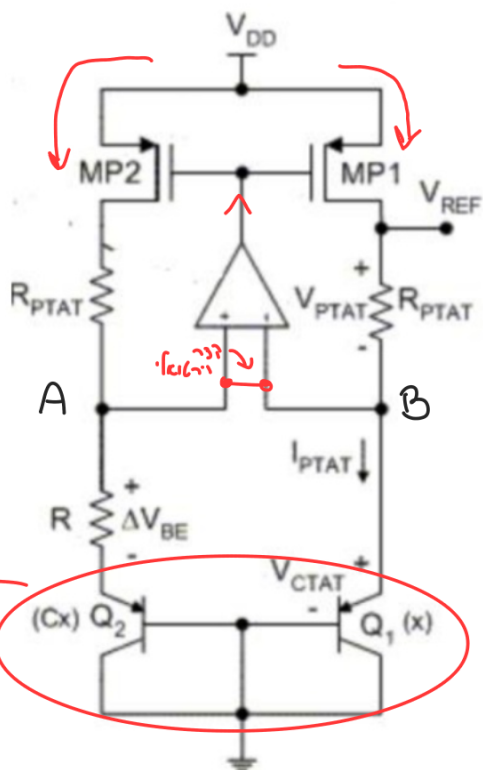


$$V_{out} = \frac{RC}{R} V_{in} = RC \cdot V_{in}$$

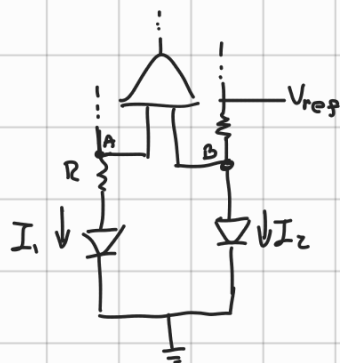


מתח הרגום באמצעות אופ:

Voltage reference by OpAmp (Bandgap)



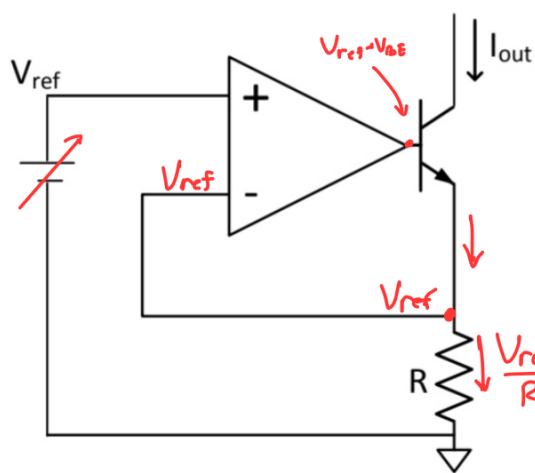
ננסה להבין איך נוסחת המגבר עוזרת לנו במעגל. נרצה שהמתח V_{REF} לא יהיה תלוי בליניאר אמפ. 2 הארץ בתחתית המעגל מהווים כיווצות והנגד R מייצג את ΔV_{BE} שלמדידתו ביסודו מספר כסדיברט של מתח הרגום (ΔV_{BE} מסתנה שיהיה עם האמפ). (נסתכל על מעגל שקוף:



הסדום המגבר קואז להצבים את הפרמטרים I_1, I_2

כך שהפרט הפואונצאלים בין A ל-B יהיה 0, זה נעשה ע"י כך שהמגבר נותן הוכחה יתרון שאיננו ע"י הארץ הסליונים עסקל צרימים ככה שבין A, B הפואונצאלים שווים ונקלל הסדום ל: $V_{BE_2} + \Delta V_{BE} = V_{BE_1}$ והסדום כל המשחק יהיה של המתח שנופל על הנגד R_{PTAT} הסקדום הזכור של הסדום (MP1) וכך קבל V_{REF} .

Current source by OpAmp



מקור זרם ע"י מגבר:

התנגדות אינסופית של מקור זרם בעייתית לנו ולכן נרצה באמצעות מקורות מים ע"י צר מקור זרם ושעל עסקה של הזרם הזכה.

הכדי לעצור זרם שלילי לקחת מקור מים שאנו יכולים להסתמך עליו V_{REF} והיכנסים עמסלל הבא ← מה שקורה במעגל זה ש המתגבר קואז עקרה ויראואליו וקבל שהמתח ב- $V_- = V_{REF}$ ואז $I_R = \frac{V_{REF}}{R}$ ומכיוון ש: $I_{C1} \approx I_R$ קבל כי הזרם בארץ בקירוב אוב (זרם שהלן לעטים קאן מאוד) הוא $\frac{V_{REF}}{R}$ וכך יצרנו מקור זרם מבוקר!

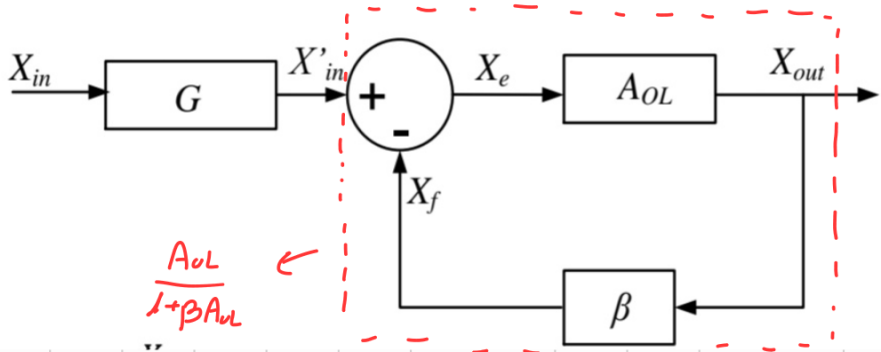
Lesson #2
Outline

- Basic OpAmp circuits
 - Summing, difference, integrator, differentiator
- Basic feedback
 - Feedback definition
 - OpAmp as feedback system
 - Non-inverting and inverting cases
- Static limitations
 - DC errors
 - Bias current, Offset voltage
 - Correction for offsets
 - Output voltage swing, input voltage range
- Dynamic limitations
 - Open-loop response
 - Gain-Bandwidth product

הסדרה חלוקה: נעבור שאנו תמיד סובבים במשך סליל! ולכן במקרה הזה
 הארץ מחוברת ב-CC (כ המוצא הוא דרך V_{be}) ונעבור כי CC לא הופך
 מופע זמן נזכר לזמן השלילי ונעבור משך סליל. אם היינו מחוברים CE
 אז היינו מקבלים היפוך מופע הזמן ולכן היינו מחוברים להיפך
 החיובי.

הקצרת מערכת מחברת שמה כמערכת משלה:

Negative Feedback



כסתם לא מערכת משלה
 עינארית בטיסית משלה היקרה:

- X_{in} - תיאור כלשהו של הכניסה
- X_f - תיאור כלשהו של המוצא
- X_e - הפגיאה בין X_{in} לבין X_f

המטרה של המשך סליל היא להביא את הפגיאה לאפס. ישנן כמה תמסורות במערכת:

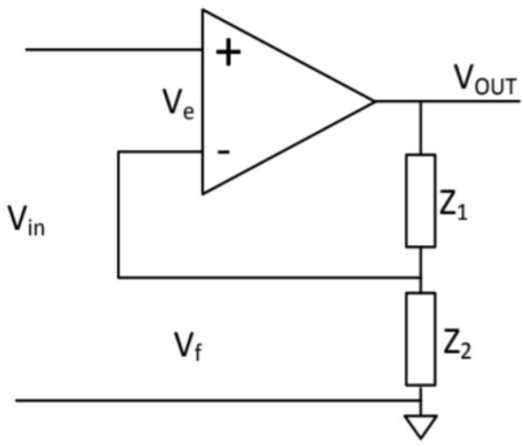
$A_{OL} = \frac{X_{out}}{X_e}$ - open loop response
 $\beta = \frac{X_f}{X_{out}} \overset{\substack{\text{כאשר} \\ X_{in}=0}}{\uparrow} = \frac{X_e}{X_{out}}$
 $G = \frac{X'_{in}}{X_{in}} \overset{\substack{\text{כאשר} \\ X_{out}=0}}{\uparrow} = \frac{X_e}{X_{in}}$

$A_{CL} = \frac{X_{out}}{X_{in}} = G \cdot \frac{A_{OL}}{1 + \beta A_{OL}}$ - Close loop response
 $A_{CL} |_{\beta A_{OL} \gg 1} = \frac{G}{\beta}$
 $A_{CL} |_{\beta A_{OL} \ll 1} = G A_{OL}$

• βA_{OL} - הזבר החוז (Loop Gain) מחזיר את הולנים האופייני כך שבאר ה-ROC
 משלה: אז המערכת יציבה.

• אם $\beta A_{OL} < 1$ המערכת תפקוד אחרי המוצא שלה $(X_{out} = \frac{G}{\beta} X_{in})$

נסתכל פה כמה דוגמאות:



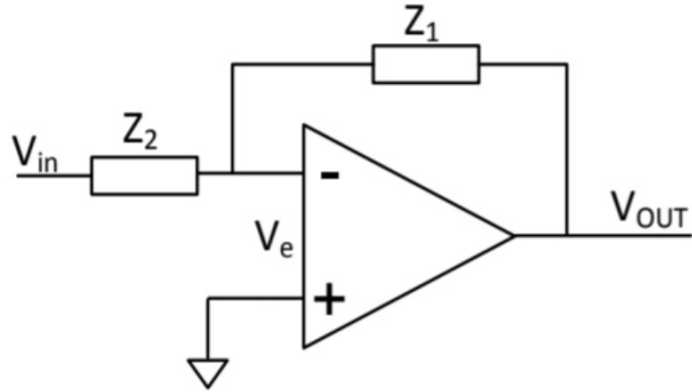
$$G = \left. \frac{V_e}{V_{in}} \right|_{V_{out}=0} = 1$$

$$\beta = \left. \frac{V_e}{V_{out}} \right|_{V_{in}=0} = \frac{Z_2}{Z_1 + Z_2}$$

$$A_{cl} \Big|_{\beta A_{ol} \gg 1} = \frac{G}{\beta} = \frac{Z_1 + Z_2}{Z_2} = 1 + \frac{Z_1}{Z_2}$$

מזכר עא מהפך:

נשים לב כי לעתים
המזכר עא איננו
קובלן שהסגן A
עא הסתעף!



$$G = \left. \frac{V_e}{V_{in}} \right|_{V_{out}=0} = \frac{Z_1}{Z_1 + Z_2}$$

$$\beta = \left. \frac{V_e}{V_{out}} \right|_{V_{in}=0} = \frac{Z_2}{Z_1 + Z_2}$$

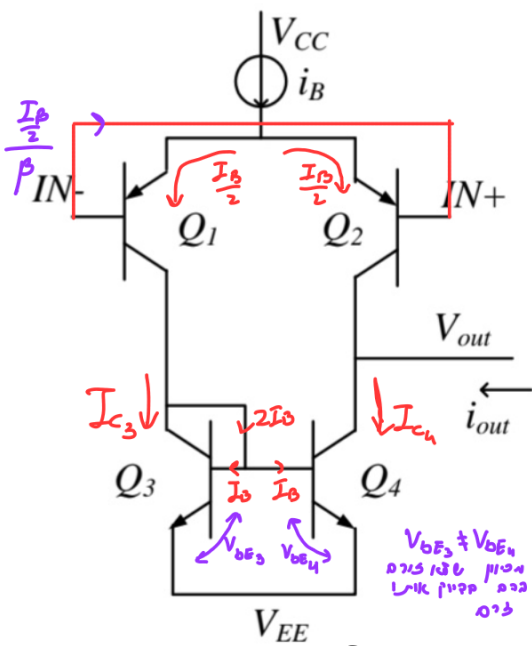
$$A_{cl} \Big|_{\beta A_{ol} \gg 1} = \frac{G}{\beta} = - \frac{\frac{Z_1}{Z_1 + Z_2}}{\frac{Z_2}{Z_1 + Z_2}} = - \frac{Z_1}{Z_2}$$

מזכר מהפך:

גם כאן קובלן
עלמיות שהמזכר
עא איננו
קובלן A כול
ביקרה האינדיאלי

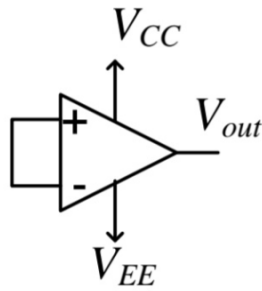
מגבלות סטיות

Static limitations Input stage



* דרוש I סא מזכר (טל דיסרניאל עט עמט אקזידי)
א המזכר

- מגבלות סטיות סא מזכר = מגבלות שהתבטעו
שלהן הן תבטעו סא DC.



- ניקה מזכר מעשי וקצר עו את
הכנסות (ראה ציור) אז נצפה עקב
Vout גדול מאוד ומכיוון שאלמזכר יש
הצגות VCC ו-VEE נניע עקאימה.



- נשים לב (הציון סא דרידי) כי ציור צבם
מיה שצבם לעתה לעתפעה => מיה שיצורים
לחוסר איצוין.
כך שהפגש הפולצבאימ עא מאצו
($I_{C3} = I_{C4} - 2I_B$)

- את הפצאות הסטיות-שצאות DC נחשב בערך מוחלט כיוון סא
הצמט כיוון הפצאה הסתעף. כך שמה שעלמס
מציאומים את המזכר האינדיאלי. בלי שצאות ומסיד סא מני מקורות
שיצורנו לעניס עייצור את התפוקה.

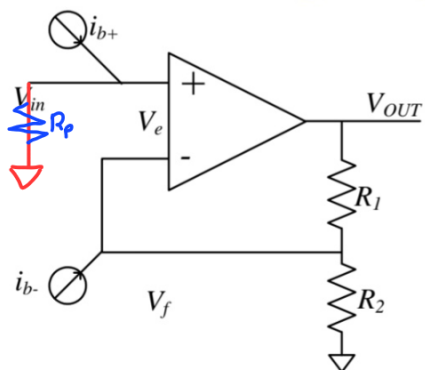
הצוות:

זרם Bias (I)

offset Voltage (II)

עסכים 2 המגדלים שלנו הם הזרם הבסיסי $(\frac{I_B}{\beta})$ ומשני V_{BE} שלנו הם α_3, α_4

Bias current Non-inverting Amp



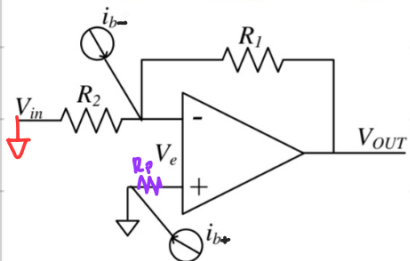
זרם Bias (I): מציינים מקור זרם בו לא אחד מהקני המזכיר. נראה כיצד ההצורה תפסיד את אחד מההקנים (סופרסופרזיה):

- עבור הקני "+": נצין לו נשים על V_{in} באדמה (הוא איור) אין התנגדות בסביבת הקני "+". כגון זרם שנצין בהקני "+". לא ישנה את הפוטנציאל. כגון ששאר offset קמוץ בין לו תביה שונה זאפס: $V_{offset, i_b+} = 0$. נניח והיה נצג (הוא איור) הוט מקלים $V_{offset, i_b+} = i_b+ \cdot R_p (1 + \frac{R_1}{R_2})$

- עבור הקני "-": נצין בו כאשר בו מושגת ו- V_{in} עדין באדמה. הזרם יוכל לצבים רק לכיוון הנגדים R_1, R_2 (כי $V_{in} = 0$) ומכיוון ש: $V_{in} = 0$ לא R_2 בהכרח לא נוכל מיה זאק את הזרם יחסית ה- R_1 ונקל $V_{offset, i_b-} = i_b- \cdot R_1$

נשפור להסתרה של זרם Bias במגדל מופק:

Bias current Inverting Amp



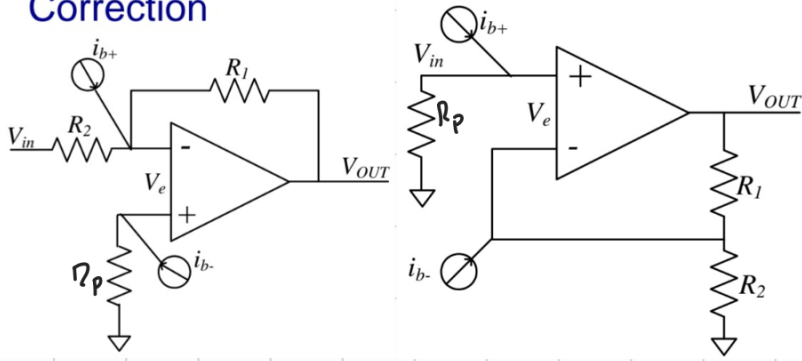
נפאל באונן קומה למקובם (סופרסופרזיה):

- עבור הקני "+": V_{in} באדמה ונקל $V_{offset, i_b+} = 0$ ובמיצה והיה נצג בהקני "+". (הוא איור) היינו מקלים $V_{offset, i_b+} = R_p \cdot i_b+ (1 + \frac{R_1}{R_2})$ נשים על כי התמסורת היא כמו של נצבר לא מופק ולא כי קינץ ש- V_{in} מיצה שם כאילו לא שמו מיה בהקני הפזיה.

- עבור הקני "-": V_{in} באדמה עכן הפוטנציאל של R_2 הוטו 0 ויה הזרם יצבור ה- R_1 ונקל $V_{offset, i_b-} = i_b- \cdot R_1$

מסקנות: עבור מגדל מופק ולא מופק התמסריות אותו הבהר!

Bias current Correction

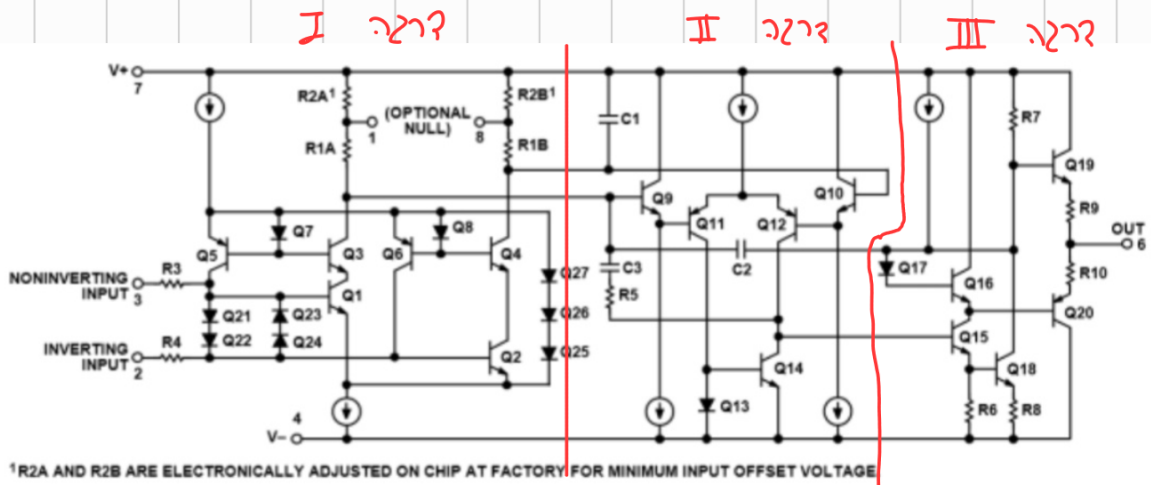


תיקון זרם Bias

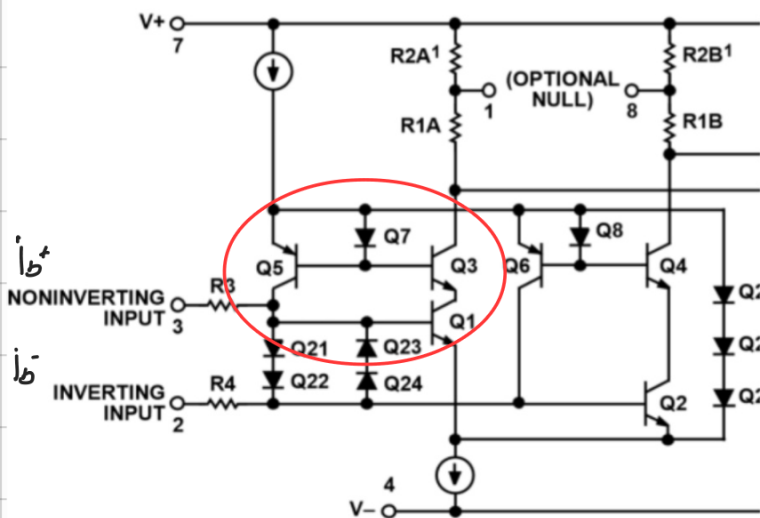
על מנת לתיקן את זרם ה-Bias נוסף נגד ע-זל ה- i_b^+ אם לא נוסף נגד לזרם ה- i_b^- אז

ישנה לזרם ויתיה שלזאי בזן נגד המסל. אם $i_b^+ = i_b^-$ אז $R_p = R_1$ ואז היסליות יקובלו עז כדי לוגל מסויים. בדר"כ נתן ברפי נפרט $i_b^+ - i_b^- = I_{os}$ כוסר I_{os} עריב נתן ב-NA.

*) דוגמא למעגל שבו יש תיקון זרם Bias:



OP-07 (Analog Devices)



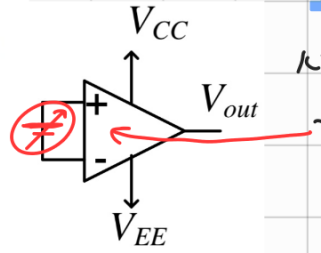
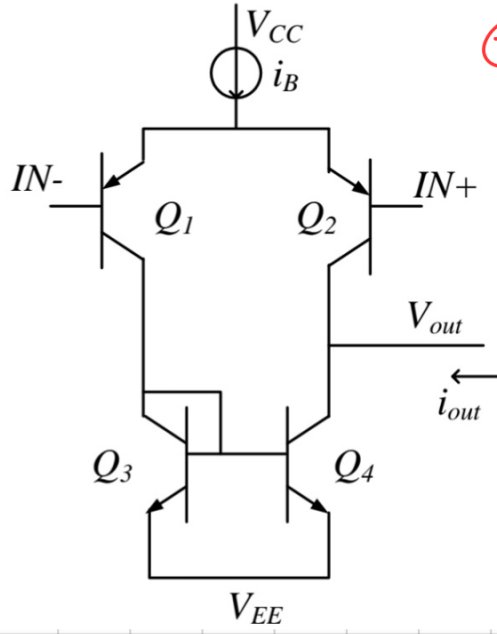
נעסי ה-Transistors של דרגה I:

החלק המוקד באזרם זרם החלק שמאכל בזרם Bias, נעלם עוזע מהדיוזה דם כך שנקבל שיש עזי האי זרם (הדיוזה דם מקלעל את המערה שיופר V_{be}) עקרוו את הנכסיה עזו והיא מתפצלת פסעמיים (עריטיט פל וס) ומחבאי זרם זם עזרם בקולקטור של Q_1 זבי יוצא

כאלו עקרונו את הזרם פחות תצורה של עזעמו ואז מה שנושאר זכו שלזאי מאוד קלנה. ארז I_1 ו- I_2 הם זוכ דיוברנציאלי. במקום עריכנס עזעז החי ישירות, נרצה להוריד את הדעה של חוסר האיזון של הזרם ולכן נחבר אותו עסיקול-כלומר נשקל את זרם ה-Bias ונקצב אותו בחצרה בצעמי הסיכום.

Static limitations Offset voltage

II סגיארת מתנה הסתרה (offset):



$$\beta = \frac{V_e}{V_{out}} \Big|_{V_{in}=0} = \frac{Z_2}{Z_1 + Z_2}$$

$$i_{out} = g_m(V_+ - V_-)$$

$$i_{C1} + i_{C2} = i_B$$

$$i_c = I_{S_e} \left(\frac{V_{BE}}{V_T} \right)$$

$$\frac{i_{C1}}{i_{C2}} = \frac{I_{S1}}{I_{S2}} e^{\left(\frac{V_{BE1} - V_{BE2}}{V_T} \right)}$$

$$I_{S1} = I_{S2}, V_{E1} = V_{E2} ; \frac{i_{C1}}{i_{C2}} = e^{\left(\frac{V_+ - V_-}{V_T} \right)}$$

נכנס קצת בין הדקי המגבר ונראה שמתנה המוצא טובי (או בחזק המקרים באחת הרוזות). נקח מקור מתכוונן מאוד כדין כך שמתנה המוצא יתאפס.

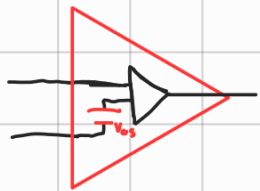
נקור המתנה שאינו אנו משתקים (שם מת לאפס את V_{os}) נקרא V_{os} . מתנה הסתרה, שהוא בסדר סגיארת ה-DC של מצב המתנה בין ההדקים. כאשר אנו משווים את הוואלנסיאלים ביננו.

נשים לב כי כאשר $V_{BE1} = V_{BE2}$ אז

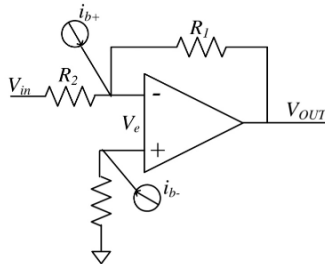
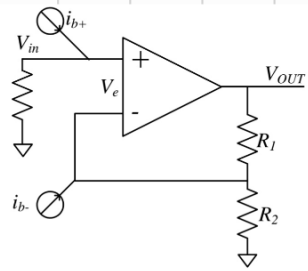
יחס צרמי הפליטה כבר לא יהיה יחסי

הארת (כי האקספוננט שונה מ-1) כך שיחס

הצדדים שמתפלגים מ- V_{os} הוא לא שווה, כלומר הצדדים מתפלגים שונה לכל צד \Leftarrow מתנה המוצא כבר לא יהיה 0.

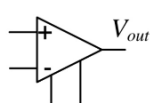
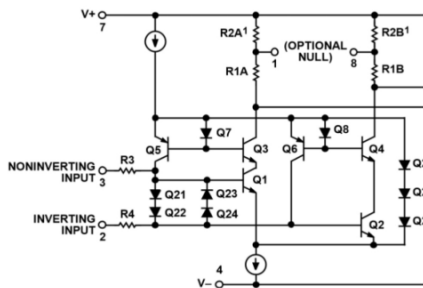
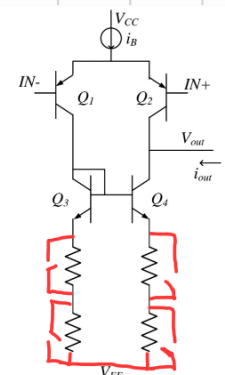


* סגיארה לאומללת. לא יכולים להזיז שני ארצי צדדים להואילן.
* בקדור של מגבר אידאלי. נטיף דאפוס וזה יהיה המגבר הכואל המעולה.



לא משנה אם נשים את V_{os} של ההדק ההיובי או השלילי. בשני המקרים יותר נח ישים של ההיובי $V_{out} \Big|_{V_{os}} = V_{os} \left(1 + \frac{R_1}{R_2} \right)$ היא סכימה כפולית כיצד פותרים את הבעיה

של $V_{out} = 0$ אלו יש את הנדג מהפתרון לצדדים V_{os} . כך שבעיה עושים שם גם מקור מתנה עדין נרצה פתרון סכמתי לבדיקה שהוא יותר טוב!



תיקון מתנה הסתרה:

מתקנים באופן הפאי מייצרים סולם של נאדים בזוג דיפרנציאלי. שמים מתנים במקדמי ענגדים (הגד איור). כאשר ביסס הסיליקון יוצא מהייצור מתפלגים

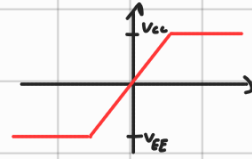
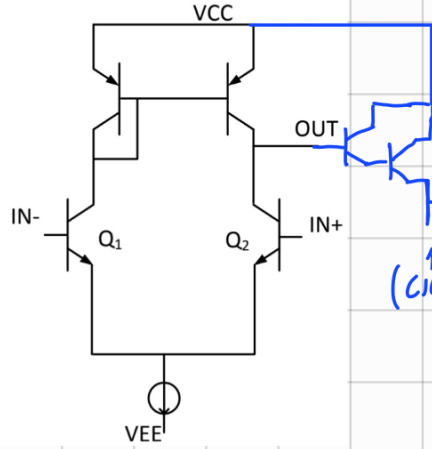
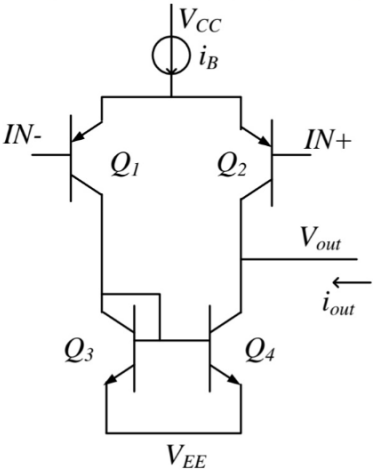
עליה ומתחילים לקצר נגדים. מקצבים את כל הנגדים והואים כיצד המערכת יוצא מאיבן של המערכת הסאנדראית ומתחילים להוסף נגדים על שנוצר איבן מהנדל.

המסגרת המגבולת הסלילית קיברנו אף כה על זרם Bias ומתח הספקי יש עסק מגבולת סלילית נקבר על עיד אחר שביא Output Voltage Swing

Output Voltage Swing (OVS):

עדיין כניסה מסוימת שאנ מכנים ברכיב מה גודל האמפ' המקסימלי שאנ יכול להוציא התוצאה?

Maximum ratings (Basic)



אם גודל $\frac{V_{CC}}{A}$ המגבר משפיע

עיתאית והחל מאוקף זה נקל מתח קאום (ברוויה). בנוסף לא תמיד טל יקניע אף $V_{CC} - V_{CE}$ (ראה סימול) בעקרה היצ נקל לרג:



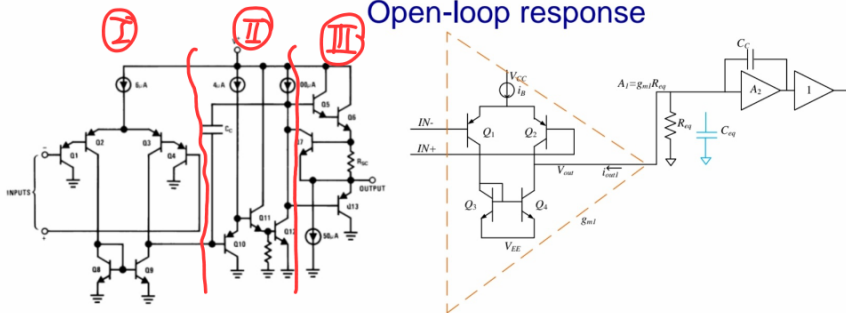
⊗ מגבר המחסה את כל תחום הכניסה שהספק מאפשר קנה Rail to Rail.

התחלנו לדבר על בעיות חוסר איזוליות במגבר ונלעט בנושא על בעיות סליליות, שבסיון נספויי עקבר על בעיות דינאמיות וכן יכולו הגבר סופי ורוחז סרט סופי, ניגה איך זה משפיע על המגבר ואיך אנונו מאפליים בכעיה.

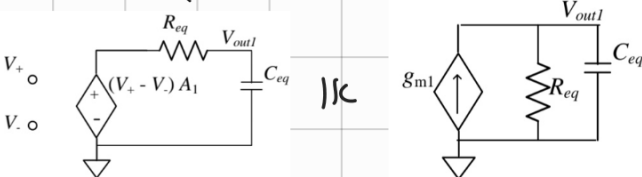
בעיות דינאמיות:

- נבכוי כי מגבר שרת בנוי מ-3 דרגות.
- I הפרטיות עם הגבר.
- II לא הפרטיות סט הגבר.
- III לא הפרטיות בלי הגבר.

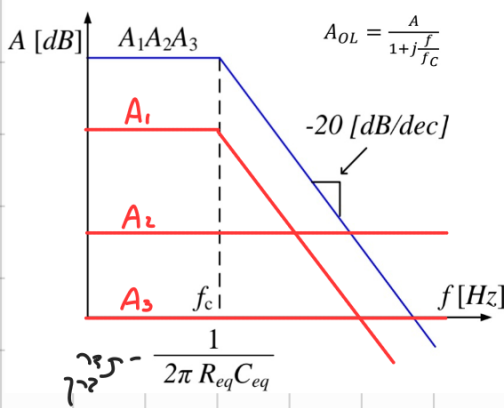
Open-loop response



אם נסתכל על מוצא הדרגה הראשונה (באופן הבא):

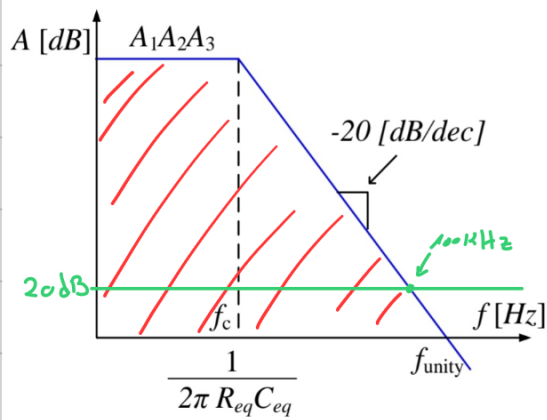


כי המוצא הוא הזכר הזרם של הכניסה מוגבר ב- g_{m1} כפי שניתן לראות במעגלים הקוליים:



נשים לב כי לא משנה אם קרוטר הכניסה היא מסלול
 אל מקבילי או אורי הזקור הנה מתחילם בכל מקרה לפונ
 תמסורת האלה יתדר בקרן $\omega_c = RC$. הגרף הכתול
 הוא חיבור של צהצופים האדומים (ליבריתני ככל הובק לחיבור)
 וזה כמובן בהצננת הקאבים שהינו מקאים מדרגות I, II,
 קילנו כי הזרף הכתול הוא פונ' התמסורת בתול פיתנה.

Gain-Bandwidth Product - GBW



$$A_{CL} = G \frac{A_{OL}}{1 + \beta A_{OL}}$$

$$\beta = 1, G = 1$$

$$A_{CL} = \frac{A_{OL}}{1 + A_{OL}}$$

$$GBW = f_{unity}$$

אם נסתכל בגרף המעבר אז הוא תוחם
 לנו שמה - שמה זה מוגדר בתור מכפלת
 נחמד הסרט - ניתן פה אומר לנו מה יכולות
 המעבר בסך-הכול.

f_{unity} - התדר בו התמסורת חוזרת את בלסו,
 כלומר מתי המעבר הוא הזקור יחידה. נשים לב

בואלנו: נניח ש: $f_c = 10 \text{ Hz}$, $A_{OL} = 100 \text{ dB} = 10^5$

נזכר כי: $GBW = 100 \cdot 10 = 1 \text{ MHz}$
 הזקור של 10 (20dB) ק: $A = 1 - \frac{1}{10} = 0.9$ ציירנו את הזרף של
 20dB (ראה ציור) אכל GBW תוחם אותנו כך שאפשר לקבל בלבד קבוע של תדר
 של 100kHz שחיתק את הזרף הכתול (100kHz כי זה דקרה את אחרת f_{unity} ולכן: $\frac{f_{unity}}{10} = \frac{10^6}{10} = 10^5$)
 כל האיזור בו $\beta A_{OL} \ll 1$ פה איזור של מעבר אידיאלי. כולו תחום התדרים שמטא
 f - f_{unity}.

* נצטר שרעצב האידיאלי הוא כאשר גרף התמסורת קבוע ולכן ברזס שמתקן קו ישר שם
 פונ' התמסורת (כמו באיור) אז $\beta A_{OL} < 1$ שלניצל את המעב האידיאלי יתקיים שפור
 תדרים f שזאנים מנף החיתוק שם הזרף הכתול.

Loop-Gain Nyquist Criterion

$$A_{CL} = G(s) \frac{A_{OL}(s)}{1 + \beta A_{OL}(s)}$$

$$\beta A_{OL}(s) = 0$$

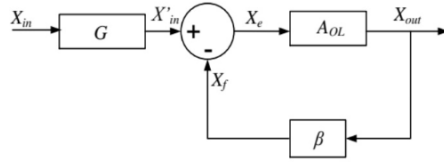
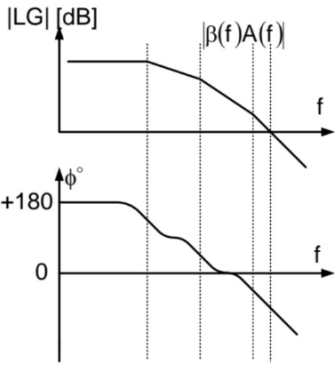
$$S$$

$$S$$

$$S$$

העיות היציבות אוערות לנו להסתכל על המשטאות של
 התחום הסגור - $(1 + \beta A_{OL}(s))$ ממנה ניתן לבסר יציבות.
 נייקוויסט אומר להסתכל על $(1 + \beta A_{OL}(s))$ (וראות הגם קיימים
 שורשים בחצ. מישר הימני של המישור הקומפלקסי. כלומר
 מסר A הוא כפונ' של התדר במישור רלסם $\beta A_{OL}(s) = -1$ שפור אינו שרבי S
 זה מתקיים \Leftrightarrow אם הפונ' מקופה את ג-1 אז המעבר לא יציבה, אם \Leftrightarrow מקיפה
 אז המעבר יציבה.

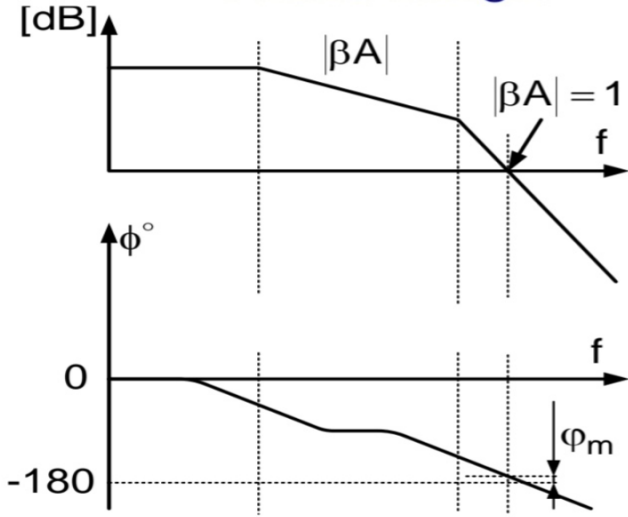
Loop-gain on the frequency domain



In negative feedback systems $\phi = 180^\circ - (-180^\circ)$
At $f \rightarrow 0$

בדרך עיצוב את ניקויים
 צב מורכב עם נציר במישור
 התפר ע"י דאגות בודה
 מה שמענין אותנו בגוף הוא הק'
 שבה ה- LG חוצה את בלס שצ'
 בסצם הק' ש- $\beta A = 1$

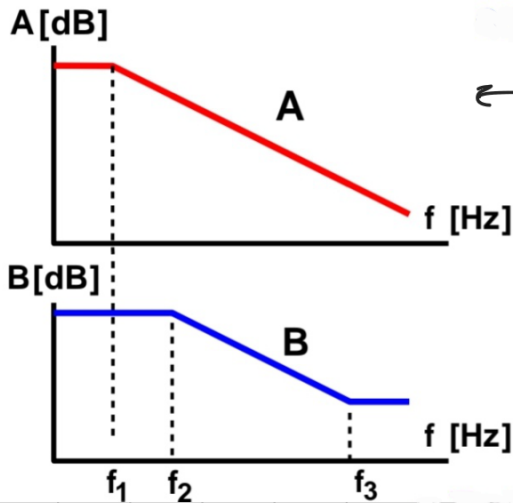
Bode plot Phase margin



$$\phi_m = \phi_{|\beta A|=1} - (-180^\circ) = \phi_{|\beta A|=1} + 180^\circ$$

חוקי phase margin - המרחק בק' התפר שבו הזכר
 החיוב חוצה את בלס. נסמל על גוף הפאזה
 ינמצא מהו המרחק של הפאזה מ-180 (phi_m)
 אוב הפאזה קלפ מ-180 - צב קרא phase margin
 תיובי - פלומה המערכת יציבה (כ-180 -
 יש הפצת כאצה והמשוד יהיה חילובי). אוב
 המערכת הנפחת למשוד תיובי יש התפדרות והיא
 ככה על יציבה.

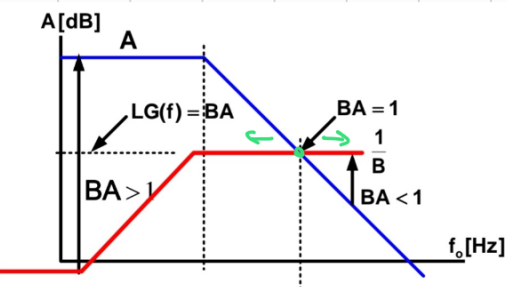
Graphical representation of βA_{OL} conventional method



דק 2:

דרכים יחסיות עבור βA_{OL} :

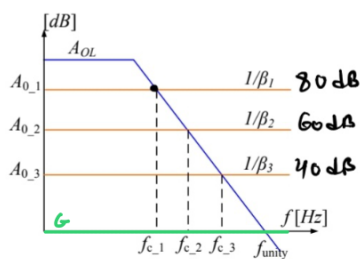
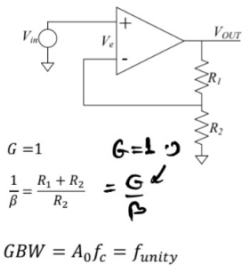
אונח הוצים עיצור את βA_{OL} על מנת לדסר
 אור תתום התנדכים האפקטיבי שבו אונח עדין
 בתתום של מגבר אידיאלי. הדינת הצפים β, A
 יננס כמה דרכים:
 1) עשרת את β ו- A בנפרד אוב עשרת βA_{OL} ולבחון
 אתיה. אבא הדציה של פסס שלטנים את המערכת
 אוב צריך עשרת היה מחדש.



2) מציינים את גרף A ואל אותי גרף את $\frac{1}{\beta}$
 ובציר הלווייתני קבל $(\beta A)_{OL} = \frac{1}{\beta} A_{OL}$
 מה שאוב הוא שבמערכת הזו יש את כל הקוויות
 טאנו צריכים (ק' חיתוך בין הידפים הוא הק' בה $\beta A = 1$)
 חוצה את ה- בלס, האיצור משטל לחיתוך הוא הק'
 בה גיבס ומינין $\beta A = 1$.

Closed-loop response Non-inverting Amp

מגבר לא-ינברט



התשובה כי האבר המערכת גדול מ-1, כלומר מערכת

מגבירה, אך ה-1/beta ימים סדרה הזרף גבולות מ-0.

נשים על שטחור בלסם נקב רוחב סרט גדול יותר מאשר עבור A0. בעולם נשים על כי

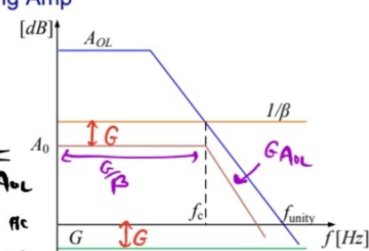
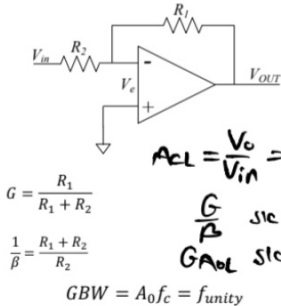
GBW זהה לכל A0,1, A0,2, A0,3 (נאי עבור A0,1 שיקף

מ-1. A0,1 או A0,2 < f_c2 < f_c3) תמיד הגדלים יסתכרו כן ל-GBW יהיה שווה בטולם.

⊗ הסדרה: בזרי עגוריתני ירידה של בלסם זה מנפלה וירידה של בלסם זה ככל כריכוס.

Closed-loop response Inverting Amp

מגבר ינברט



• ראנה בה G < 1

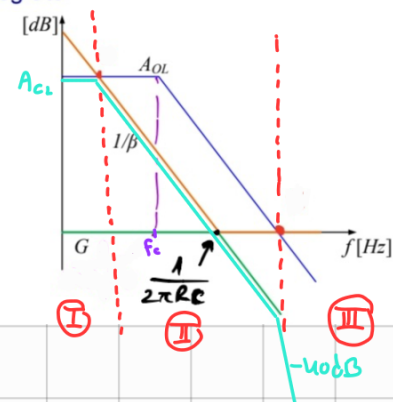
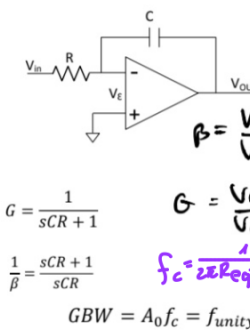
כאן G < 1 עקם של הק' ל-1/beta חותך את

A0 המערכת שלנו היא G/b, ואחרי ק'

החיתוך נקט GA0.

Closed-loop response Integrator

מקדם של אינטגרטור



• קולטן עם 2 ק' חיתוך:

בתחומים I, II, III ו-A0,1 ו-A0,2 ו-A0,3

היא GA0. ה-I ו-G וקם אנתו תחומים

בה בהגבר של המגבר (A0). בתחום III

נשים על כי גם G ואי A0 יורדים כל אחד

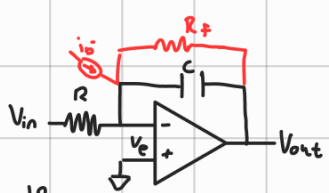
ה-בלסם וקם נקב ירידה של בלסם.

בתחום II ו-A0,1 ו-A0,2 וקם המערכת מתנהגת

כמו G/b נשים על כי בתדר 1/(2piRC) 1/beta מפסיקה להיות ו-G מתחילה לרדת

עקם השיפוע של ירידה ה-בלסם נשמר בכל התחום.

העזרת חשובות:



⊗ נשים על כי בלסם זה בהכרח נמצא בק' השבר.

⊗ במעגל אינטגרטור נשים על שאם נצדיק זרם ע"ן

אז הקט הוא אימפדנס אינסופי ה-אס וקם אימפדנס אינסופי

כפול ע"ן ייתן לנו סדר אינסופי המוצא. על מנת לפתור זאת נשים

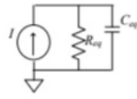
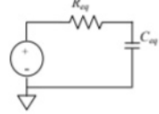
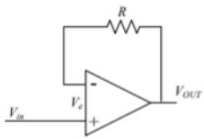
נצד במקדמי עקב (נאי ציור) כדי לעפ"ן את שיאור ה-אס ולהגבר

את המגבר ה-אס במעגל, ונקב לרצי A0,1 שוט קצרת ←

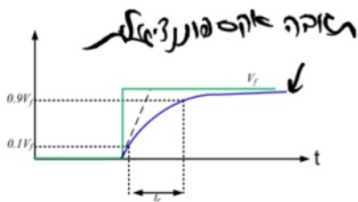
⊗ רק בתחום II המעגל עדיד כמו אינטגרטור.

Slew-Rate

Transient response Rise-time (ideal)



$\frac{1}{\beta} \approx 1$
כי המעגל
עוקב



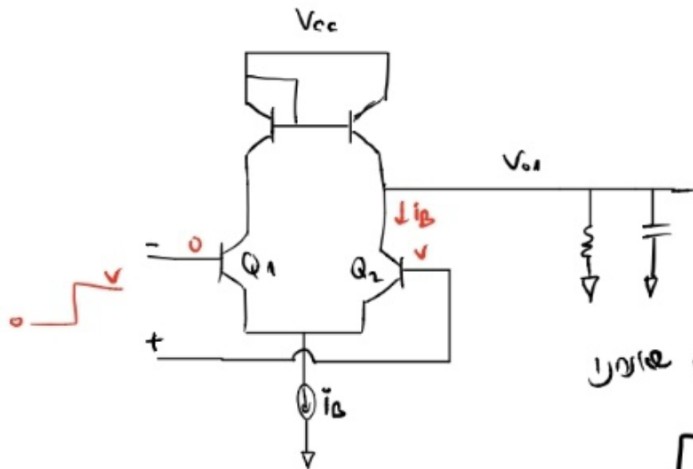
נניח נתון עט מצוי עוקב כן
שאר הכנסה שנגרם לעיבוי הוא
מדרגה, מה תפיה היציאה החזקה?

אם המעגל איננו תפיה גם
במובא מדרגה. אולם מה שאמרו
עד כה המעגל יהיה עוקב עד

התחום שבו $A_{OL} > 1$ ואח"כ β כר עט משמש כעוקב איננו. אנהנו נכנסים עט
הפרעה (מדרגה) עאיבולו פיעור מסדר ראשון אלא בפועל מה שקבל
זה שהעליה של המעגל עינארית. עמה ???

נשים עט כי בהתחלה המתנה של ההדקים הוא 0, פתאום הכנסנו מדרגה עט
עוקב V מסוים אך $V=0$ ו- $V=V$ וקבל $V_{B2}=V$ לומר בזול דיפרנציאלי
שנמצא בדרגה I של המעגל, Q_1 בקציען ואילו Q_2 יולק חזק מאוד (מכיוון שיצרנו
הפרט פולציואים מאוד גדול בין Q_1 ל- Q_2) עט הזרם מעוקר הזרם עט

זורה כולו בעוקב היטן.



במקרה היק



אם נתקיים מהנחה אט
המקסימום שנגרם לעוקב עט
יהיה:
$$\frac{i_B}{C} = \frac{\Delta V_{out}}{\Delta T}$$

לומר אם נחזור רולא למעגל (המשגל) מה שקורה (הט) שיעורן
"מקולקים" אט היכול של הישקור להחיק מחד.

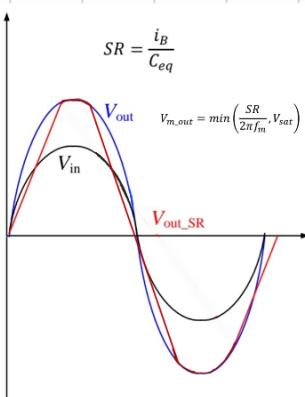


עט מהיה חזיה.

כאשר $i_B < \frac{V}{R}$ אט היקיה:

לומר יש שיעור מקסימלי שמעגל להיות $SR = Slew-Rate$ ביחידות של $\left[\frac{V}{S}\right]$

עט לא מעגל עינארית אלולו מעגל שנגרם מעגל עוקב הזרם.



דוגמא: נתון V_{in} (היקף השחור באזור) ונתון V_{out} שהיה אמור לצאת

(היגף הכחול). מאחר והשיפוע החיובי הראשון של היסנוס
מהיר יותר ממה שהמערכת מסוגלת לעשות אז היסנוס

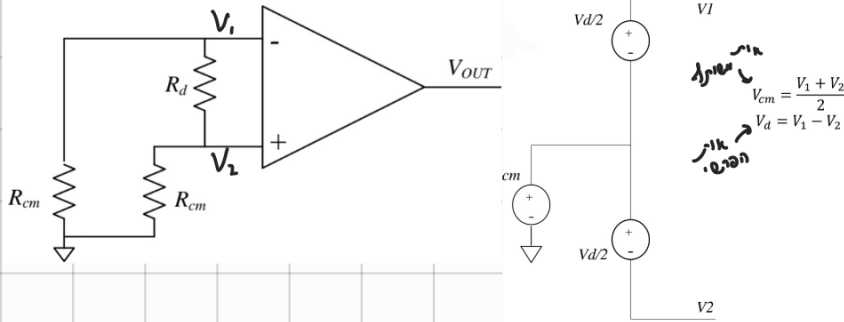
במובא יהיה מעוות. לומר כאשר השיפוע גדול מהמקסימלי.

שהמערכת יכולה לתת אז פשוט תפיה עליה עינארית וקבל מקיים
שהשיפוע נמוך יותר המערכת תעקור אתר' אתר הימבא שהיני רוצים.

- Slew-rate (summary)
- Input Impedances
 - Differential
 - Common-Mode
- CMRR
- Effect of feedback on impedances
 - Blackman's theorem
 - Output
 - Current and voltage feedback
 - Input
 - Series and parallel summation
- Instrumentation amplifier
- Stability

Input Impedances - Differential, Common-Mode

יש לט 2 אימפדנסים הכניסה:
 R_d - אימפדנס דיפרנציאלי (הפסי)
 R_{cm} - אימפדנס האור המשותף.



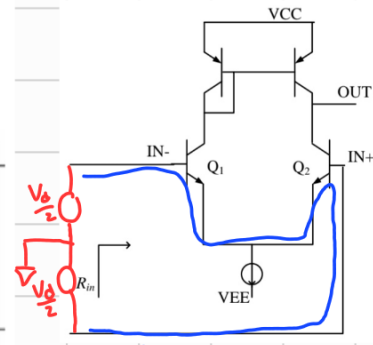
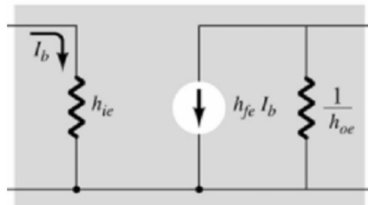
נתקן את סיגנל הכניסה לסיגנל הפסי
 חצי הולק לרזא אחר וחצי לרזא השני.
 כפיכא כולל שיצרו קציר בין ההדקים אנתנו
 עו אנורים לראור שום דבר,
 אכן כפולא יש אור משותף V_{cm}

שני צדדי הכניסה 1, 2 והוא ספשו מספיק אל המספרית.

Differential

$$h_{ie} = \frac{V_T}{I_e} (h_{fe} + 1)$$

$$R_d = 2h_{ie} = 2 \frac{V_T}{I_e} (h_{fe} + 1)$$



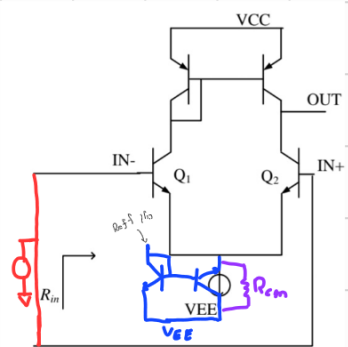
האימפדנס ההפסי הוא אימפדנס
 הכניסה דצרת $R_d = R_{in}$

מצבית לעוף סאיים אל חיבור CE:
 h_{ie} - אימפדנס כניסה. $\frac{1}{h_{oe}}$ - אימפדנס מוצא.

מסנול האור ההפסי

Common-mode

ובצע חיבור טל שט קצרים אל מטר לדטר כיצד מקפסל הישג
 להישור R_{cm} . ניסוי צב מבאל לרזק אור ההתנגדות ההפסיית. כן
 שההתנגדות R_{cm} טובה בספס ההתנגדות שיצור מקור הזרם עו.
 מקור הזרם עו ממולט עו ראי זרם (ראי ציור) וכאובן ספספסית מאיפה
 טוכנס הזרם לעקר זרם, הזרם נכנס לזרנו שבמקרה אליו מקודרת



$$R_e = \frac{1}{h_{oe}}$$

$$R_{cm} = 2R_e(h_{fe} + 1)$$

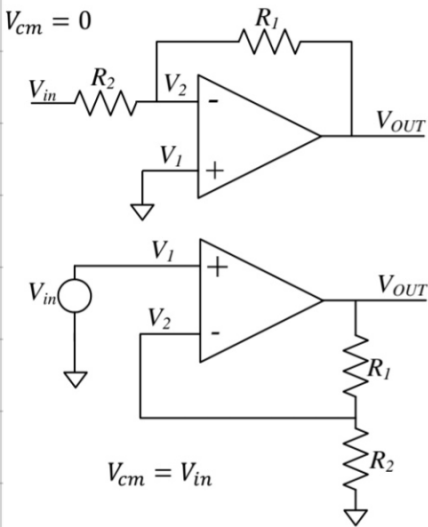
כיצד מוצא זרם הכניסה

התנגדות מהפסיון של הזרם דיפרנציאלי לאבנה. ק שבאמצעם שמהורר במקרה
 דצרת הוא אימפדנס המוצא של הזרם $R_{cm} = R_e$

* ל מדידה שנספסית אל מטר לכצע תיקון שלאות אל המטר נספסית כחול סאר. כחול פניה אי
 אספר לעקרוד כי המוצא ישר יצע לאחת הרלויות.

Common-Mode Rejection Ratio (CMRR)

זוהי יתופעה שמתספקת ביכולת של המגבר לדחות את הסיגנל המשותף.



$$CMRR \equiv \frac{A_d}{A_{cm}} = \frac{A_d A_2 A_3}{A_{cm} A_2 A_3}$$

$$V_{cm} = \frac{V_1 + V_2}{2}$$

$$V_d = V_1 - V_2$$

$$V_{out_cm} = A_{cm} V_{cm} = A_{cm} \frac{V_1 + V_2}{2}$$

נכנס שול מגבר עם קצב הכניסה נפסל סיגנל בתדר נמוך ונראה מה נקל המוצא - נצפה לקל המוצא אפס. אם נעלה בתדרים או הסיגנל שבמוצא יעק ויגדל ויהיה קומה יותר ל- V_{in} ובכך ניתן להאזין נכון שלדחייה של הסיגנל המשותף יש גבול.

וגבול זה נקרא CMRR. CMRR זהו היחס בין ההגבר ההפרטי של המגבר המשותף

(A_d - האות המוצא לדיוברנציאלי, A_{cm} - את המוצא לאות המשותף). הדרגה הראשונה

במגבר היא הפרטי והיא מכילה בתוכה את A_d ו- A_{cm} . במגבר המגבר נקל

$V_1 = 0$ כי מחוץ פאדמה ולכן גם $V_2 = 0$ ומגדירת V_{cm} נקבל כי גם $V_{cm} = 0$ כלומר

אין סיגנל משותף שנכנס אל המערכת. לעומת זאת במגבר עם מהפך

$$V_{cm} = V_{in} \iff V_1 = V_2 = V_{in}$$

הביאוי שמצאנו עבור V_{cm} אומר שאנחנו מסתכלים על הפעולה במגבר אידיואלי + מקור

$$\frac{V_{cm}}{CMRR}$$

Blackman's Theorem

תיאוריה זו מקבמת של הפעולות שיש במגברת אימפדנסים.

עבור מערכת זוגיים (ישת בלטר 2 הדקי כניסה ו-2 הדקי מוצא)

יש אימפדנס כניסה, אימפדנס מוצא ויחס גומלין ביניהם. מערכת

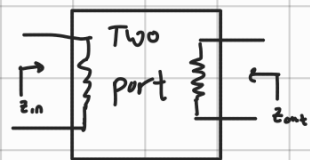
מגבר גם היא מערכת זוגיים.

כדי לעמוד אימפדנס כניסה -

לוקחים את האימפדנס הרצוי

של המערכת ומכפסים 2 מגדירות:

מגדירות קצב ומגדירות נתק.

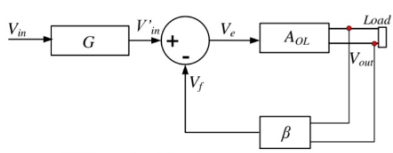


Blackman's Theorem

מגדירות נתק

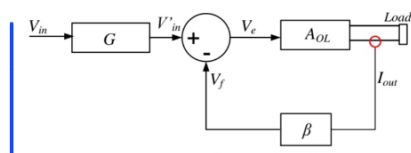
$$Z_F = Z_{NF} \frac{1 + \beta A_{SC}}{1 + \beta A_{OC}}$$

מגדירות זום



Voltage feedback

$$Z_F = \frac{Z_{NF}}{1 + \beta A}$$

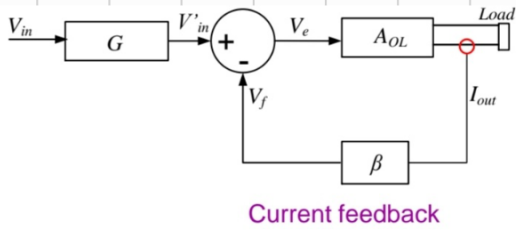


Current feedback

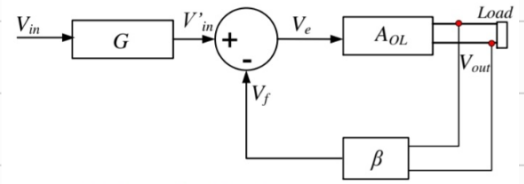
$$Z_F = Z_{NF} (1 + \beta A)$$

ישנם 2 סוגי משבחים (ראו איור עמ' 107 קובץ):

- משבח מתח - מה שאנחנו מודדים זה פוטנציאל על מתח הסדמס. מודדים מה יוצא מתח הסדמס במעבר ומעבירים אותו למשוב.
- משבח זרם - מה שאנחנו מודדים זה פוטנציאל של זרם הסדמס, ומעבירים אותו למשוב.



Current feedback



Voltage feedback

בקצרה - עשית קצר בהעמסה, הפוטנציאל שסובר

בין A_{sc} לקצר הוא זרם ולכן ממשיך לזרמים (אננם זרם אחר אך עדיין ממשיך) כך שלא פגענו ביכולת המעבר.

נתק - במצב זה הזרם כבר לא יכול

לזרום כמו בקצר (= פגענו במשור) והוא אפס. $\beta A_{oc} = 0$

בקצרה - אם נקצר בין 2 הנק' האדומות בצירוף

נק' שמתח בין ההדקים הוא אפס כך $\beta = 0$ לא משפיעה ותמיד תחזיר אפס פונקציה בקונסטרזיה של מדידת מתח נק' $\beta A_{sc} = 0$

בנתק - נתק את Load. נשים על כי המדידה

של המתח בהדקים לא נפגעה! כלומר המעמד סוכר כפורה יתענה!

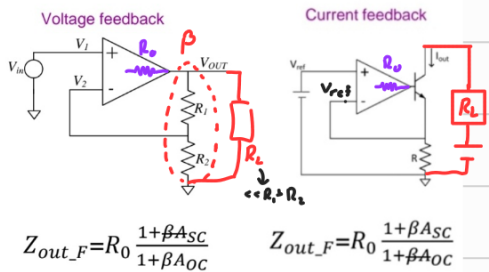
ובסדר: $Z_F = Z_{NF} \frac{1 + \beta A_{sc}}{1 + \beta A_{oc}} = Z_{NF} (1 + \beta A_{sc})$

אם $\beta A_{oc} \gg 1$ אז $Z_F \approx Z_{NF}$

ובסדר: $Z_F = Z_{NF} \frac{1 - \beta A_{sc}}{1 + \beta A_{oc}} = Z_{NF} \frac{1}{1 + \beta A_{oc}}$

אם $\beta A_{oc} \gg 1$ אז $Z_F \approx Z_{NF} \frac{1}{\beta A_{oc}}$

Effect of feedback
Output impedance



$Z_{out_F} = R_0 \frac{1 + \beta A_{sc}}{1 + \beta A_{oc}}$

$Z_{out_F} = R_0 \frac{1 + \beta A_{sc}}{1 + \beta A_{oc}}$

השפעת המשוב על אימפדנס המוצא ע"י הבלאק:

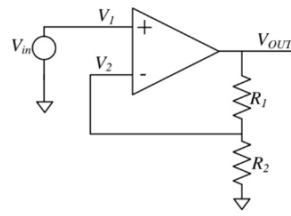
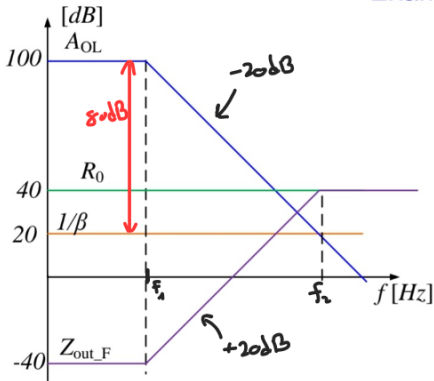
להלן מסלים שמהווים משוב זרם ומשגי מתח.

- סבור המעבר הוא מהפך (משבוח מתח) כישר נעשה קצר R_L זה כאילו כפינו את הפוטנציאל V_{out} להיות אפס, בקן שיבט את הקריאה של V_{out} וזו הפעולה של βA_{sc} לא קיימת. ובסדר ההתנגדות כנוצא (Z_{out}) כשהמשור עובד (βA_{sc}) היא קלה מאוד.
- עבור המעבר ההופך (משבוח זרם) - אם נכנס R_L קצר

המעמד יתפקד (כי הזרם זורם עדיין) אולם אם נתק את R_L אז זה זורם זרם במעמד כך $\beta A_{oc} = 0$ ונק' כי ההתנגדות כנוצא היא גדולה מאוד.

קבוצת מספרים:

Effect of feedback Example



R1=10k
R2=1k
R0=100

$$\beta = \frac{V_e}{V_o} \Big|_{V_{in}=0} = \frac{R_2}{R_1+R_2} \Rightarrow \frac{1}{\beta} = \frac{R_1+R_2}{R_2} = \mu A \approx 200 \text{ dB}$$

$$R_o = 100 = 40 \text{ dB}$$

$$R_f = \frac{R_o}{1+\beta A} \Rightarrow Z_{out_F} = R_o - \beta A \mu \approx 40 - 80 = -40 \text{ dB}$$

היחס של $R_f = 100$ מאז קלן וגם הוא מתנהל לגודל מאוד

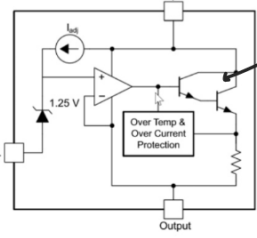
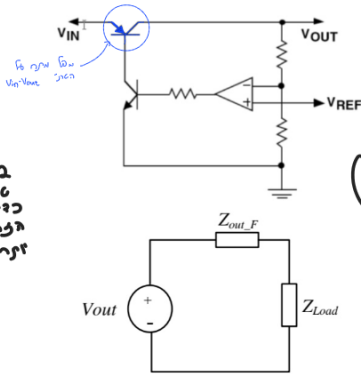
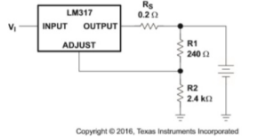
מהר (כ. א. ל. יורד) כאשר $\beta A \mu \approx 1$ (אם $f = f_c$)

נקט $R_f = R_o$ מכיון ש- β קבוע ו- A_{OL} יורד בשיעור של -20 dB אז R_f עולה בשיעור של 20 dB ובכך קיבלנו מה שרצינו בצורה של שור מתח - אימפדנס מוצא נמוך מאוד בתחום $\beta A \mu \gg 1$.

דוגמה למעגל איפוס' שמאז שימשי באה ארניקה.

מ"צב ענארי (LDO):

Linear regulator Low-Drop Out (LDO)



2 אולטרים סוריים כדי שפריקת הפרם תהיה זרימה נכונה

המעגל זה נכניט V_{in} מסוים ובלחיצת נקד

עם: יחס הנגדים מתח נמוך יותר.

אין זה עובד?

נקה את המוצא ונשווה אותו למתח ייחוס (V_{ref})

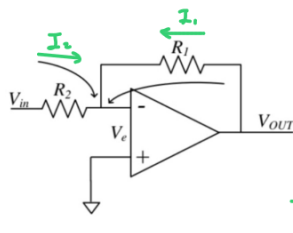
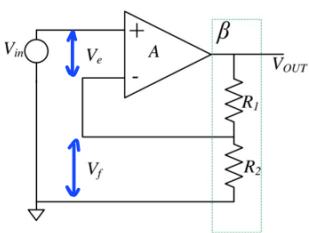
ואז המגבר מפעל את' שמפעל אתהו עדי ארנ'

ככה שמעל המתח של הארנ' משתרך בן שהמתח

ב- V_{out} יהיה בדיוק המתח שביקשנו.

השפעת המשור על אימפדנס הכניסה עם הממאבל:

Effect of feedback Input impedance



Series (voltage) summation

Parallel (current) summation

$$Z_{in_F} = Z_{NF} (1 + \beta A)$$

$$Z_{in_F} = \frac{Z_{NF}}{(1 + \beta A)}$$

זה כאשר מסתכלים על אימפדנס הכניסה יס הקדן

בין מתח לעברם.

המגבר לא מהפך הסיכום הוא ארנ': $V_{in} = V_e + V_f$

המגבר מהפך הסיכום הוא מקדא': $\frac{V_{in}}{R_2} = -\frac{V_{out}}{R_1}$

אין זה משפיע על אימפדנס הכניסה?

• עבור סיכום ארנ' - מגבש קצר או יהיה שרנו כי

עדין יס את איתו הפרט פוטנציאלים בין ההדקים ($V_e = V_f$) והסיכום נשמר, אבל אם נבדל נקד

(המשל אופר ש V) אז האימפדנס של הקדן + הוא אימפדנס של קדן המעגל וההפריק והיתנגדות

כי תגלה אם המשור (כל ש $\beta A \gg 1$ קל R_{in} קלן זקלן זרע).

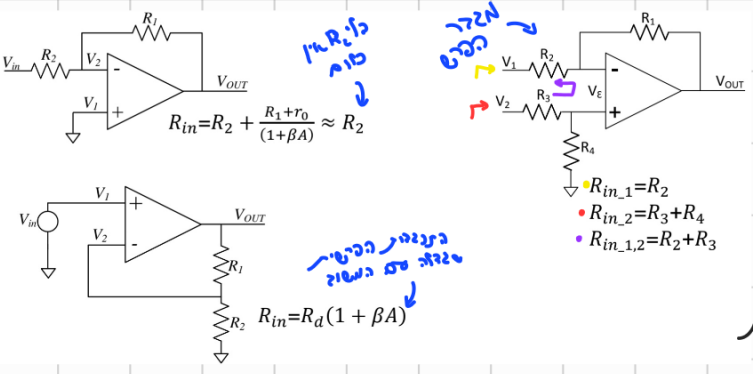
• עבור סכום מקדא' - אם נבדל קצר הצרעים או ילכו אחד אל השני אלה יברחו יחד למקום

אחר ובכך הרסנו את המשור. ושיור נתק קלן את המשור הרזו. כלומר מה שמעבדל העצם

בה שראשי βA קטן R_{in} קטן יותר מהתנגדות ההפרטי (חיסרון כי איננו נפרד התנגדות גדולה).

ולכן במגבר מהפך תמיד נשים את R_2 ודכן $Z_{in-F} = \frac{Z_{NF}}{1+\beta A} + R_2 \approx R_2$

כאשר הסתכלנו על מגבר הפוך ולא הפוך תמיד מגדנו היחס לאזנה כסדר נסתר על מגבר הפרטי. נשים על ש:



- 1) אימפדנס של רגל 1 זה כמו מגבר מהפך
- 2) אימפדנס של רגל 2 זה כמו של מגבר לא מהפך אבל יש לנו תוספת בה שהתנגדות של הרגל 2 היא מאונד גדולה. ולכן ההתנגדות

שנראה תיסי 2 היא $R_3 + R_4$. ההתנגדות במגבר שבו 2 ההדקים היא בקירוב $R_2 + R_3$.

• החיסרון במגבר הפרטי הוא שהמסדרת הוא 3 אימפדנסים $R_{in1}, R_{in2}, R_{in3}$

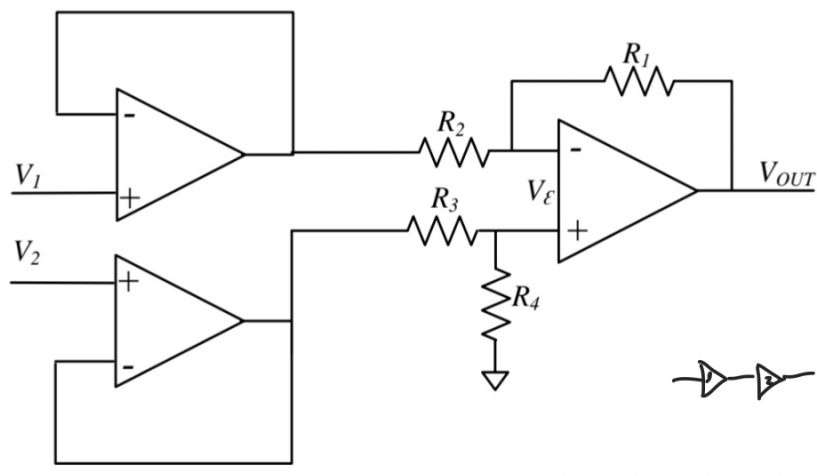
כאשר האימפדנסים בכניסה הם אימפדנסים לא גבוהים (אנחנו הינו רוצים להספיק

כמה שפחות על המגבר) המטרה תהיה להתחבר בקי המדידה לאימפדנס כמה שיותר גבוה

• חיסרון נוסף הוא שאם נרצה לשנות את ההגבר במגבר הפרטי (נעם להגדיל את R_1)

אז אנחנו חייבים לשמור על היחס $\frac{R_2}{R_1} = \frac{R_3}{R_4}$ ולכן נצטרך לשנות גם את R_3 דל כעסי משנה את R_1 .

חשבו לפתור את החסרונות הללו באופן הבא:



כלומר ע"י הכנסתם של אחת מהכניסות של מגבר יחידה ודכן נראה התנגדות כניסה גבוהה.

לפתרון זה יש חיסרון גם כן! אנחנו למדנו כי כאשר בונים

מגבר ישנן 3 דרגות משותפות טווח המדידה הרגוע צריך להיות המגבר

הכי גוף כדי שפגמאות בדרגות הכאור ישוקפו ולכניסה נשפאות כנחות נשים על

כי סידור זה לא מתקיים בפתרון שלנו (ההגדר הוא 1 ולכן הפגמאות משוקפות גאות

אופן ימיה או שמאלה) ולכן הפתרון לבסיה הוא במגבר הסמוך הבא

מעגל הפנסים / אינסטור :

Instrumentation Amplifier

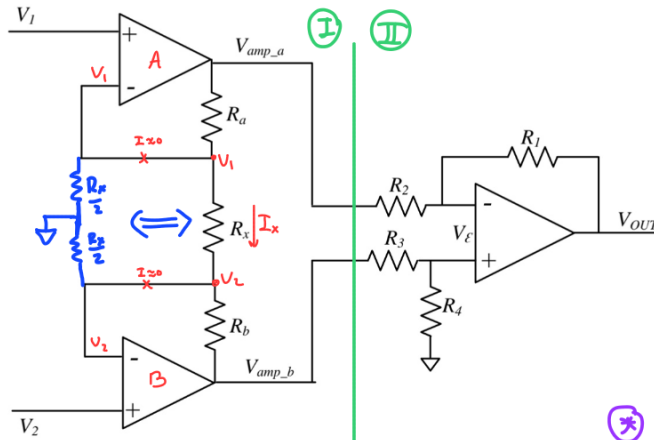
$$V_{out} = \frac{R_1}{R_2} (V_{amp_b} - V_{amp_a})$$

$$I_x = \frac{V_1 - V_2}{R_x}$$

מכיון ש- I_x זרם זהה במעגל V_{amp_b} ו- V_{amp_a} זה מתפצל זרמים בקצוות קצות:

$$V_{amp_b} - V_{amp_a} = I_x (R_x + R_a + R_b)$$

$$V_{out} = \frac{R_1}{R_2} (V_2 - V_1) \left(1 + \frac{R_a + R_b}{R_x} \right)$$



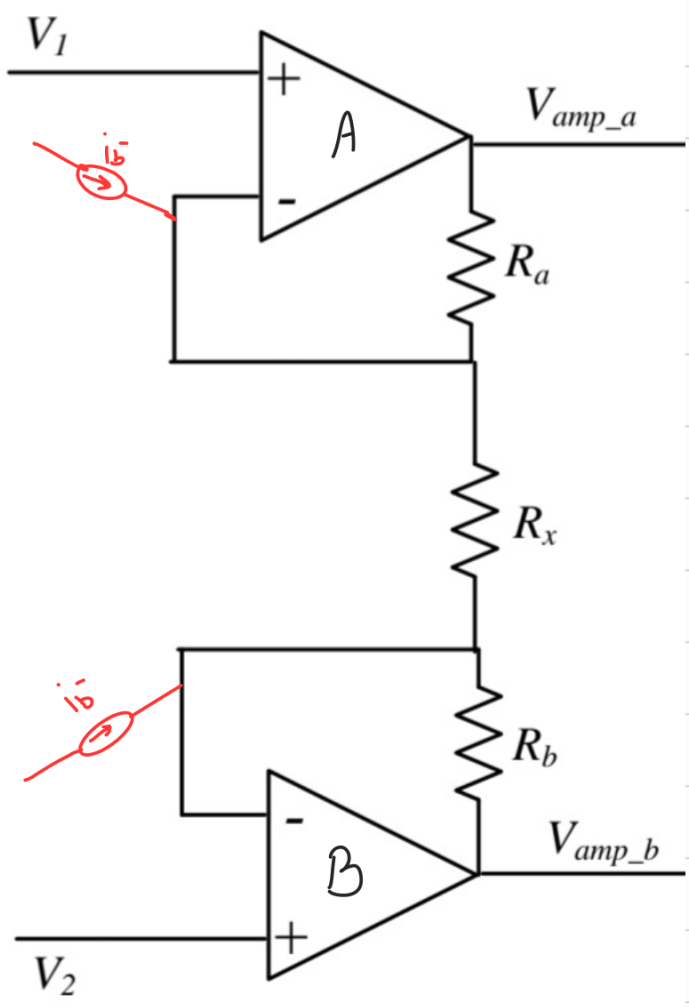
בצד II דריגת המעגל הינה הפיטית כפי שדיקרנו קודם. דריגה זו אנו עלו נוזלים.

בצד I יש לנו 2 מעגרים אשר בנויים באופן סימטרי סביב צר.

נשים עין כי מהיתוצאה של V_{out}

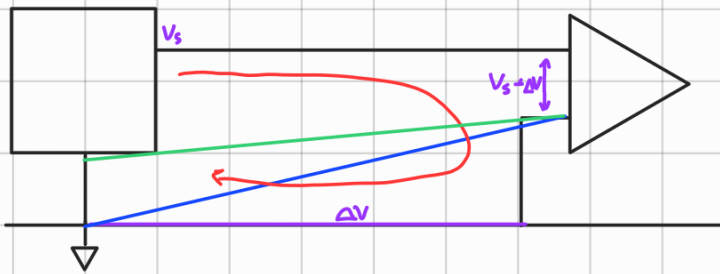
- נימך עראור שאם $R_1, R_2, R_3, R_4, R_a, R_b, R_x$ קבועים אז נימך עמול של ההגבר V_{out} דאמטור (??) בודד צר. במהיכ קיבלנו:
- אימפדנט כניסה גדול.
- הגבר באיזור II מאיך תמיד.
- עמול של ההגבר עדי R_x כהדר.

• כיצד R_a ו- R_b משנים עני משהו במעגל? איפול בשגיאות DC!



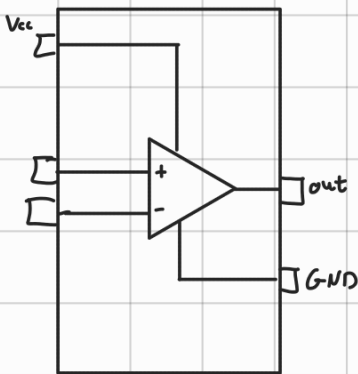
נניה ונצביק ענו (עו עו משפיע כי גם ככה ההדקים החיוביים מחוברים עאדעה). כן כדאי עסיה את R_a ו- R_b שווים כי בתורה ש-עו בשני המעגרים שווה אז כה יקוצ אחד אר השני. אבל אם עו של מעגל A שונה עו של מעגל B אז אפשר עקבוע יחס מתאים בין R_a ו- R_b ככה שיקוצו את שגיאות ה-DC שנוצרות בסדקיות עו (וצאת בעסף עננד משטוים בכניסה כדי עכל אר השגיאה).

מדירות במעגלים



נניח שיש קופסת מדדה שהמדידה שלה יופאת לאקמה מצד אחד ומצד שני למדדה: כיוון שממדכת זו סביר לרמ עפי המסלול האדום ואם הממדכת מחוברת לאקמה - אז סביר

זרם באקמה. כאשר האקמה הזאת היא בסכום נקי היינוט שלט. אז אם זרם האקמה זרם וקחול יש התנגדות אז נוכל מפי מתח v . האקמה מפילה קומבנציה של כל הזרמים שמסתכמים במסלול החוצר הרב לכן עולה השאלה: אין נמצע אר המדידה ביחס לאקמה? התשובה לכן היא **החיבור הכחול** כן בסכום חיבורנו את ההקדק הסליל של המגבר לאקמת הייחוס של הז'וק שאנחנו רוצים למדוד וקלל שאנחנו שלמים את האקמה איפה שהז'וק ממיקם אז אנחנו נצדור פחות רעש - בעיה כזו נקראת בעיית מדידה. נשים על כי היא תמיד אפשר אבל במידה וכן נסדיל את **החיבור הייזק** על פני **החיבור הכחול**.



מגבר יושב בתוך המארז הבא: בסל במסלול אלקטרוני נחבר במקדיל קלים למגבר, למה? בחול'ים שמחברים למגבר יש התנגדות. נניח ועסלל המגבר הכנסנו מדדה, אזי המוצא נצפי לקבל מדדה. המדדה מקבלת מהספק, לפי אומר לפדק עשים פולס של

זרם סט קצב עליה מאוד זחה, שאמר להיע מהספק. בזע שסטנו קפיצת זרם אז יש מסל מתח שיפיע על התנגדות כן שהימם



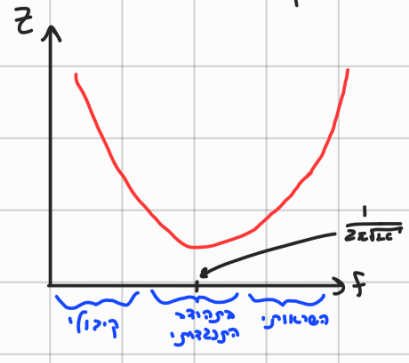
במוצא יפול כי הספק בסל יקרוס ונקל מוצא שיראה כן: לכן נרפה ספק עם רוח סרט לקול מאוד כן שאנחנו

שמים קל במקדיל למגבר **(ראי ציור)** עם אימפדנס נמוך עבור AC ובאופן ממוצע קבל שהאנרגיה תפיע מההספק, אבל באופן רעש היפולמות יזעו מקבל כי הוא אימפדנס יותר נמוך והאנרגיה תעיד מניסה **מהאימפדנס הנמוך יותר!**

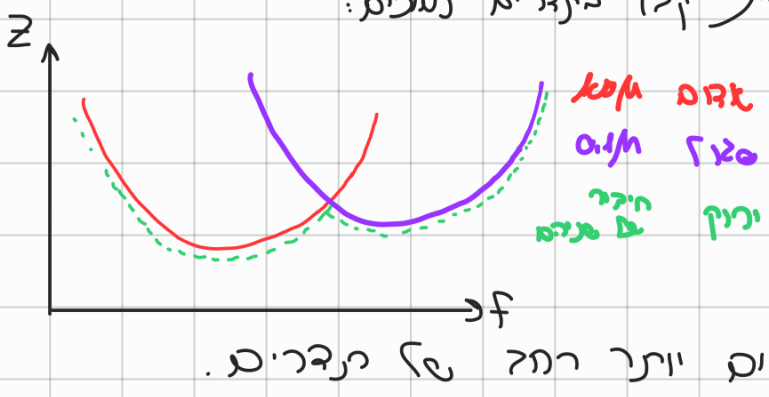


הקדק כלל שמים סבת קלים

יש לזכור שלכל קול יש גם השארת וזה התנגדות - כך שנוצר מסך מסלול יתרודה
 כך שבאשר מסתכלים על אימפדנס ח' כפונקציה של תדר קול:
 אם נחבר כמה קבילים כאלה נחבר אימפדנסים במקביל.



החיבור מקבילי תמיד נשתמש באימפדנס הנמוך ביותר.
 כך שמה שיוצא שהקול של מוטל יהיה בעל השראות
 לקולו של התצרים נמוכים יותר הוא יהיה אימפדנס נמוך
 לעומת ה- מ.ג.ס אך הוא גם יספיק להיות קול התצרים נמוכים:



כאשר נחבר את שני האימפדנסים יחד
 אנחנו נרוויח את האימפדנס הנמוך
 יותר כי זה חיבור מקבילי של שני
 אימפדנסים \Leftarrow אימפדנס יותר נמוך ליתרונם יותר רחב של התצרים.

יציבות דינאמית

נצטרך בטשטא מעט כאשר דיברנו על בעיות דינאמיות כצד נרחב יותר.

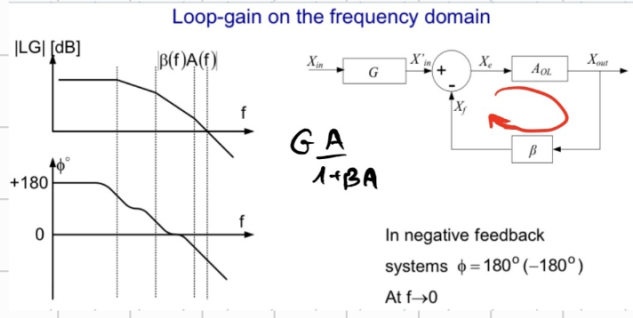
Loop-Gain Nyquist Criterion

$$A_{CL} = G(s) \frac{A_{OL}(s)}{1 + \beta A_{OL}(s)}$$

$\frac{V_{out}}{V_{in}}(s) = A_{CL}(s)$ אם נסתכל על המערכת בחיזו סגור אז ניתן לראות
 שהמכנה של המערכת - $A_{OL}(s)\beta$ - המשוואה האופיינית של התמסורת
 אותו צריך לבחון: - אם מקיפים את -1 אז אין יציבות.
 - אם לא מקיפים את -1 אז יש יציבות.
 באים לבחון אם $\beta A_{OL}(s)$ יש שניים בחצי הימני של המישור הקומפלקסי או של השורשים והקצבים של המערכת הם שגורים.

אם המערכת כן מקיפה את -1 אז נעלם לבדוק את המערכת הזאת בתור βA (= משוק חיובי) \Leftarrow מערכת יוצאת מיציבות.

אם נתבונן באופן כללי ה- A_{CL} אז נעשה תמיד כי $G(s)$ היא מערכת מנימים באיזה (שמאלית) ואת $\beta A(s)$ אנחנו בוחנים, מכיון שהיא הרבה של 2 תמסורת (כל תמסורת לחוד שמאלית אך



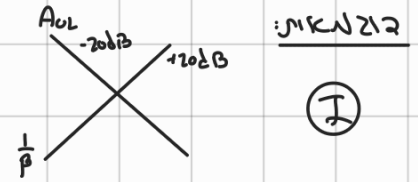
כה לא מכאיו שהחיבור שלהן הוא מערכת שמאלית).
 כלומר אותנו יענין לבדוק את המסלול האדום \Leftarrow
 נבדוק תמיד האם $\beta A = -1$ וקאשר נבדוק זאת
 במישור התדר נבדוק האם $\beta A = 0dB$ ומה הפאזה
 במקרה זה, אם הפאזה קטנה מ- 180° אז
 המערכת יציבה ולא תתנגד.

• phase margin = סודג' פאזה, דרישת סימפ' או פיקטור בפוסט נדרוש $45^\circ > \phi_m$

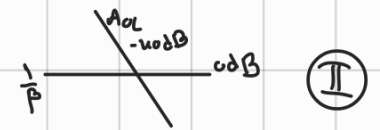
• מערכת מניגום באזנה = מערכת שהפאזה מתעצמת כעו ההלבר, אם ההלבר יורד אוז
 באזנה יורדת ולהפך. (מערכת נגד קדי היא מערכת מניגום באזנה.)

במערכת מניגום באזנה מה שמעניין אותנו זה ה-Roc (Rate of closure).

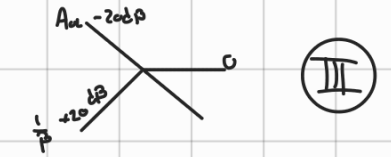
$$\varphi_m = 0 \Leftrightarrow -180^\circ \Leftrightarrow \text{קצב בלבול} \Leftrightarrow \begin{cases} A_{OL} - \text{תורם } -90^\circ \\ \frac{1}{\beta} - \text{תורם } +90^\circ \end{cases} \Leftrightarrow \beta - \text{תורם } -90^\circ$$



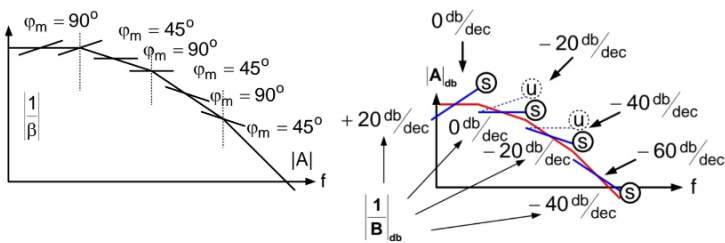
$$\varphi_m = 0 \Leftrightarrow -180^\circ \Leftrightarrow \text{קצב בלבול} \Leftrightarrow \begin{cases} A_{OL} - \text{תורם } -180^\circ \\ \frac{1}{\beta} - \text{תורם } 0^\circ \end{cases} \Leftrightarrow \beta - \text{תורם } 0^\circ$$



$$\varphi_m = -135^\circ \Leftrightarrow -135^\circ \Leftrightarrow \begin{cases} A_{OL} - \text{תורם } -90^\circ \\ \frac{1}{\beta} - \text{בכיוון בחיתוך} \\ \text{תורם } +45^\circ \end{cases} \Leftrightarrow \beta - \text{תורם } -45^\circ$$



Possible compensations Rate of Closure (ROC)



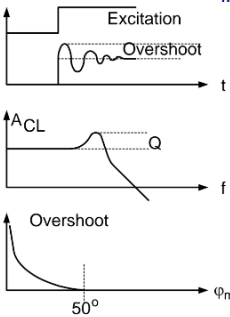
בשרטוט הימני הזרז הימני מתאר כל

מיני שיפועים (בלבול, בלבול, בלבול, בלבול)

מסומן לנו איזה חיתוך יוצר מצב יציב (S)

איזה מצב לא יציב (U)

Overshoot and Q in Closed Loop in Response to step in S_{in}



$$Q \cong \frac{\cos \varphi_m}{\sin \varphi_m} \text{ for } \varphi_m < 50^\circ$$

Design target $\varphi_m \geq 45^\circ$

למה $\varphi_m \geq 45^\circ$ ולא 0° ?

כאשר מסתכלים על מערכת אינסופית מסדר שני: $\frac{1}{s^2 + 5\frac{\omega}{Q}s + 1}$

Q-ארה האיב - מסדק על היכולת של המערכת להחזיק

בתוכה אנליזה בקדוח מה שזה אומר - אם יש עי מערכת

זה סוף וקטן: חייבים כמה היכולת שלהם עלול אחר

את השני היא אובה.

מערכת עם Q גבוהה - מערכת עם היסון חסר: נכנס מדרזה (= בעומק העון אוסילציות

מערכת עם Q נמוך - מערכת מרוסנת: נכנס מדרזה (= בעומק קטן מכו שקרוק לעברה אידיאלי.

אם Q שואף ל-∞ אז קטן מערכת בזי התנגדות ק שהיא

תהיה לא מרוסנת ותלונד לנכח.

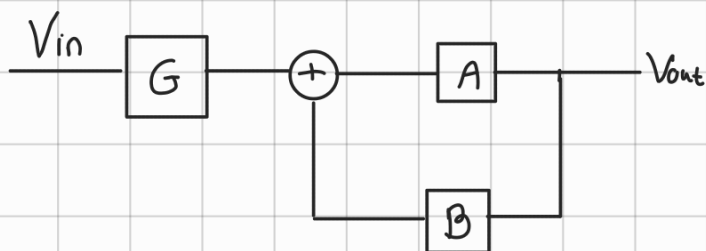
$$Q \cong \frac{\sqrt{\cos \varphi_m}}{\sin \varphi_m} : \varphi_m - \delta$$

אם φ_m קטן ביחס ל- δ , אז קטן Q גבוה מאוד - כך שבעי φ_m קטן קבל מערכת לא מרוסנת.

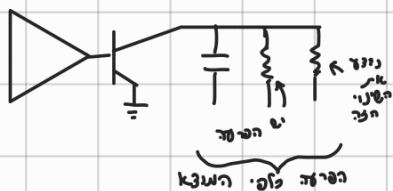
$\varphi_m = 0 \Leftrightarrow Q$ אינסופי = מערכת לא מרוסנת.

$\varphi_m = 45^\circ \Leftrightarrow Q = \frac{1}{\sqrt{2}}$, זהו Q על גבול היסון.

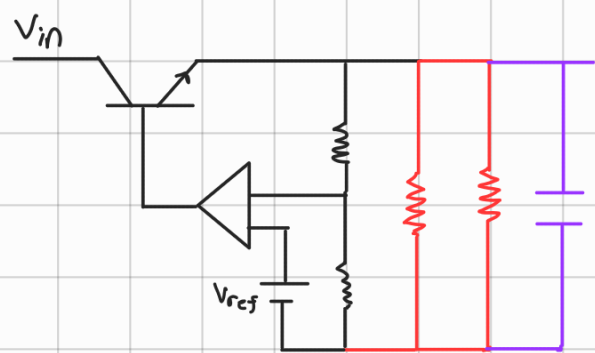
במצב את ψ_m קושיים $\delta-Q$ ואת Q אפשר לקטור δ -overshoot כאשר מסתכלים על סיגנל הזמן.
 ב- $\psi_m=45^\circ$ אנתנו מרווחים את ה-trade-off בין שני מצבי הקציון, מצד אחד מערכת שלא
 זקוקה לה הרבה זמן להתייצב (אין לה הרבה סליות) ומצד שני קצב עליה גבוה.
 אם $\psi_m=90^\circ$ אז זה אומר שלקחנו מערכת מסדר שני ($\sim s^2$) ועשינו אותה מערכת מסדר
 ראשון ($\sim s$). כי מערכת מסדר ראשון יכולה להגיע עד 90° ומערכת מסדר שני יכולה להגיע
 עד 180° . (ברוך המקרים לא נרצה לעשות אלא נבחר קצת overshoot)



השינוי במגדלה מתבצע ב- V_{in}
 מיק אחר המעבר דרך G נלסני
 בעלון הסכימה. כן שב V_{out} עבור
 $\psi_m=45^\circ$ נקדם:

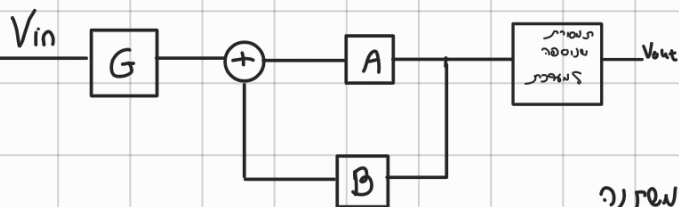


יש מערכות בהן נצטרך לקלוזן לשינויים ב V_{out} .
 דברנו על מבנה של מעבר שהמוצא שלו נבנה כך:



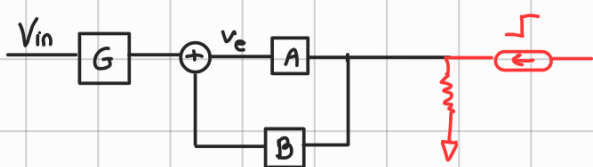
נציר יותר ישר לעבור הקנה:

הוספנו באדום שינוי שיצור הסמטה האינו כי
 דאיימפנדנס המופא יש התנהלות הסראותית
 כך שקיבלנו:
 את גודל הקפיצים-נוסיד קל. כאשר אנו
 מוסיפים את הקבל, אנו סלולים עשנות
 את התמסות של המערכת באופן הכא:



כך שאנחנו בוזמים בטול ענד תמסות \Rightarrow β משתנה

כעת β מסלה ענד אפקט אימפנדנס. בטול, כאשר אנו עשים הפרדה סמסרת אז
 לו הפרדה שאנתנו מייצבים במוצא ולא בכניסה. לואר לא שינוי את V_{in} אלא



את הזרם הנצרך במעל - מה שמסבך לנו
 את היציה ענד יותר. עכן מה שששים זה:
 במצב היציק כפי שעשינו קודם נקבל V_e
 כך ש- V_{out} יוצא עלא הפרדפ.

סטור שינוי מידי ה- V_{in} $\Rightarrow V_{e \neq 0} \Rightarrow V_{out}$ מידי משתנה.

לצאת זאת עם נצרה הפרעה במובן (ראה ציור אמוד קודם) על נגד ומקור זרם

פולס \Rightarrow ההפרעה יתרום עלצית זרם העציר שמשינה את מתח המנבא V_{out}

\Rightarrow מתח מנבא עולה \Rightarrow מוצא משתנים ונדגם דרך $\beta \Rightarrow$ נוצרת שגיאה שרק אז מתקנת.

כאשר קדענו את M_{ϕ} קבענו אותו עסינויים בכניסה, ולכן בעצית לפטר

את העציה שנוצרה, ועלן קדעו יקדום האימור כאשר מקדום האימור אומר - אם

נצטמ, משפחה שתיגיב עם M_{ϕ} של 60° לכניסה אז הסיבוג הנוסף מ- V_{out}

דרך β שמסתנה שגיאה יגיב בסדר גודל של 15° (בדיוק ניקח את ה- 60°)

ולכן כאשר רואים בקשה של $60^\circ = M_{\phi}$ (והיא 15°) זה רומז לנו שכמערכת היא/

כזאת שאמורה עלול גם בעציר שקשורה למנבא ועלן רק בעציר בכניסה.

Lesson #5

Outline

- Internal Compensation
 - Dominant pole
 - Pole-zero cancellation
 - Feedforward
- External Compensation
 - Differentiator circuit
 - Input network
- Simulation models
 - Behavioral
 - Hybrid: Transistor + Behavioral
- Loopgain evaluation in simulation

Internal Compensation

Dominant pole

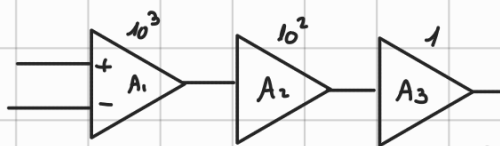
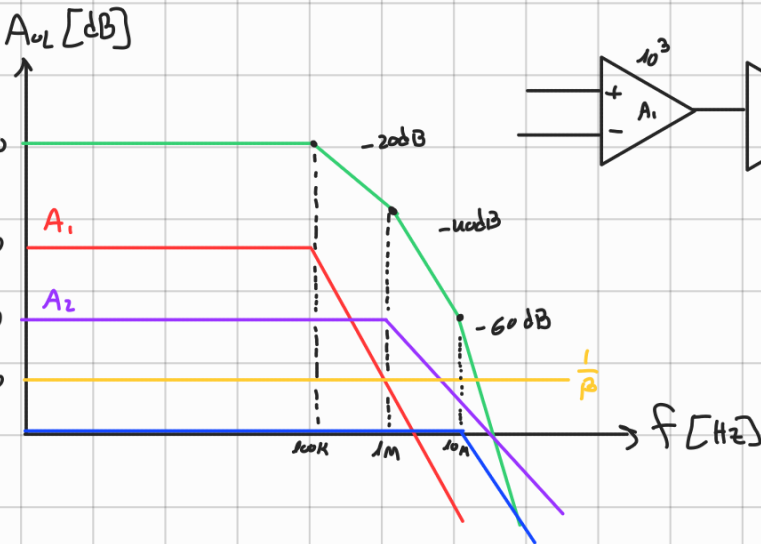
כעת נחפור למעבר בפרט לפונן התמטית של A_{OL} , כאשר

דיברנו על פונן התמטית של A_{OL} אמרנו שחפזר אליו בהמשך

כדי להבין את העציות האמיתיות בו מבהינה דנאמית.

הזמנו כאשר דיברנו על התמטית אמרנו שהיא נראת יק:

אבל בפועל התמטית נראת כך:



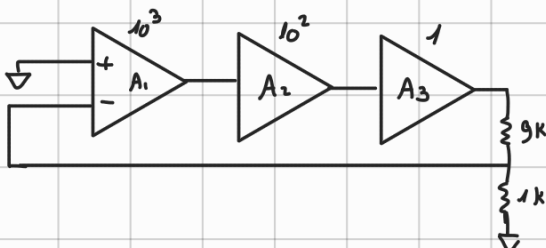
המעבר בנוי מ-3 דרגות

על דרגה יש q_p קצת משלה

כלומר דרגה ורווח סרט משלה

$$A_{OL}(s) = A_1(s) \cdot A_2(s) \cdot A_3(s)$$

$$A_{OL}(s) = \left(\frac{A_{1,0}}{1 - j \cdot \frac{f}{f_{c1}}} \right) \cdot \left(\frac{A_{2,0}}{1 - j \cdot \frac{f}{f_{c2}}} \right) \cdot \left(\frac{A_{3,0}}{1 - j \cdot \frac{f}{f_{c3}}} \right)$$



מה העציה במעבר כזה?

ניקה עדינות מעבר לא הופך \leftarrow

נקוד $\frac{1}{10} = 10 = 20dB \Rightarrow \beta = \frac{1}{10}$ (ראה ציור)

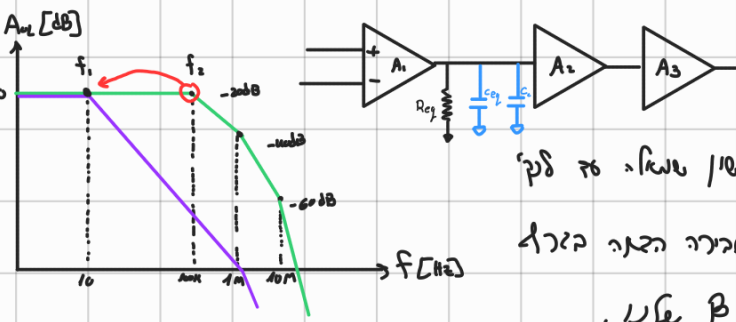
נקוד כי המעבר לא יציבה! המעבר הכי נמוך שאפשר לשים על מנת לשמר

על יציבות הוא בין 80-100 (פחות מ-80dB יהיה חיתוך של 20dB וקצת ≤ 0)

לכן הפתרון הוא בקרה הבא:

הקואב הראשון נכנס מהדריסה של החוליה הראשונה שיש לה R_{eq}, C_{eq} . יתכן נרצה לקחת את הקואב הראשון שמאלה עד לנק'

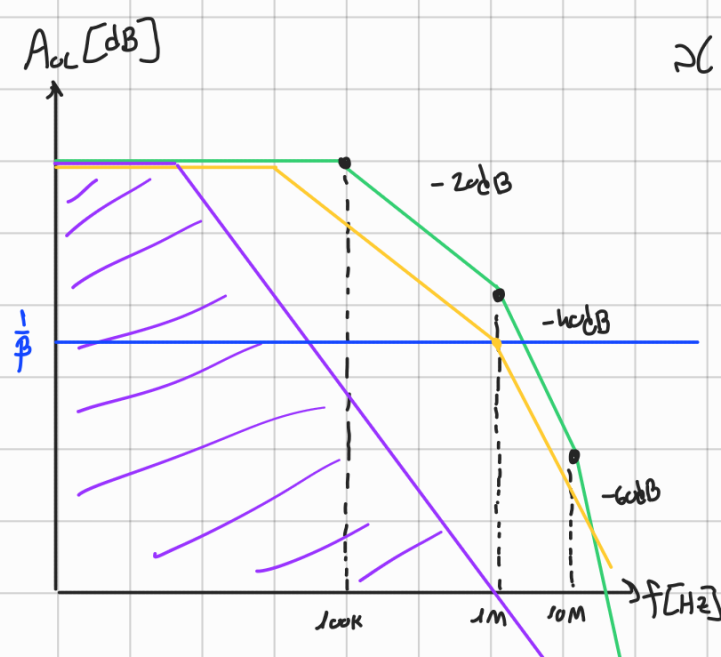
שמאלו הנקוד ירדה הוא $20dB$ - הנק' בה תמיכה השבירה הבאה בקנה יהיה ה- $20dB$ וככה נבדוק יציבות וזו תמונה ב' שאלו.



כדי להקיא את הקואב הראשון למצב זה הוספנו קנה במקרה C_c , ואישיה זו קומאים קיבוק וזה תנאי באמצעות קואב דומיננטי. איך נעשה זאת?

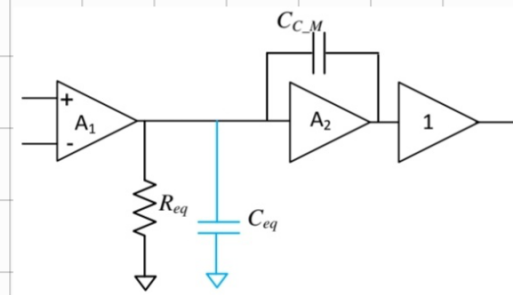
כרצו הקואב שלנו הטו ה- $f_2 = \frac{1}{2\pi R_{eq} C_{eq}}$ והנק' שאלו מוצים להפיק אלוה היא $f_1 = \frac{1}{2\pi R_{eq} (C_2 + C_c)}$ כך שנקיים $\frac{10^6}{10} = \frac{f_2}{f_1} = \frac{C_2 + C_c}{C_{eq}}$. כלומר נצטרך לממש קנה באורך 10^6 מזה בעייתי מאוד (זיתר גדול מידי).

שא תמיכה נקרוי את הקואב הראשון שמאלה עד לנק' $20dB$ - הוא לכל התפוס. לפעמים נצטרך ב ספציפיות ידועה מראש ואז נציב את הקואב עד לנק' ששבור ב' כזו יש לנו התכנסות ה- $40dB$ (בדרך דבר כזה יצוין בהצב' מפרט) לפעמים נעדיף שזכה מה שיהיה כי ככה אנחנו מרוויחים יותר רווח סרט.



נטיה על כי שפור לקיחת הקואב הראשון עד הסוף שמאלה (ראה ציור) אזי השלח מתחת לגרף שמצוין את גודל הרוח הסרט זמן משמעותי. לעומת רווח הסרט המקורי (ראה ציור) אם ה- β המינימאלי לא שווה ל-1 אזא גדולה יותר לפי שיתק לעט כמה שמאלה להציב את הקואב הראשון ונקבל רווח סרט יותר! (ראה ציור)

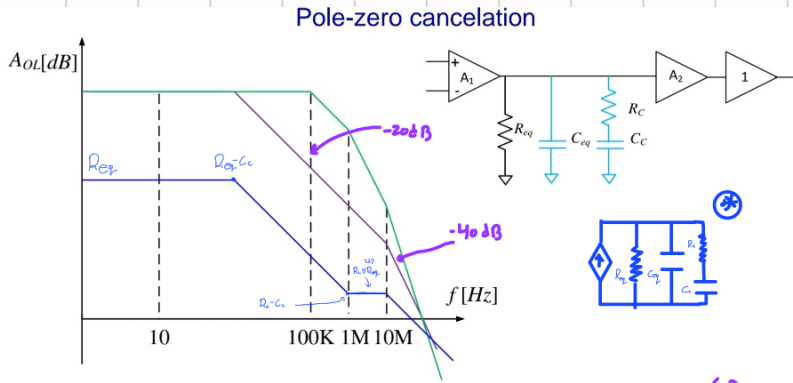
את הקנה C_c שאצור לנו להציב את הקואב הראשון מממשים בעזרת אפקט מילר של הדריסה הימניה $C_c = (1-A_2) \cdot C$. הימניים בעזרת אפקט



מילר הוא אפקט כי בדרכ היצרנים יציבו איצה סולקט שמנים ובאיצה קואביות של מנת להקטין כמה שיותר את החזירה של הרעל.

Pole zero cancellation

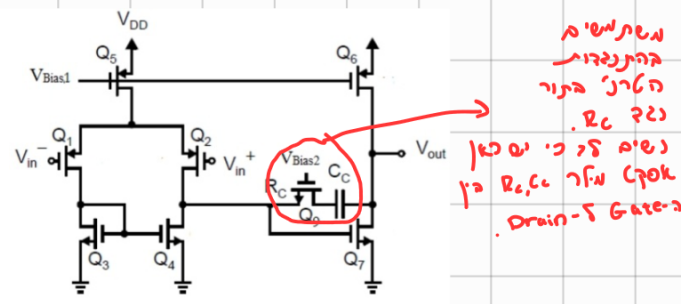
מקודם היסטוריה קוד C_c , עכשיו נוסף גם R_c .
 לכן המעגל תפקודו עומד על ∞ . אחרת יודעים כי
 C_c קודם שמוכיח לנו קודם את הקודם הראשון
 שמוכיח כעת בעצרת R_c נעילת עיניו אסם
 שיבטל את ההספק של הקודם השני ורק A_1
 נשאר בסיפוק של 20 dB/dec - שד עקודם השני (כזה גדול).



אם נסתכל על הגודל המוחלט אפשר מייצג הישר ∞ וניתן להראות שבמנוע איפה שנוקדו התיישות
 זאת באמצעות תוספת הנדס של ערכות או מנפיתים לבטל העשר את הירידה ובתוצאה נקד

אנו מרוויחים ערך פחה דינאמי.

דינאמי עומדל שמשמש הנדס קוד (R_c, C_c) :

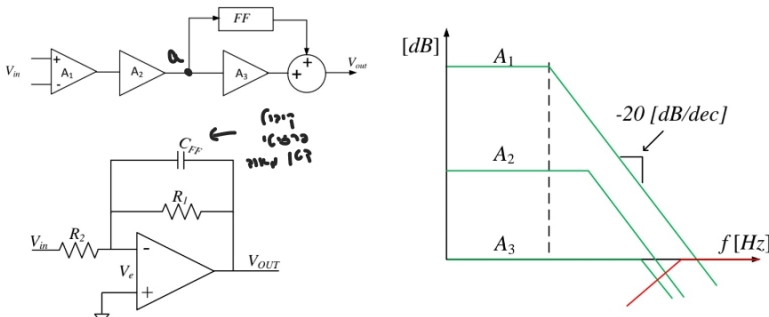


משתמשים בהתנגדות הארץ בתור נדס C_c . נשים לב כי יש כאן אפקט מחר R_c, C_c בין ה-PMOS ל-PMOS.

Feedforward Compensation

כאשר מדברים על מערכת בתפריים זבובים, עומדל אנו נסתכל על מנבר A_3 . נשים
 לב כי בתפריים זבובים (כאשר הגודל הירוק
 של A_3 מתחת לעצור X) המערכת לא תפריד
 לזום החוצה, כיוון שההזכר יהיה מונחת.

Feedforward compensation



דיים קיבול פרזי: מאוב קוד C_{FF} . כן שאם הוא קיים אז יכיל להיות סיפור מסוים
 כן שהאימפונס בקוד a בתפריים מסוים יהיה נמוך יותר מהאימפונס של
 המסעל הראשי (למה העולל שנוצר זק A_3 ישות).

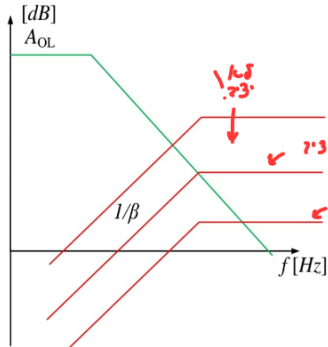
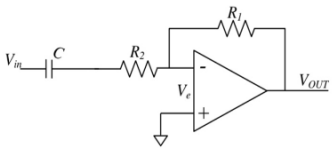
תיפסל כן קודם feedforward - כאשר יש איבול קוד המעגל שהסינול יעדיף
 לא לעצור זקן ההזכר אלא זקן אימפונס עקוד (בעקרה כן C_{FF}).

כך קודם feedforward כיוון שמנפלים אותו כפי עקוד אינקודיה של המעגל מעוד קוד מעל).
 תופסל כן קיימת בעקוד התקוות בהם התפריים זבובים וקיבולים הפרזיטים
 קטנים. בנוסף של אחר מיוחדות ההזכר קיים feedforward אלא כזה שנופסל
 הכי היא A_3 כיוון שההספק של A_3 מול ה-feedforward היא בערך באותו סדר גודל.

שד עכשיו דיברנו על קיבולים כנימיים (internal compensation) למה תידינים שהיינו עושים
 עדי גישה עתק המנבר כשר נשבור עקוד של קיבולים חיצוניים (external compensation)

External compensation

External compensation
Differentiator



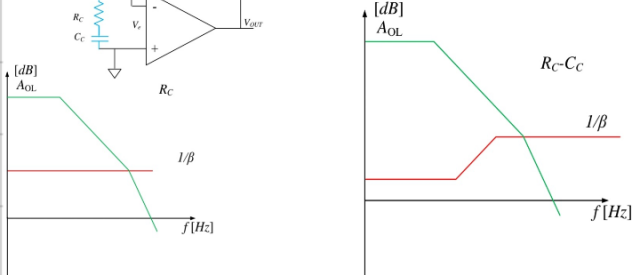
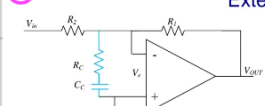
כסת אנו מנסים אל מצב בו המעבר כבר ניתן לנו והוא סגור ונרצה לעשות קיצוץ מהחץ. אנו נקל את הקיצוץ החיצוני לפי התפוקה שאנו מנסים להטות לקבל מהמערכת. נסתכל עליומה יציב על המעבר הזוכר שבציר יש לו קל בכניסה.

$$\beta = \frac{V_e}{V_{out}} \Big|_{V_{in}=0} \Rightarrow V_e = V_{out} \cdot \frac{R_2 + \frac{1}{sC}}{R_1 + R_2 + \frac{1}{sC}} \Rightarrow \frac{1}{\beta} = \frac{(R_1 + R_2) sC + 1}{sC R_1 + 1}$$

הקל נוסד להוריד את מתח ה-DC. בינו את המעגל אל מערכת שמייצרת מעבר הופך. כלומר נשים על כי הוספנו קל אבל יצאנו מיציבות!

לכן נשאלת השאלה איפה אנשים את הסת הקיצוץ???

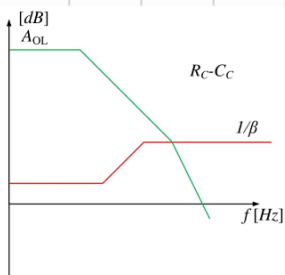
External compensation
Input network



סבור רשת קיצוץ היציבות תמיד נשים בין היצי המעבר (ראה ציור) הסיבה היא שאותנו מסתין התחום ו-β שקי המערכת מתנהגת כמו $\frac{G}{\beta} \Leftarrow$ כמו מעבר אידיאלי כאשר אנו שמים את רשת הקיצוץ בין היציבות אנו מוסיפים את אותי אלמנט גמ-ג וזם β-β ובכך

$\frac{G}{\beta}$ לא משתנה אז β כן משתנה ובכך אפשר לקבוע את המשתנים שכן נסזה החול. ישנן 3 דרכים לבצע את רשת הקיצוץ: (א) קל בלבד - בחית נפל. (ב) נגד בקלד. (ג) רשת RC - נפל.

אם הרשת מכילה רק נגד, אז מה שקורה זה ש משתנה כן שבמקום ש-β = $\frac{R_2}{R_1 + R_2}$ קלד ש-β = $\frac{R_2 || R_c}{R_2 || R_c + 1}$ כן שבאמצעות RC נוכל להעלות את $\frac{1}{\beta}$ ולקבל מערכת יציבה!



אם הרשת מכילה קלד ונגד (רשת RC) אז נקל $\frac{1}{\beta}$ כזו: כלומר אנו שולאים זה בזווה וזה בהתנהגות של β. מה היתרון של השלילה הזו ב-β???

היתרון של רשת RC נובע מהסיביות והבא:

פירטו 2 β (אחת ישנה אחת רמפה) בסני התקרים ה-φm מליהם אותו דבר אבל הרווחו ב-β שהיא רמפה ט-βA האפקטיבי הרבה יותר גבוה.

$$A_{cl} = \frac{V_o}{V_{in}} = \frac{G A}{1 - \beta A} \xrightarrow{\beta A \gg 1} \frac{G}{\beta}$$

אם $\beta A < 1$ אז קרוב ל-1 אז קל בסדר $\frac{G}{\beta}$ וסאי מהאידיאלי (של $\frac{G}{\beta}$).

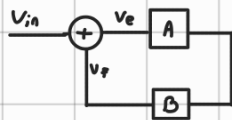


דוגמא: $\beta = G = 1 \Leftrightarrow$ מספר זהו מהפך/חוצץ $\Leftrightarrow 1 \rightarrow \frac{V_o}{V_{in}} \Leftrightarrow V_{out} \rightarrow V_{in}$

אם $\beta A > 1$ אז גדול מ-1 אז נקט $V_o = \frac{1}{\beta} V_{in}$ שזואו כי נקראת שליאת מצב יציב. קורה בעיקר כאשר βA בתדרים נמוכים הוא לא מספיק גדול.



נבדוק
הצגה:



אם קיים המעגל הזה:

כל $\beta A > 1$ יותר גדול וזו Ve זריק לבינות יותר קטן. סלואו כאשר V_f גדול V_e קטן.

מה נרצה שיתקיים במערכת?

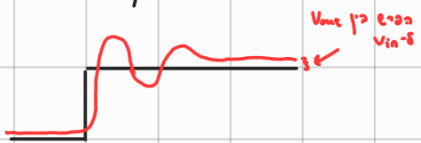
(1) $\beta A \gg 1$. מה זה עוזר לנו? מצב אחד להקטין את מספר האוסילציות מצד שני. לשמור סדרן של מעט אוסילציות

כדי לעמוד מצב שבו נהיה במערכת מסדר ראשון ואז לא נעזל את הכותל של המערכת מסדר שני והיא תסלה יותר זמא (נהיה מעט overshoot)

(2) רוחב סרט ω_{BW} כמה שיותר גדול - מניב יותר מהיר.

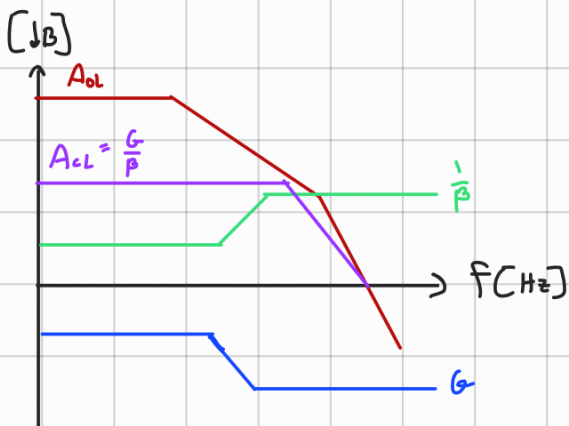
(3) $\beta A > 1$ סלואו כמה שיותר גדול - מסתפסו של ההבדל במצב היציב בין V_{out}

V_{in} - ונרצה הפרש כמה שיותר מינימאלי (כלומר כמה שיותר $\beta A > 1$).



החזרה קצת - * ונסכם:

על השם הידוע:



(1) לא כנסנו בתכנית של המעגל, כלומר נבדוקת תכנית $\frac{G}{P}$ - התכנית של V_{in} ו- V_{out} (שגרו).

(2) נבדוקת $A_{cl} - G$ יהיה שיקוף של β בקצף, ולכן ה- β יראה כמו בתראוס.


(3) מכיון ש- $\beta > 1$ מסתנה אנתנו מעצבים אותה לפי התלננר הזינאליות שאנתנו רוצים לפי הפרמטרים שאנתנו מחפשים (בדיוכ חיצוני העיקרים משנה מגוד ואם נעקב במקום אחי והקל β שונה)

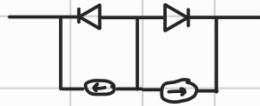
Simulation models behavior

סימולאורים מתפקדים 2-8 סוגים: (1) behavior סימולאור התנהגותי.
 (2) Physical סימולאור פיזיקלי.

סימולאור פיזיקלי:

כל רכיב מתבסס על מספרת משוואות המתארות את הקשרים בין ההדקים שלו, למשל:

דיודה: מתוארת ע"י מודל שנתאר כך  כן שהצבם שפורט בסוף
 הנו: $I = I_s e^{-\frac{V_0}{V_T}}$



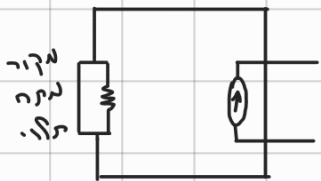
• אינן בייסולרי: מתואר ע"י:

• נגד: ניתן לתאר באופן פיזיקלי $I = \frac{V}{R}$ (מקור זרם)

• סליל: ניתן לתאר באופן פיזיקלי ע"י $V = L \cdot \frac{dI}{dt}$ (מקור מתח)

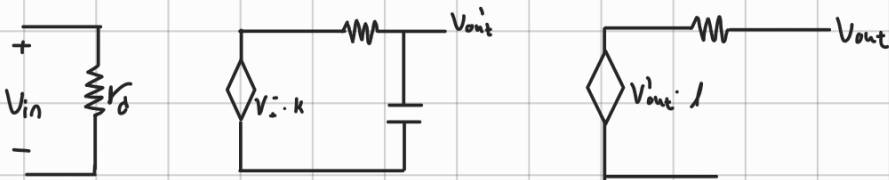
סימולאור התנהגותי:

תואר המאפיינים העיקריים של המספרת באמצעות ביטוי מתמטי או לוגי או קונדיציונלי טרם. למשל בדיודה במקום לקחת את הקשר $I = I_s e^{-\frac{V_0}{V_T}}$ שהיא קשר די ביסי, נבדוק בקשר הבא:

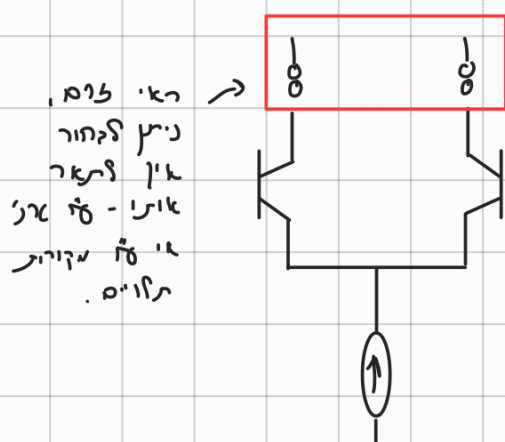


המתח על מקור זרם תלוי בהרכבים של מקור המתח התלוי.
 כך שהינו מייצרים מספרת שתלוייה במקורות תלויים - הנה תלוי אחד בשרי.

למשל נגזר שרת אפשר לתאר באופן הבא:



בסדר הפלטנו להראות אם את $A \cdot A$ וזם את התנודות המובא והתנודות הכניסה של המגבר.

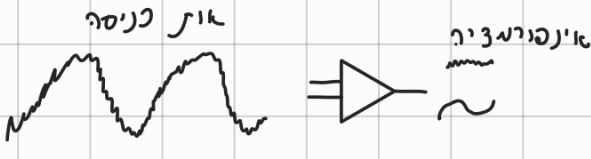


ניתן לתאר את המגבר שרת גם באופן פיזיקלי:

ראי זרם, ניתן לקחור אין לתאר אורני - ע"י ארני אי ע"י מקורות תלויים.

⊛ להנדסת השלם יש 2 סוגי סימולאורים:
 spice -
 PSIM -

עד כה בקורס קיברנו על בעיות העיבוד המעשי, כעת נדבר על יישומים - מה עושים במעגלים האלה.



מסננים

- מבנים סוגים למעגלי ומוציאים מתוכו אינפורמציה.
- נדבר על מסננים מה מני סוגים.
- סדר המסנן משפיע בעיקר על ההתנהגות שלו.
- יש 5 סוגים של מסננים בהם נתמקד:

1) LPF - איזור תדרים הנמוכים עבור איזור וריחוק איזור

תפריט מסוים מונחת משתמשים בדרכי הסינלרים בהם רוצים להסיר ולסנן את האינפורמציה של הסינלר בתדר גבוה.

2) HPF - איתור תדרים משמאל לתדר הדרך יונחת ומימין לתדר הדרך יעברו ויזכרו.

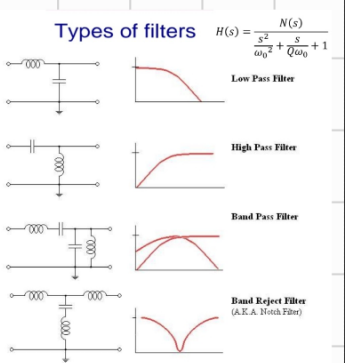
⊗ משולב של HPF ו-LPF אפשר ליצור סדר 3 סוגי מסננים:

3) BPF - מסנן שמספיק אנפורמצייה בתחום תדרים מסוים - שילוב של קודם של HPF ולאחר מכן LPF.

4) BRF - מסנן שלא מספיק אנפורמצייה באיזור תדרים מסוים - שילוב של קודם LPF ולאחר מכן HPF.

5) All Pass - מספיק את כל התדרים. אם רוצים אותו סינלר גאוסי אצל כמו שהוא, ללא סדרת של תחום התדרים, אלא להפוך סינלר אחד מהשני. (כלומר ליצור הפצת פאזה שזרמת להפצה בזמן)

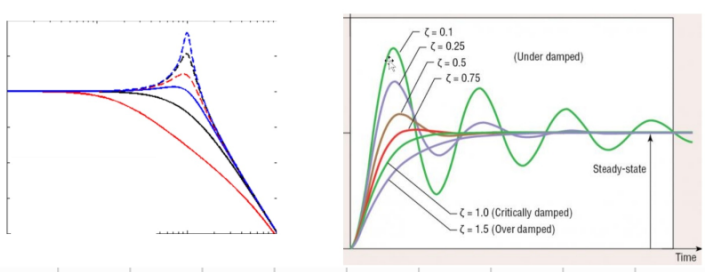
- Active filters
 - Types of filters
 - Simple filters, first-order
- Second-order filters
 - KRC filters
 - Circuit solving approach
- Multi-feedback
- Impedance emulation
 - Multiple amps
- Switched-capacitor circuits



בנוי של בסיס מעגלים
מספר שני. כיוון שהחומרים של סדר שני ין כאלה שמבטוחים של חולה היא סדר יציבות של סקול. כך שטייטורי חולה הוא גם דינמי של סדר סקול.

יש בעיה להשתמש בסדר של סיליקון. לכן ניבוי לבנית מעגל סקנוי מקדמים בצורה כזו שיבטחו סדר צורה הכי טובה של מנת לקבל מסנן מספר שני כמו דינמיים מעלה.

Second-order response



הזרמים הנלו מתארים LPF מסדר שני. ניתן לציבור

שמדובר ב-LPF כאשר מסתכלים על מצב AC. ב-AC סילר הוא אימפולס זקנה וקל הוא אימפולס נמוך כן שאם את AC יכנס לתוך המעגל אז יהיה לו קשה לזכור בזמן הסוף ומה שכן יעבור יותר לקל ולא החוצה וכן בעצם נקח Pass-של בעתים - פסא ראשון מהסוף. התדרים נמוכים \Leftarrow סילר קצר קלוק \Leftarrow האינפורמציה תעבור.

ופסא שניה מתקרה.

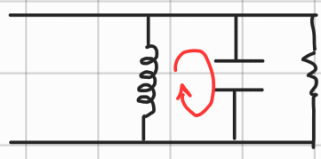
במערכת שהן חוליות מסדר שני - כאשר יש אלמנט התנגדות כלומר נגד במעגל (במעגל תהודה ארי פל ש R גדול יותר אז הריסון גדול יותר במעגל מקבילי הפוך), אז באיזור התהודה כאשר הסליל והקבל מכללים אחד את השני, מה שעושה את החסם של התנגדות כלבד.

• אם לא תהיה התנגדות \Rightarrow לא יהיה חסם \Rightarrow המערכת תכל להגביר באיזור התהודה מאוד גבוה \Rightarrow מערכת של תנגדות (מתנד).

• אם ק תהיה התנגדות \Rightarrow יהיה חסם לתנפיות (למשל מערכת עם קפיץ כשחיוכו) \Rightarrow בסופו של דבר התנגדות ירוסנו.

מערכת עם גורם זיב (Q) גבוה/ריסון (G) נמוך - תתנגד הרבה סד להתנגדות. מה זה Q? (מעגל ארי $Q = \frac{Z_r}{R} = \sqrt{\frac{L}{C}}$ מעגל מקבילי $Q = \frac{R}{Z_r}$)

ניתן אינדיקציה של כמות האנרגיה שאיטו מסת/מעגל תהודה יכול להחזיק. לשם



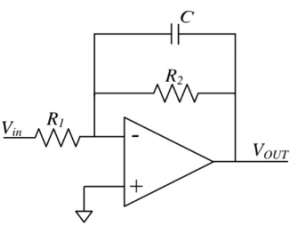
המחשה ברורה יותר נסתכל על מעגל תהודה מקבילי - אם למעשה יש גבוה כאשר $Q = \frac{R}{Z_r} = \sqrt{\frac{L}{C}}$ זה אומר כמה טוב תסתובב האנרגיה

במערכת. פל ש-Q יותר גבוה אז המעגל מסבד בתוכ יותר אנרגיה, מה זה אומר? אם אנחנו רוצים באיזור על שט להעביר זכס/אנרגיה החוצה אז יותר קל לט (לדעתי תהודה ארי טיזר קשי לנו), כיון שהאימפדנס של מעגל מקבילי יותר גבוה. תהיה אנרגיה שתסתובב בין הקבל וסליל, אך הקבל והסליל חד יהוו נק והאנרגיה תעביר החוצה.

כאשר נרצה ליצר הזכר מתח במעגל, נבטין לשלם של זה שתהיה אנרגיה שתסתובב במעגל בסדר באיזור תדר התהודה (כלומר מקיף של הזכר סביב ω_0).

פל ש-Q יומן גבוה כמה באיזור ω_0 ההזכר יהיה יותר ממוקד. Q קודם את איכות הסביבה של הסינל ולא את איכות הספירה שלו.

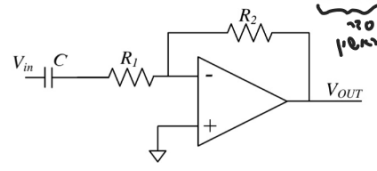
Simple first-order filters



$$H(s) = -\frac{R_2}{R_1 R_2 C s + 1}$$

$$H_0 = -\frac{R_2}{R_1}; \omega_0 = \frac{1}{R_2 C s}$$

LPF + gain



$$H(s) = -\frac{R_2 R_1 C s}{R_1 R_1 C s + 1}$$

$$H_0 = -\frac{R_2}{R_1}; \omega_0 = \frac{1}{R_1 C s}$$

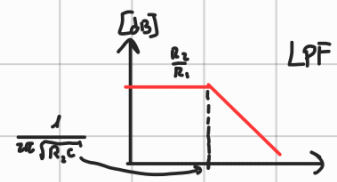
HPF + gain

מסננים מסדר ראשון - אינטגרטור ודוץ.

H_0 - היא התגובה כאשר התנסות היא קו ישר

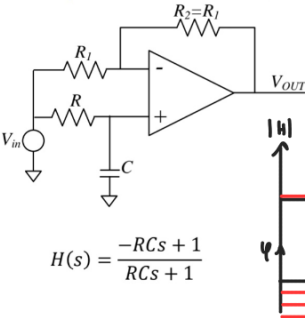


במסנן סדר ראשון חסוך להפוך את התנסות.



Simple first-order filters

$$H(s) = H_0 \frac{Xs + 1}{Xs + 1}$$



$$H(s) = \frac{-RCs + 1}{RCs + 1}$$

מדידת
הגיינה פאזה
קודם

במעגל זה העבר המסור הוא 1, הכניסה מתפצלת לענף שלילי ויחיובי, וה-RC במעגל נמצא קודם למטה. מעגל זה נפתר באמצעות סופרפוזיציה של החלקים. המעגל מסדר ראשון - יש קצה אחד במעגל.

Phase shifter

Second-order filters

Effect of the numerator on the response

$$H_{LP}(s) = \frac{1}{\frac{s^2}{\omega_0^2} + \frac{s}{Q\omega_0} + 1} \quad H_{BR}(s) = \frac{\frac{s^2}{\omega_0^2} + 1}{\frac{s^2}{\omega_0^2} + \frac{s}{Q\omega_0} + 1}$$

$$H_{HP}(s) = \frac{\frac{s^2}{\omega_0^2}}{\frac{s^2}{\omega_0^2} + \frac{s}{Q\omega_0} + 1} \quad H_{AP}(s) = \frac{\frac{s^2}{\omega_0^2} - \frac{s}{Q\omega_0} + 1}{\frac{s^2}{\omega_0^2} + \frac{s}{Q\omega_0} + 1}$$

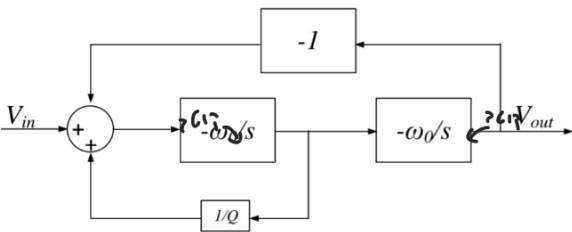
$$H_{BP}(s) = \frac{\frac{s}{Q\omega_0}}{\frac{s^2}{\omega_0^2} + \frac{s}{Q\omega_0} + 1}$$

נשים לב כי במסננים מסדר שני המכנה אותו קצר מה שיקדם את סדר המסנן. זה המכנה, אבל את סדר המסנן קודם המונה.

כיתוך עכפול בין 2 פונ' המסור ואז עקף מעגל שונה. קולומה:



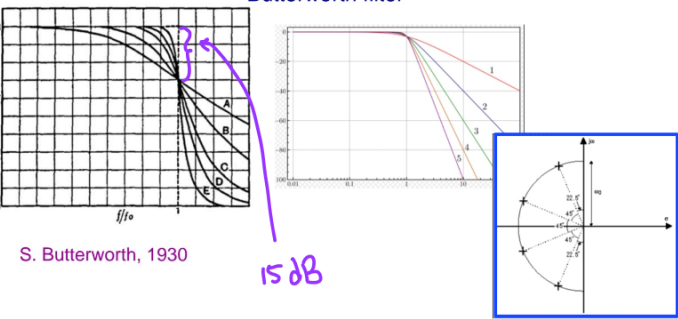
Block diagram for LPF



קולומה לרפית למימון LPF:

Butterworth filter

Butterworth filter



אם רוצים העתים של יותר מ-40dB צריך מסנן שהסדר שלו יותר גבוה מסדר שני (לדוג' כאשר רוצים אחרי תפר הדיון העתים מידיות). הענין שאם לוקחים הרבה חוליות RC של מסננים אז קו' הדיון תהיה כל פעם מועתת ב-3dB, למשל

סדר 5 חוליות כבר נקט העתים של 15dB בתור הדיון (ראה ציור). נרצה לציב מסנן שאין העתים בדיון אז יש יחידה חדשה. לכן Butterworth אחר שאם ניקח חוליה ונשים קצת אחרי וקצת לפני חוליה נקבל תמסורת כזו:

בסופו של דבר הקו' של ההעתים בדיון תתמסר. וכאשר נקבע על אחר התמסרות

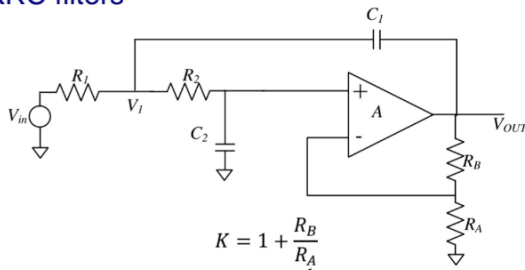
overshoot בדיון נקבל בסה"כ דיון יחידה חדשה. אין לפנא מסביב לדיון ??? צריך לפנא את הקלבים במידה שווה מסביב לחצי המישור הקומפלקסי (ראה ציור).



KRC Filters

הפעלה במעגל השטאלי היא שלטוח
 2 חוליות RC האות מונחת (= נכנס
 למגבר אית מונחת ככה שהמגבר
 צריך לעבוד יותר רגיש.

KRC filters

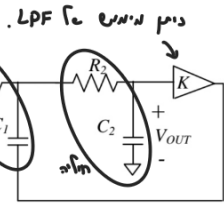


$$K = 1 + \frac{R_B}{R_A}$$

$$\frac{V_{out}}{K} = V_1 \frac{1}{R_2 C s + 1}$$

$$H(s) = \frac{K \omega_0}{R_1 C_1 R_2 R_3 s^2 + [(1-K)R_1 C_1 + R_1 C_2 + R_2 C_2]s + 1}$$

$$H_{OLP} = K ; \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{R_1 C_1 R_2 R_3}}$$



קובלנו מערכת של פולאר שיוזע
 צמיות LFP עם הזכר מספר 1.

מגבר שמוערי את הפעולה הזאת שההגבר הוא חלק מהמערכת קריא KRC (א-הגבר, RC-הגבר).
 המעגל בזכר ישן יש מימיו של מערכת KRC כאשר וק הקבל של המסוד וחוליה נוספת היא

$$\left. \begin{aligned} 1) \quad \frac{V_{in} - V_1}{R_1} + \frac{V_1 - V_0}{\frac{1}{Cs}} \rightarrow \frac{V_1 - \frac{V_0}{K}}{R_2} = 0 \\ 2) \quad \frac{V_0}{K} = V_1 \cdot \frac{1}{R_2 C s + 1} \end{aligned} \right\} \begin{array}{l} \text{2 משוואות} \\ \text{2-2 נעלמים} \end{array}$$

Circuit Solving approach

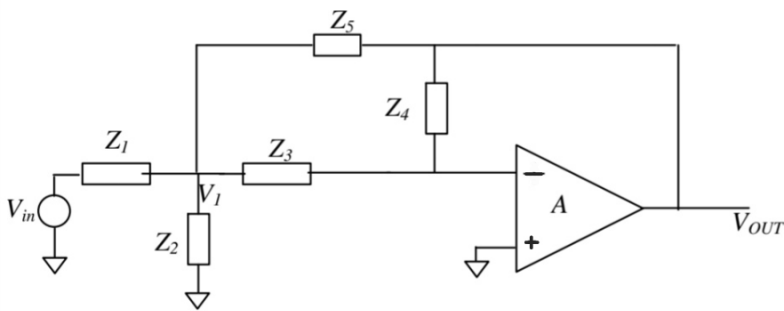
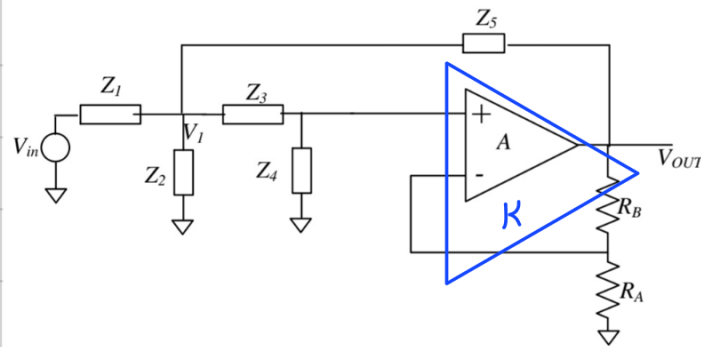
Circuit solving approach

מעגל פה הוא המקרה הכללי של KRC.
 בסדר יש 2 חוליות של אימפדנסים
 ששקולים במגבר לחוליות RC. ו-א א אולט
 בזמן תלוי. הסמן ככה לפתרון של KRC.

Multiple feedback filters

Multiple feedback filters

פה אנחנו משתמשים במגבר כדי לקבל את
 מה שאנחנו רוצים. במעגל כזה יש יותר ממסוד
 אחד, פה יש זק ופעם נוספת זק2
 פה אנחנו משתמשים ב-AOL של המגבר. אך
 הצורה טובה יש כמה מבואות:
 1) חיים לקבוע שיהיה מספיק אובדני משהו רגול לאדעה.
 2) תיים לקבוע שמסוד אחד יהיה אובדני או
 שמספיק אחד לעניסה יהיה אובדני.



בדגך מסבך למגבר עא יהיו יותר משני
 קבליים כי את המגבר יוצא מניביות.

כאשר או Z4 או Z5+Z3 חייבים להיות נשדים ובאותי איבן, וז או Z2 חייב להיות נשד.

* אם נבחר Z4 קבל (= Z3, Z5 נשדים) LFP נקבל
 * אם נבחר Z5 קבל (= Z2 נשד)

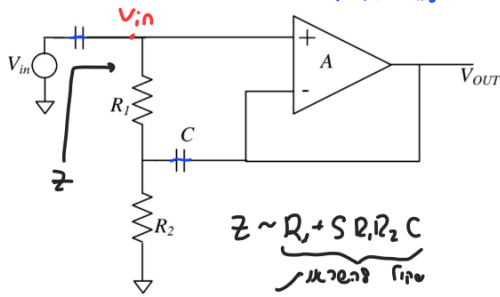
* אם נבחר Z3, Z5 קבליים (= Z4 נשד)
 * אם נבחר Z2, Z5 נשדים

Impedance emulation

Impedance emulation

Bootstrap circuit to emulate inductance

תבנית AC



מטרה זה מבצע אמוולציה לספיל.

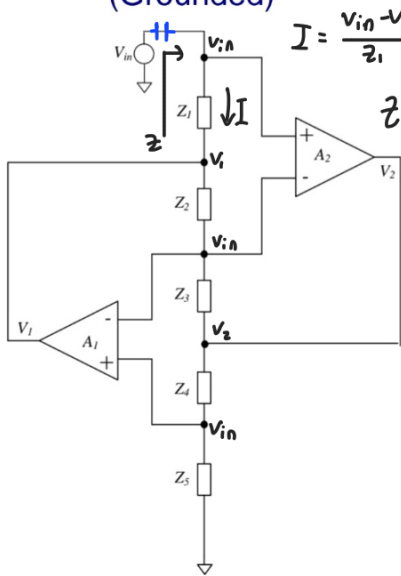
הקבל בכניסה טעף בשביל להוריד את ה-DC
 נ- Vin. נניח כי הקבל C מספיק גדול כדי שהטו יחסך
 התדרים שאנחנו רוצים להפעיל את המערכת קצרה.
 ברזע שהסגנון Vin עלה אז הסיגנל Vin בין הנגדים עלה

יחזק אינו. האימפדנס Z גבוה מאוד (ס-AC) כך שבאופן איכותי יש לנו מערכת
 עם אימפדנס גדול מאוד ליתרונם גבוהים \Rightarrow שקול להישראות.

קיבלנו התנגדות הישארית סג' מסל מסדר ראשון. (בתקום ספיל נוסף עשית את המטרה)

נראה קול' נוספת עבור מטרה מערכה יותר:

General impedance emulation (Grounded)

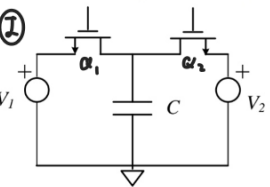


$$I = \frac{v_{in} - v_1}{z_1} = \frac{v_1 - v_2}{z_2} = \frac{v_2 - v_3}{z_3} = \frac{v_3 - v_4}{z_4} = \frac{v_4 - v_5}{z_5}$$

$$z = \frac{z_1 z_3 z_5}{z_2 z_4}$$

בכל קצ' של המגברים זה זורם זרם ולכן:
 אם בוחרים ש- $z_2 = z_4$ וכל השאר נגדים (מספיק קבל)
 אחד כי ישנו שני מגברים והקבל נמצא בין שניהם). ברזע שמהינים
 אינך מתחיים שווים ושיש רק זרם אחד במטרה אז המטרה היא
 די פשוט. $z = \frac{R_1 R_3 R_5 \cdot C}{R_4} \sim L$ ($z_2 = C$)
 ניתן לקבל מבנים נוספים שיותר מטבכים מהישראות.
 * מסננים הם מטמלים ס-AC ככה שבמטמלים כאלו בדרי' יהיה
 קבל בכניסה שיטן את רכיב DC של Vin. (הוא ציור)

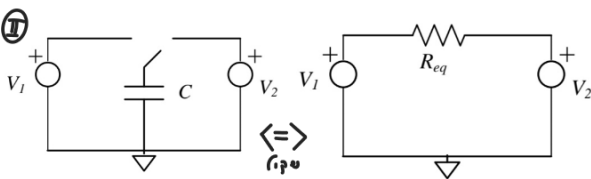
Switched-capacitor circuits



$$I_{avg} = f_{clk} \Delta Q$$

$$I_{avg} = C f_{clk} (V_1 - V_2)$$

$$R_{eq} = \frac{V_1 - V_2}{I_{avg}} = \frac{1}{C f_{clk}}$$



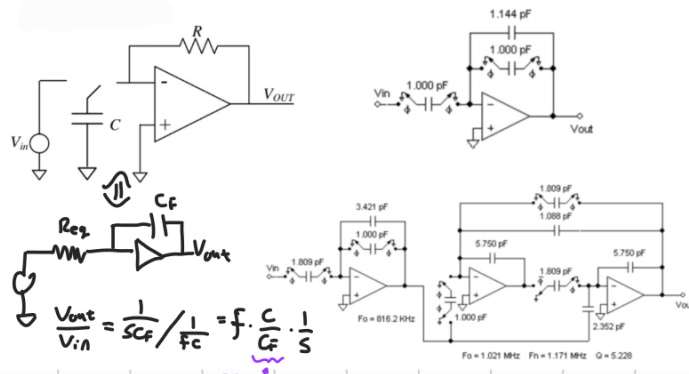
בין v_1 ו- v_2 וכמות המטעם שסוזבית היא: $\bar{I} \cdot T = C \cdot v = C \cdot \Delta v = \Delta Q$ $\Rightarrow \bar{I} = \frac{\Delta Q}{T} = \Delta Q \cdot f_{clk}$ (זרם ממוצע)

אם יש זרם ממוצע נוכל להגדיר התנגדות ממוצעת/שקולה. לומר קבל שבאמצעות קבל ובאמצעות הנוף
 שלו בין מקורות אנחנו יכולים לתאר התנגדות. ולכן אפשר לעשות מטמלים שמהינים מן סל קבלים, חלק
 קבלים רזוליים וחלק קבלים שמתמלים.

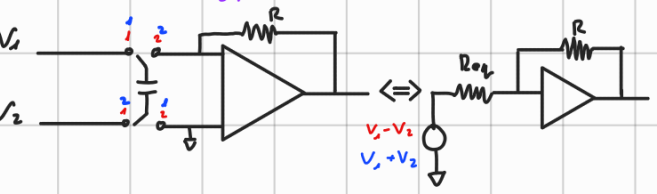
קבלים מתמלים:

מטמלים של קבלים מתמלים סוזבים לנו לשמור על
 יחס קביע בין מתמלים והתנגדויות. למשל עבור מטמל
 תהיה לענה ופחידה בקבל סדף כדי לענות הקבל לעתה v_1
 אח' נפרוק ינזע לעתה v_2 המשמעת היא שהזרם בקבל
 קיבל קפוצ' ואל התפריק. עבור מטמל II המתז קופץ

Switched-capacitor circuits



$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{1}{sC_f} / \frac{1}{fC} = f \cdot \frac{C}{C_f} \cdot \frac{1}{s}$$



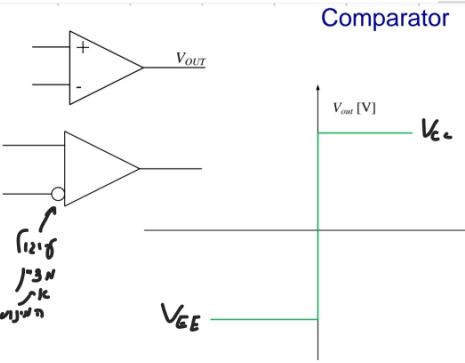
כאשר אט מייצרים מסננים חסוד מאוד לדייק בתדרי הרק (איפה נמנא כיתדר), לכן עושים זאת ע"י יחסים שנוצרים ממעגלים מתמטיים (יחס הוא דבר יותר מצויק מציוד כללי). המעגל מתמטי בתדר גבוה מאוד (עבור תדר גדול מרודד הסרט) אין נקדע עמו הזודל של Req במעגל? קוזמא:

עבור מיינע הכניסה במעגל זה תפיה $V_1 - V_2$.
ועבור מיינע נקדע כניסה של $V_1 - V_2$.

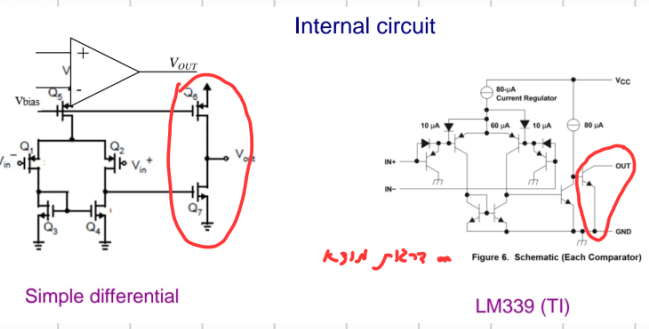
- Comparators
 - Voltage comparator – basic characteristics
 - Internal circuit
 - Propagation time and overdrive
 - Output stage
- Basic applications
 - Level detection, window, counter, PWM, ON-OFF control
- Schmitt trigger
 - Inverting and noninverting
 - Single supply
- Advanced applications
 - Oscillators

Comparator

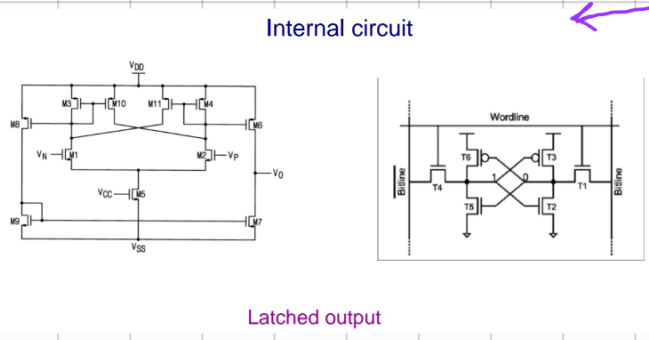
משווים הם קצת שונים מעגרי שרת. הסימון שלהם זהה אופ"ן התנסוורת של מעגרי בחוד פתוח ומשווה הם זהים - הפרט הדקים קאן עהדק החיובי יוציא V_{cc} והפרט הדקים קאן עהדק השלילי יוציא V_{EE} . ההזכר של המשווה יהיה מאוד גדול יבין אצט לנו עהבין מה המצב בהפרט המתח בין ההדקים.



הכניסה של קומפרטור מאוד קומה לכניסה של מעגרים (כניסה דיפרנציאלית) ההדק הוא שבקומפרטור יא צדיק את הקיצוץ. אנהני יכולים להרשות לעצמינו לעבוד ב- full-swing.



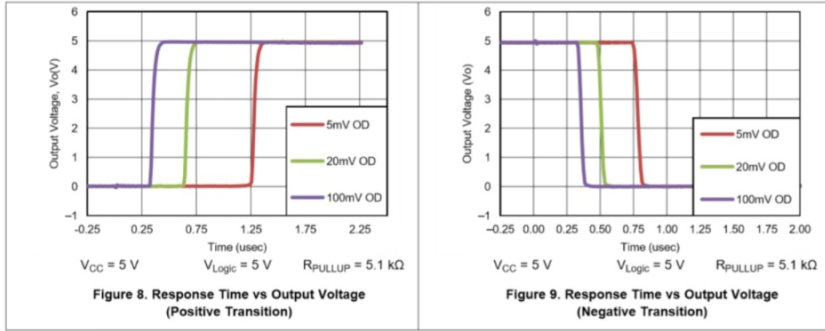
דוגת המוצא במעגל השמאלי נקראת Push-Pull. דוגת המוצא במעגל הימני נקראת open collector. (נרחיב בהמשך על דוגת מיינע)



במעגלים כאן מחברים את הפוז דיפרנציאלי (אלאמנט פיכרין) ולא משאירים באוויר כמו קודם, וזאת על מנת שבקומפרטור לא יצא על שני מוצרי ואלא יקפוז כל פעם מרודד אחר לשניה.

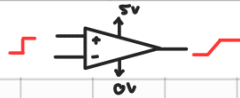
Propagation time & overdrive

Propagation time and overdrive



אחד הפרמטרים הכי קריטיים של הקומפראטר זכר ההספדיה. בזרף מסתכלים כמה זמן עוקח למוצא עלנות מוצה מ-5 ל-50-זמן. זכר נקרא **Propagation time** ולעזר המדרזה קוראים **overdrive**.

(TI)

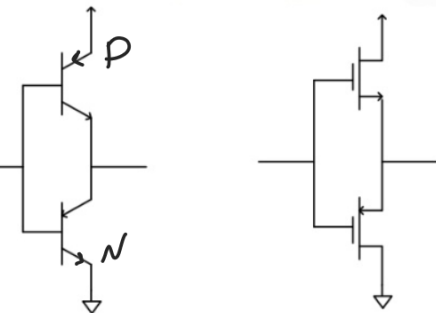


נרצה תמיד לעתה כמה שיותר **overdrive**,

כיוון שאחד מדרזה גדולה בין החדקים - צד אחד יהיה רווי וצד אחד יהיה קטוע \Rightarrow גבא הזרים של הקומפראטר יבא החוצה. אם המדרזה תפיה נעמה נקל קצת זכר שיבא החוצה. מי שיטען (לא יותר אתר הקיבוליים).

Output stage

Output Stage



Push-pull

מוצגות דררות מוצא שנמצאות לאחר הזכר הדיפרנציאלי. מה השיקולים בבחירת דררה? בחוג סגור נשתמש בדררת מוצא **Push-Pull**, החיסרונות בדררה: הזודה של V_{CC} קבוע, אם נרצה להוציא אובה שונה מ- V_{CC} אנחנו לא יכולים. דררת ההשוואה ודררת המוצא לא קשורות אחת לשניה \Rightarrow אין חופש בשני. הימנה הלוזות.

אל מעת להעביר יותר זכרם ב- **Push-Pull** כמות הזכר קשורה בכמה שהארנצ הסליון מוציא זכר מענק המערכת.

בחרבה מאוד קומפראטרים השיטה שמשתמשים היא בסכס

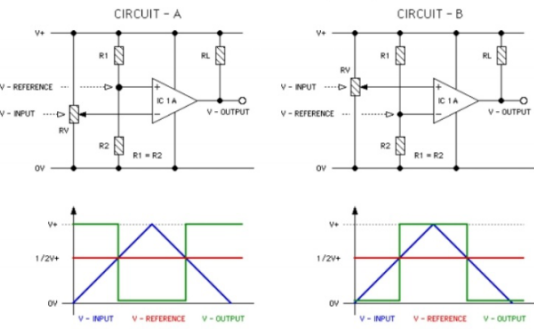
מפרידים בין דררת ההפיעה לבין דררת המוצא **Open-drain**.

Open-drain (Open-Collector)

המשמעות היא שדררת המוצא מהמזגיר יוצאת זכרנו בודק שהוא בחיבור CE או CS כך שאחר הרגליים של הזכר מחוברת לאוויר ואחר לענדה. כך שהרגל שבאוויר ניתן לחבר לענדה ולמסב V_{CC} אחר (פוי כמו V_{CC} בתוך הקומפראטר). למה זכר אוב? במקרים בהם הקומפראטר מתחבר לרכיב עזוי. מדורם מתיח לבדה יותר (מזו) לעזמת זול דיפרנציאלי שבזכר מתימס קטנים.

Basic operation

BASIC OPERATION OF VOLTAGE COMPARATORS
©2008 PEARSON Education



צבירה בסיסית עם קומפראטור:

השוואה בין המער ומער. סיגנל הפוכה מגיע להדק "+"
סיגנל כניסה מגיע להדק "-". R_2 מחובר לכיוון הספק-
כלומר הסידור הוא open-drain את הנגד R_L מחברים
למער אחר עם למער V_{CC} של המער.

יישומים בסיסיים של קומפראטור:

Applications –basic

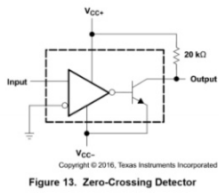


Figure 13. Zero-Crossing Detector

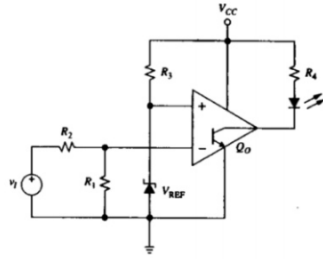


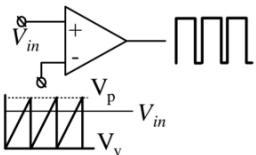
FIGURE 9.11 Basic level detector with optical indicator.

Zero-detection

כאשר יש לנו את AC סינוסואידאלי ואנחנו רוצים
להסונ את האות AC עלול מרובץ \Leftarrow כדי למנות
את המער שלו. מצד ימין יש דוגמה, נסמך של המער
 V_L שייתן לנו אינדיקציה של אפס-חוס. כמו למשל למסן

שצריך להסען מכשירים מסויימים והנורה דולקת באדום כל סדג הסולה לא שאר והופכת כחור
כאשר הסולה שאר. בדוגמה פה מייצרים V_{REF} עם כובד זכר. מודדים את V_L (או
יתר נטן מודדים חלק יחסי שלו), קאמצע הסידור של הקומפראטור עם open-collector, אנחנו
יכולים להדליק LED.

Applications –basic



PWM

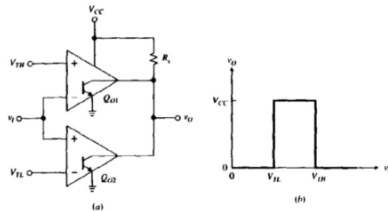
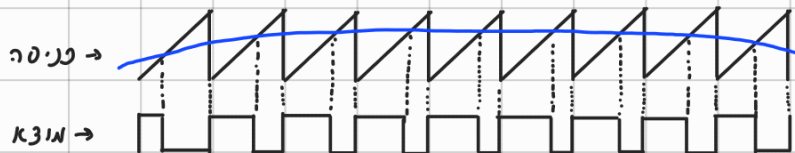
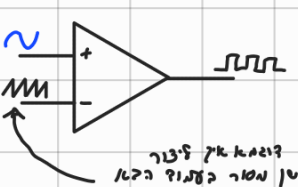


FIGURE 9.13 Window detector and its VTC.

אנחנו יכולים עגור 2 ספים (וזהו סג יחיד)
ועשה זאת עם חלון.
שיטת העדוד של חלון היא הדוויננטית כויתר-
כשאנחנו בתוך החלון הסדך הוא באות.

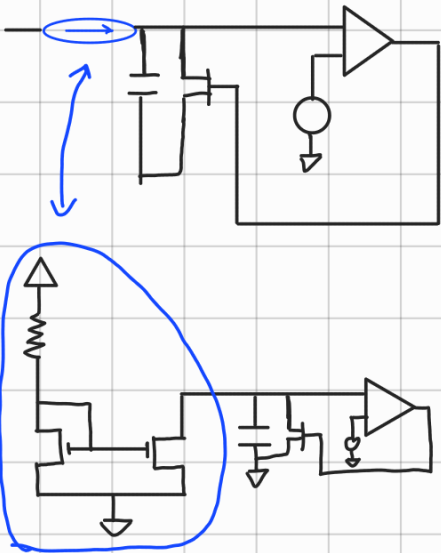
של הבסיס של 2 הספים נעשה סידור
של n-ספים. על אחד מהקומפראטורים נחבר את המדידה של את הכניסה. מצד
שני נכבד חלוקת מער כזאת של ההדקים עם נגדים שיצרו עי חלוקת. מקנה
כדי נקרא Flash ADC (כי זה מהר-כדע שיש סיגנל הכניסה מים תבא תופוד - או אחד)
על הקומפראטור אפשר להכניס להדק אחד סיגנל שן מסור ולהדק השני סיגנל מיוחד
וקבל דמבא את הסיגנל הכא:



דוגמה אק ציבור
שן מסור בעמוד הכא

דוגמא איך לציור שן מסור:

לא מנתר לייצור שן מסור אנחנו צרכים מקור זרם שיטען קבל:
 בסראא (צ'אק) לשים על הקבל ומקור הזרם את הקומפלטור שהוא
 ישורה למתח הפרנס, וברגע שנגיע לפרנס הוא ייתן סיגנל למתח
 ויצר את הקבל \Leftarrow הקבל יתפיק ויפול. ואז נשליך את המתח שוב.
 על הסיס דוגמא זו אפשר לקחת ראי זרם ולחבר לקבל
 מצד ימין ולנגד מצד שמאל. האמצעות R קבענו את קצב
 הסלייה כיוון ש $\frac{V}{R}$ יתן לנו את הזרם על הקבל.



Applications - basic

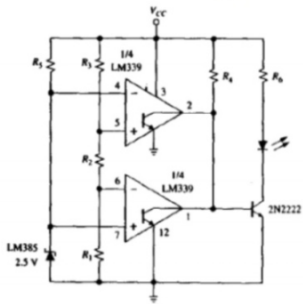
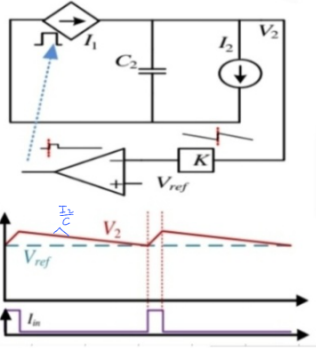


FIGURE 9.14 Power-supply monitor; LED glows as long as V_{CC} is within specification.

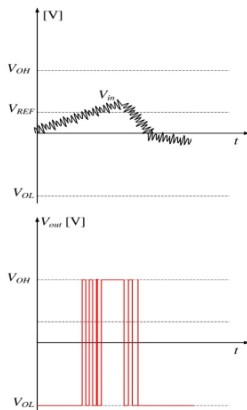
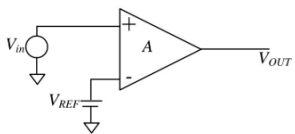


• באפליקציה זו יש איזשהו קבל שדקטים על
 קבל זה הוא אפן באיזשהו מתח V , ומקור הזרם
 I_2 שמדמה צריכה קבועה. הפריקה של הקבל תהיה
 בשיעור של $\frac{I_2}{C}$. אם נצילה לספק לקבל מקור
 שיצליח להתגבר על המקור I_2 לעומט מסוים, ואז
 להיות גדול ממנו. מדי פעם ניתן פולס של I_1 ע

הקומפלטור. (מידי פעם \equiv כל פעם שהמתח V_2 מגיע לסף). וכך קבל מעביר שיודעת לבקר את
 סדנת המתח במשך של בסיס מעביר קבלת המוליה עי הקומפלטור.

בעיה:

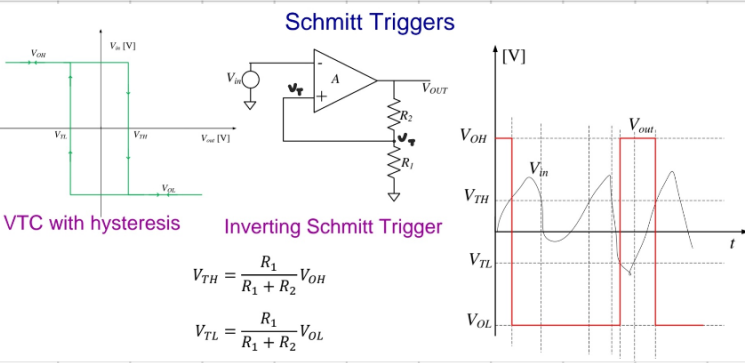
Comparator noise



נשים על לקסיה כאשר עובדים עם
 קומפלטור, לפעמים V_{in} שלנו יכול על
 מני. הפרעת עליו כנר שכאשר אנו קרובים
 ל- V_{ref} הוא ירצק משה ומענת קצו בהפרעה
 ואז במובא אנהנו נקפול המון פעמים בין
 הרוויות עד שנגיע לתיצב. הפתרון
 לבאה זו נקרא: Schmitt Triggers.

Schmitt Trigger

Inverting Schmitt trigger



במנגנון זה אנו מצדדים משוב חיובי מסביב ל־קומפארטור. ההיסטורזיס אנו מצדדים חילון כן שברזע שהמספרת חיפה

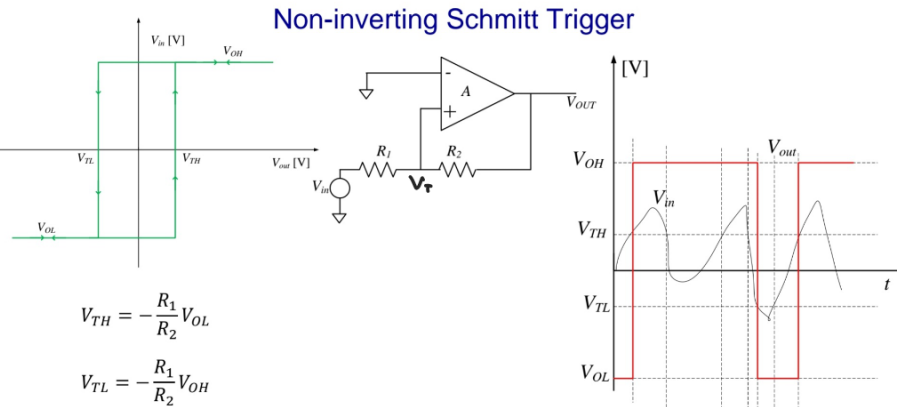
את הסף הסליון אנו נחילוף מצב. כן שברזעס הכאה שיהמספרת מהלופה מצב היא כשהמספרת חופה סף אחר- את הסף החיפון. כעוצאה מפסולת המשוב-נוצרים ב מתחוי רפרנס מסביב ל־סרנס הרזיל. נספול סל המסול בשני מצבים:

(1) $V_{out} = V_{OH}$: במצב זה $V_{in} > V_{TH} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{OH}$ וכל עוד V_{in} הוא יגיע ל־סדרן V_{TH} אז אנו לא נחילוף מצב.

(2) $V_{out} = V_{OL}$: במצב זה $V_{in} < V_{TL} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{OL}$ וכל עוד V_{in} הוא יגיע ל־סדרן V_{TL} אז אנו לא נחילוף מצב.

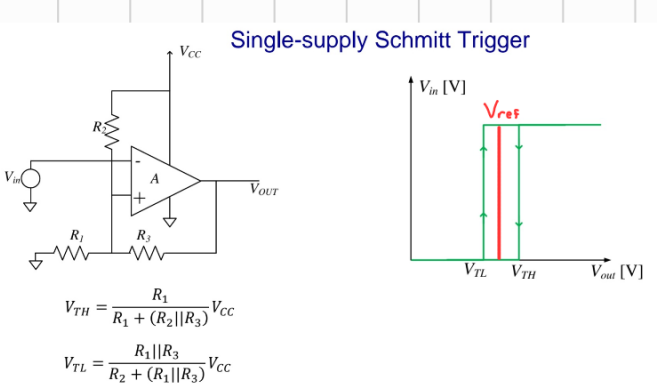
ככל ש- V_{in} מתקרב ל־ V_{TH}/V_{TL} אז המספרת מתקרבה ל־חילוף מצב כי כאשר $V_{out} \downarrow \Rightarrow V_{TL} \downarrow$ ולכן, יזה אוב כיוון שהמספרת בין ההצדדים מספין גדול בשלבי שקבל $overdrive$ גדול יותר ונחילוף מצב V_{out} .

Non-inverting Schmitt trigger



בספול כספול סל Schmitt trigger לא מהפול \leftarrow פה הפול השלילי מחובר למספרת והספול V_{in} מחובר לפול החיפול. הפול V_{TL} היא הפול המספולים ל־ס. מקירפול: $\frac{V_{in} - 0}{R_1} = \frac{0 - V_{out}}{R_2}$ המסול שלנו אוב סל שני ספולים. אם אקד הספול יהיה ס (למשל V_{OL}), אז הקומפארטור

לא יצולח ל־כיוצול סדרן נמול מ-ס \Rightarrow שלפול סל $Tresh-hold$ הנמול כן שאנו מאבדים אפול סל $Tresh-hold$ אוד?



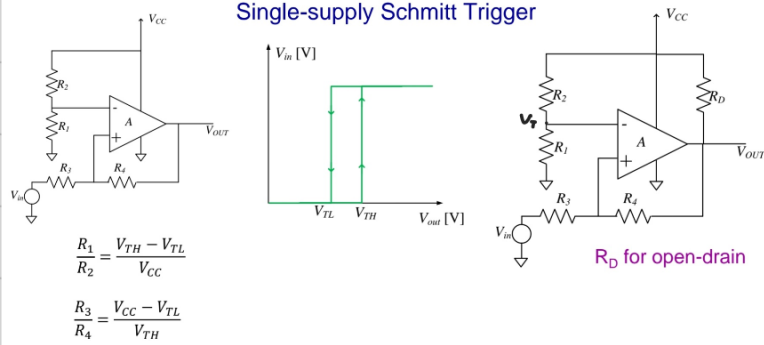
Single Supply Schmitt trigger

מצב מהפול

פה מצול אפול סל שני $Tresh-hold$ \Rightarrow לפולחיס אר V_{TL} ומצוליס אול מהאפס \Rightarrow נמול חילון מסביב ל־סרנס (V_{res}) כן שניצול חילון מסביב ל־סרנס שמוול מרז. עושים פול ע"י הכנסול $offset$ לפול הסיכוב. כן שכאמפול R_2 (ספולו V_{CC}) אנו יוצרים את ההפול של V_{TL} ימיל. (ראה את חיפול V_{TL}/V_{TH} $V_{out} = V_{CC} \Rightarrow R_2 || R_3 \Rightarrow V_{TH} = \frac{R_1}{R_1 + R_2 || R_3}$ $V_{out} = 0 \Rightarrow R_1 || R_3 \Rightarrow V_{TL} = \frac{R_1 || R_3}{R_2 + R_1 || R_3} V_{CC}$)

מצב לא מהפך

Single-supply Schmitt Trigger



במצב זה עדי ההילוך נקבע ע"י R_3 ו- R_4 והצטרף ההילוך נקבע ע"י הנק' V_T (למעשה ע"י R_1 ו- R_2). במצב הימני - מדובר במצב drain חסם של הקומפראטר. בקי הזנמה יש חיבור שמחווה לספק

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{V_{TH} - V_{TL}}{V_{CC}}$$

$$\frac{R_3}{R_4} = \frac{V_{CC} - V_{TL}}{V_{TH}}$$

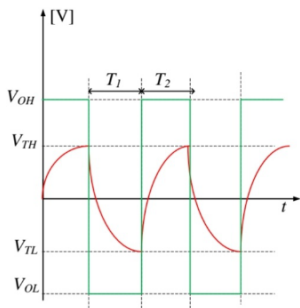
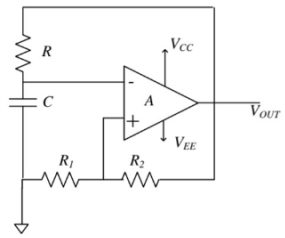
ולא למסוד כיוון שהספק קודם את הנק' ולא המעבר. הנקד R_0 בא להפגיש את זרם שהמצב הוא drain-חוסם, ואנחנו נצטרך להחריג נקד בשביל להיבטא סיגנל החיזרה (בלי הנקד הזה אין ספק חיובי כי מוצא הקומפראטר לא מחווה לספק חיובי - יודע רק V_{OL}).

⊛ בקומפראטר אין משווא של V_{OL} .

דיברנו על אפליקציות בסיסיות של קומפראטורים כסטר נקוד על אפליקציות מורכבות יותר (עם היסטריזיס).

Oscillators

Oscillators



$$V(t) = V_{\infty} - (V_{\infty} - V_0)e^{-\frac{t}{\tau}}$$

$$T_1: V_{\infty} = V_{EE}, V_0 = V_{TH}, V(t) = V_{TL}$$

$$T_2: V_{\infty} = V_{CC}, V_0 = V_{TL}, V(t) = V_{TH}$$

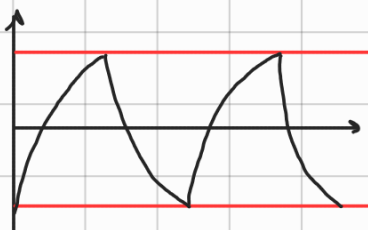
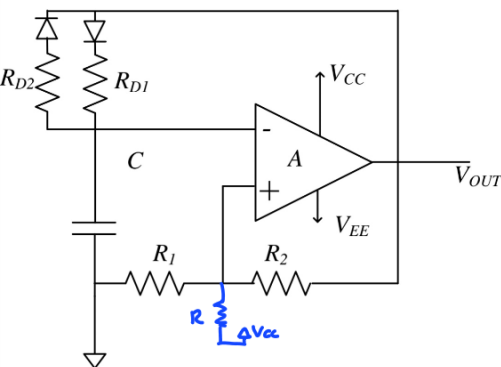
$$V_{TH} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{OH}$$

$$V_{TL} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{OL}$$

בעזרת קומפראטורים עם היסטריזיס אפשר לעשות מעגלי מתנד. המעגלים שנבאו כאן הם RC-oscillators. נמצאים כמעט כל כלי בויז דיגיטלי. יש 2 סטים V_{TH}, V_{TL} . לעומת נהדר הישר אם כך שבאשר במעגל

יש V_{OH} אז הקדס נסע עד שנגיע למתח V_{TH} וברגע שנגיע המעגל יהפוך ל- V_{OL} (ה- V_{OH} וה- V_{OL} לא יתחלף והקבל יסרק עד שנגיע ל- V_{TL} וכבר חלילה. נשים לב כי V_{TH}, V_{TL} אינם תלויים באסימטריות, ובכך מימשנו מעגל שמתנגד ועשוי אורגניזם מסוים קצת זר מרובע במובא (עסקן) כסטר נצבם לספר את המעגל וננסה לגרום לכך ש- $T_1 \neq T_2$ כיצד נעשה זאת?

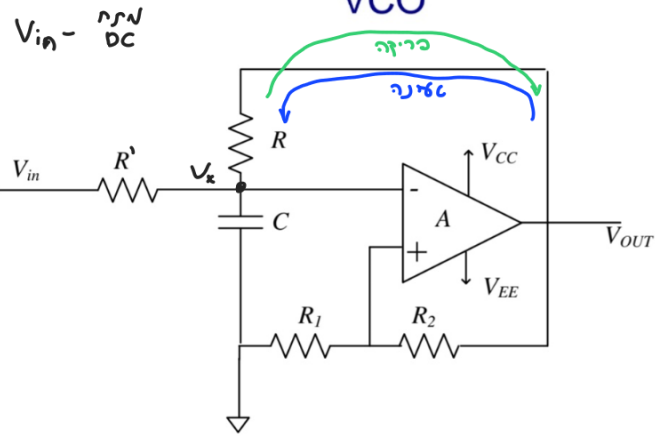
Oscillators programmed on/off



Oscillators programmed on/off

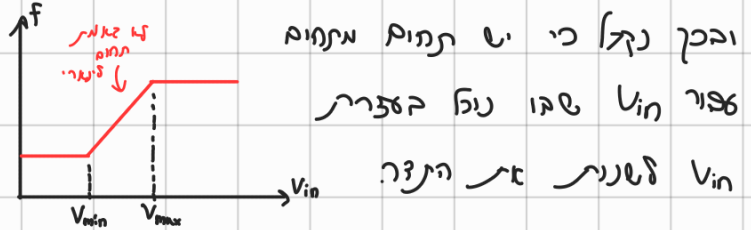
בזוג שצירנו כאן, קבלו שעדינו שינוי עם ה-trash-hold. אז עדינו שינוי עם התנד. אם נרצה להחזיר בחזרה את התנד - אפשר לעשות את ה-trash-hold נניח ע"י כניסה של עדי ספק V_{CC} (זאת ציורה).

Voltage-Controlled Oscillator



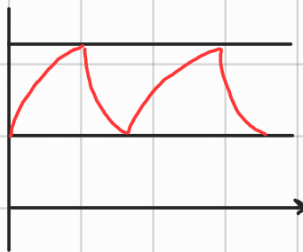
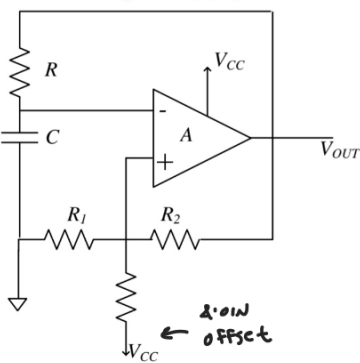
Voltage-Controlled Oscillator

יש כניסה V_{in} ואנו רוצים לעשות את השינוי בקצב ω . במסדרת טו אנו עוזבים לקבל או להיטען יותר או שפירעו עלו להיטען, כלומר גם V_{in} חיובי אנו צוחקים אנו ממהקים את התנה מ fresh אחד ומקריבים עשני.



הכערה במעגל זה שמתעכר עובדת עם שני ספקים (150 אול). בדרך עובדים עם ספק יחיד.

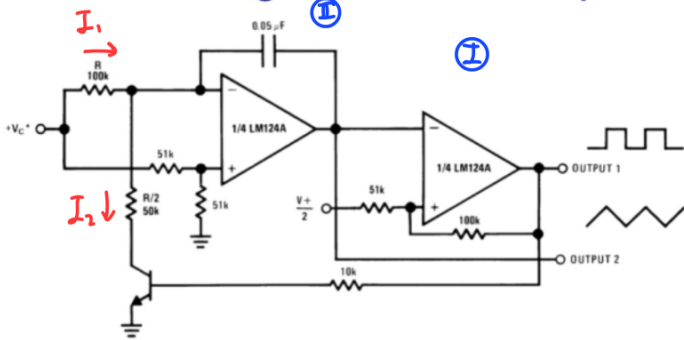
Oscillator Single supply



Oscillator - Single Supply

כאן נעבוד עם ספק אחד. בקיור כמו קודם נבצע הפצה של ה- fresh , כלומר שיהיה ניצור תלון ו- offset של הרטרנס (כי אם fresh אנו הוא אכט וניתה המנובא אכט אז תהיה ענו בעדינה).

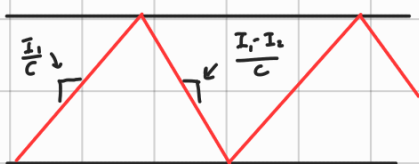
Voltage-Controlled Oscillator Programmable freq



*Wide control voltage range:
 $0 V_{DC} \leq V_C \leq 2 (V^+ - 1.5 V_{DC})$

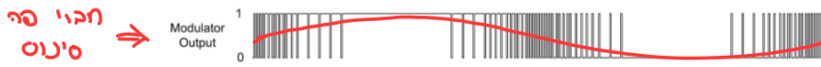
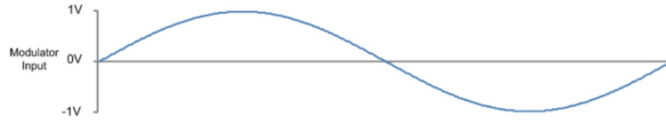
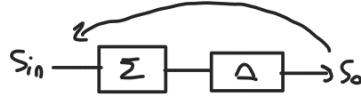
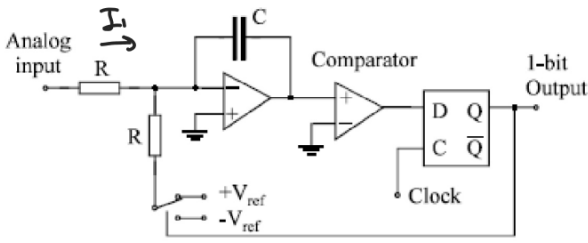
Voltage-Controlled Oscillator Programmable freq

מעגל V_{CO} בדרך ניצור הצורה הפנו. מעגל I הוא קוואטרטרי (מפנים כי העסק חיובי). מעגל II הוא מעגל אינטגרטור, כלומר מעגל III סוכם אינטיגרטור ששנכנס אליו. אף האינטגרטור מתקבים עדי אולנט-נגד (שסרכו $\frac{1}{2}$) והוא מתור עטרן שמהווה מתח. התח עובד כ- off/on (מולק לעשי או מנותק לעמרי) עי הק הפלוט של האינטגרטור קידע את קי הפדודה. הקוואטרטרי מתור עטרן כך שיהיה בענו הקוואטרטרי V_{OH} הארני עבד ויהיה V_{OL} הארני סלור. כאשר הארני פו מולק אכ I_1 אסן את הקבל. אם קידע $I_2 > I_1$ אז כאשר הארני דולק קבל שחפרה קבל $I_2 - I_1$ ודכן קבל שיפוס פלי. המסדרת הפו יכולה עריבנו א מרובד וגם זו עשול.



דוגם ממיר אנלוגי דיגיטלי:

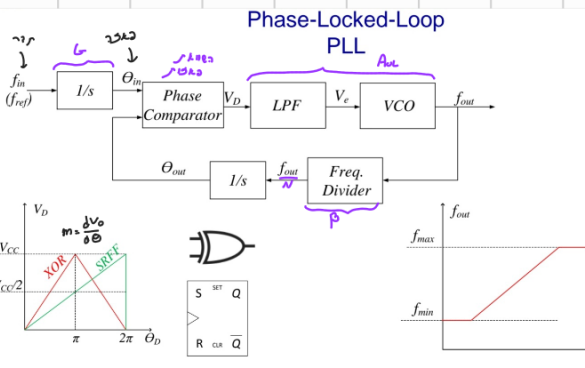
Σ - Δ ADC



מספר קריא Σ - Δ ADC.
 מכיוון שצד פסולת חיבור (Σ)
 מצד אחד אפסולת חיבור (Δ)
 מצד שני אנחנו יכולים
 לקבל תרומה ותפוקה של
 המוצא שהוא פרופורציונלי
 לכניסה. יש אלק שצדק

בתקרה גבוה במספר. ואנחנו מצבדים בסגירה של oversampling (דוגמנים המון אתר המספר).
 כאשר נכנס סיגנל אנלוגי למספר נוצר I. מה שה-אלק שפשי הוא מספר הרבה פעמים אום הקומפראר
 השתנה. לכן לא מנת לפעמי את ההסוות של הדעש ב-Vin בקודם היסאר ציט אנחנו מסתכלים אל
 חלונית זמן-בוקקים כל הפמן מה מצד הקומפראר והדעימור של השפן בסדס מסדירור החוכה
 את התוצאה של הקומפראר למוצא. והוא עא מחולק אר התוצאה סד ה-אלק הקא בו מסתם התוצאה-
 של סדר הקומפראר.

Phase-Locked-Loop (PLL):



עד כה דיברנו אל מספר תדר בפני ספנו כשר אנחנו
 רוצים לראור אורו בתוך מספר השעלי.
 אל הקומפראר בנינו VCO. נוצרן מסדנת שנוסלת את התדר
 באלן ש-Oscillator היא מסדנת שנוסלת V ומוצאה f, אם
 V מסתני שנויים קלנים אל f זה יהיה יציב.
 המסדנת קראר נסולר פאצה ולא נסולר תדר כי פאצה היא דרזה אחר מסל התדר. (אנלוגי אל תדר)
 כלומר פאצה זכ מידע מקדים ואם הסאוב מסתני נדע שחצרי חוקן להשתנות כן שאם נבצע חוז
 אל המידע הזה אל נופו לקידים אר המאחר.

V - הפרט הפאצה בין אתר הכניסה לאור המוצא (הסדר מס פרופורציונלי למתח). V_0 סוכר דרך LPF
 ומסתיק ל VCO והי VCO יחולל את התדר.

ה-VCO יחולל תדר גבוה (GHz) אבל המדרנס שלנו הוא ב-MHz ולכן אננו שמים במסוק

- את מחלק התדר. ישנם 2 סוגים של משווי פאצה:
- 1) XOR פידול אל כז אחד גרים סמט המא $\sqrt{}$
 - 2) SR-FF

1) לנסח - אפשר לראות את התמונה של רסא בעמוד קודם (באזנה). אם התעוררות מופחת באזנה של סטו אחר מהשניה נקרא ו עוגי ה-לסא אם הן יהיו ספ אחר מהשניה אז נקרא לסט ו עוגי. לומר שרסא לטא עמו יודע להגיב מי מהסיגנלים מקדימ.

2) SR-FF - דונק ה-רסא אן מעל שניה כאשר $S=1$ קבל במצב ו. כאשר $S=0$ קבל במצב ס. ובשאר המצבים ה-FF שומר את המצב (אנדי חזי מהצמ של רסא)

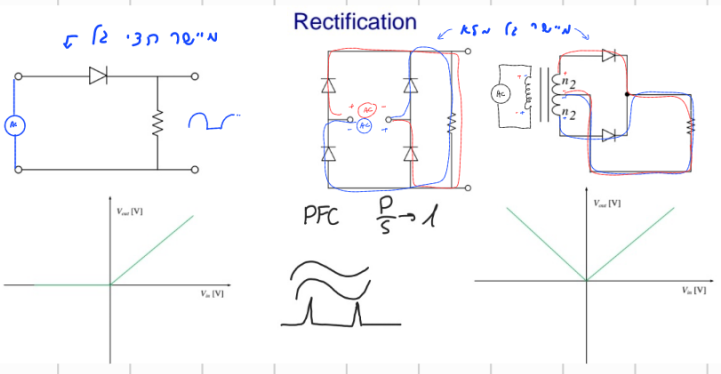
LPF - המודק V_0 הוא מוצא פולסי. כמו שראינו ה- V_{CC} שאט מייצרים צריכים עקב סינון DC ולכן למיט LPF כן שתדור הרק גלו למספיק גדולה כדי עקב את ה-duty-cycle הממוצע הריגוע.

מחלק תדור - המימוש הכיסיס הוא בעצרת TFF כאשר פ TFF מחלק את התדור פי 2 ונוכל לשרשר m כאשר כדי עקב $\frac{f_{out}}{2^m}$

- Rectifiers
 - Rectification basics
 - Precision rectifiers
 - Half-wave
 - Full-wave
- Linear regulation
 - Protection stage
- Datasheet

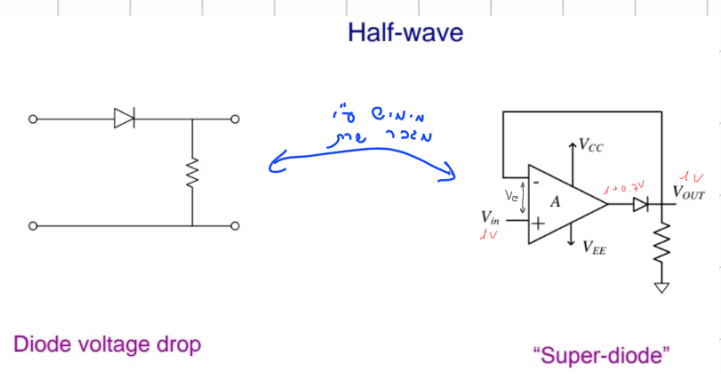
מיישרים

מסלול ישר באופן כללי. אלו מעגלים שבו דיוקנות (יש להם מסלול).



יישור עם ארנז אכל עם משו קצת אחר).
 המטרה של מיישרים - כאשר יש לנו סינון AC ואנחנו רוצים להפיק אותו ה-DC.
 מיישר חצי גל:
 מיישר גל מלא:

מה הבדלה הסקרונית של מעגלים כאלה (דיוקנות)?
 שכל דיוקנות זה אינדואלר צדק עיפא מתי (מדגם) ולכן אם נרצה עדין עסבור עם אמפלי אוקר של מיליוולטים זה נצטרך עכן נצטרך עממש דיוק אינדואלר.

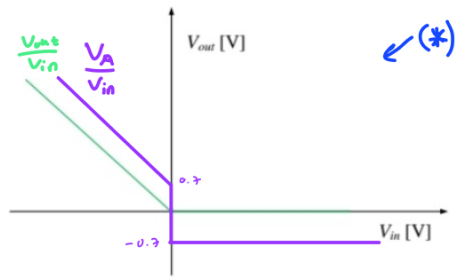
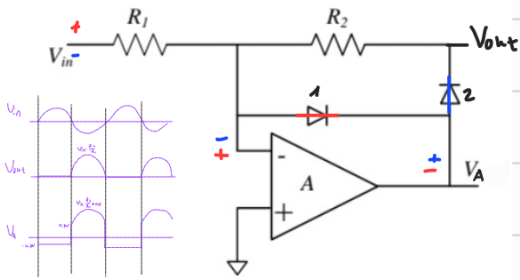


מיישר חצי גל

נשתדל על מימשי של המיישר חצי גל בעצרת משבר לערות הוססת הדיוקנות במוצא המגבר נקבל $V_{out} = V_e$. עקב אירי מיל כי המגבר כל הצמ דונק $V_e = 0$.

בהערה והדיוקה לא מלכה איך הסדר המגבר סתם בחום פתוח (הא-גדול) נתיב $A_{vL} = 10^5$
 אך ברזל טב - V^+ יהיה $V_{in} = \frac{0.7}{10^5}$ מוצא המגבר יהיה מדי והדיוקה תנולק. כלומר קיבלנו
 דיוקה שלמעשה ההולכה שלה הוא מעט בקומות V_{in} אמנם כי עדיין לא דיוקה
 איקואליז אולם ניה לעדיב במתחים הרבה יותר נמוכים עכשיו בצורה טובה

Half-wave



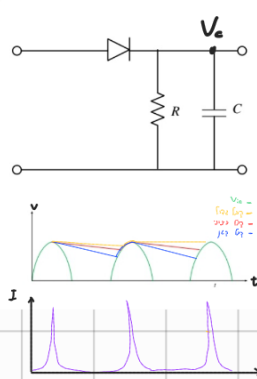
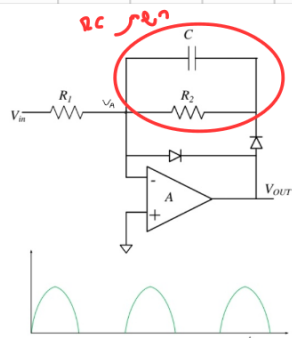
נפתר אל מיישר חצי הגז הבא:

נשים לב שהמגבר הנחם כאשר הוא מולק זה מגבר
 מהפך ואז דיוקא החלקים השליליים של V_{in} יצברו ובגלל
 זה האופייני שלו נראה כך (*). נתיב אחר המעלה:

קבל הקבר
 כאשר V_{in} חיובי $\Rightarrow V^-$ חיובי $\Rightarrow V_A$ שלילי \Rightarrow דיוקה 1-תליל \Rightarrow דיוקה 2-נתק \Rightarrow $V_{out} = -\frac{R_2}{R_1} V_{in}$
 כאשר V_{in} שלילי $\Rightarrow V^-$ שלילי $\Rightarrow V_A$ חיובי \Rightarrow דיוקה 1-נתק \Rightarrow דיוקה 2-מולק \Rightarrow $V_{out} = -\frac{R_2}{R_1} V_{in}$

חסור עדיאוי שהמגבר יוכל להוציא עדין שלילי כדי עדיאוי
 שידיקה 2 תהיה בקלאון בשנצילק (לפוער V_{EE})

Half-wave

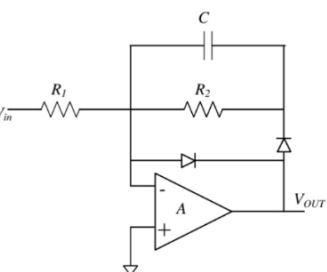


כעס ניקח את מיישר חצי הגז שלנו ונוסיף קבל
 כאשר V_c גדול מ- V_{in} הקבל נפיק אל הנגד עד לרזע
 בו $V_{in} > V_c$ ואז נאסך שוק וככה חוליה. ככל שהקבל יותר
 גדול קבל ירודה אויזית יותר במתח בזמן הפריקה.

נשים עדי כי המעלה השמאלני ללא מתנהג כמו הימני.
 במעלה הימני יש זרם כאשר הדיוקה פתוחה ולכן הזרם נראה כן:

לעומת זאת במעלה השמאלני יש קברי ויראאלי כך ש: $V_A = 0$ והזרם
 אל R תעיד $\frac{V_{in}}{R}$ ונעם עדי-ער R והמעלה השקול הוא:

Half-wave

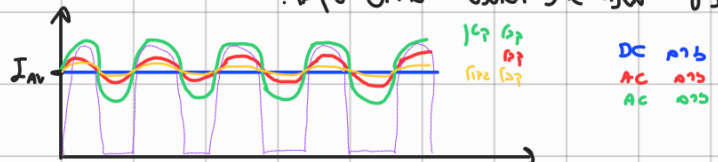


$$I_{av} = \frac{V_{in,pk}}{R_1} \frac{1}{\pi}$$

$$V_{out} = I_{av} R_2 = \frac{V_{in,pk}}{R_1} \frac{1}{\pi} R_2$$

$$\Delta V_{out} = \frac{V_{in,pk}}{R_1} \frac{1}{2\pi f C}$$

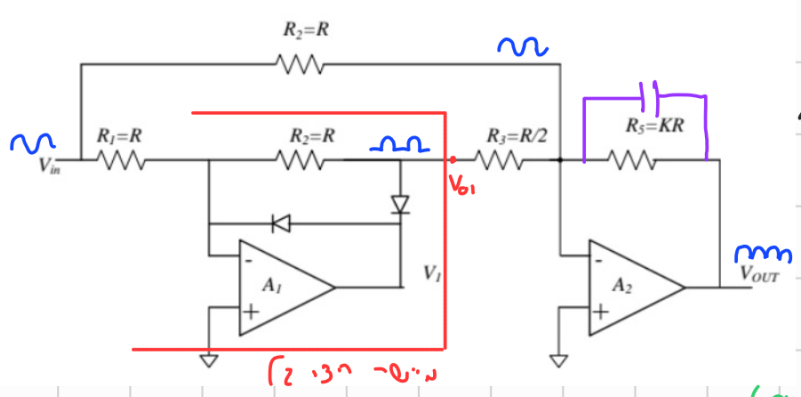
הזרם הממוצע נשאר קבוע כאשר הזרם AC סביב
 הממוצע שנה את האמפ ביחס עקל.



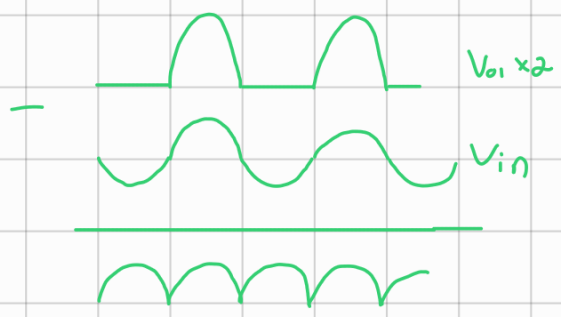
זרם ה AC נפל על הקבל וזרם ה-DC אל הנגד אם ניקח קבל שואל לאפס (כאלו און קבל)
 נקבל את הזרם הסגול כאשר עדין הזרם הממוצע ככה.

מ"סר לס מלא

Full-wave



מ"סר חצי 2

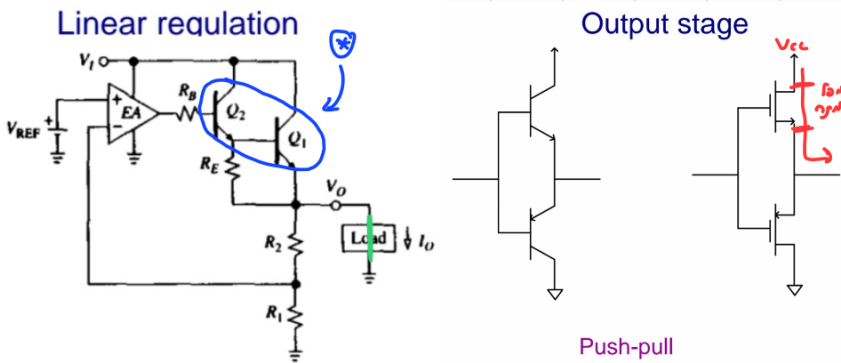


ממשים אותו בסדר מ"סר חצי 2
 המ"סר חצי 2 שבאזורים מובילא עכו את
 החלק החיובי של Vin (כזה וסל) ואז המעבר
 הפני הוא מעבר סוכה שמקבל אליו את
 חיל מהסדר הסלילון ואת וסל מעבר פי
 2 (בסדרת הנגד R3) ומכנה חיסור קינה

כן שבמקבא מתקבל מ"סר 2 (ראה ציור)
 על מנת לעסר איפה חלק מהל במובא שייך
 לחלק השלילי של חיל ואיפה לחלק החיובי של
 לעצק את V שייך לנו את האינדוקציה הכו.
 על מנת לקחת את אות המנובא ולהפוך
 אותו ל-DC (למנובא את המנובא) נשים
 קבל (ראה ציור).

מ"צב ע"נארי

נחטר אל מייצבים כאשר היזל כסדר יהיה על הזנות.



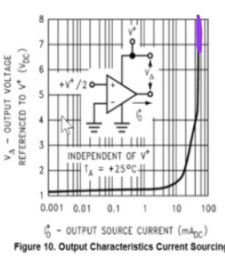
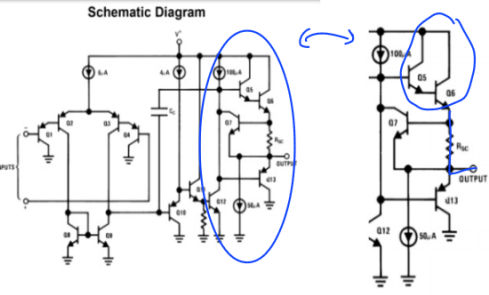
Output stage

Push-pull

ל מעבר לא משנה אין הוא יראה
 יהיה לו היק של ייצוק לעראי. כלומר
 ברשת המנובא (open drain / push-pull)
 יש אינ' שנופל סלילי מפס מתי, שהלן

ההפרט בין אלא עקין Vout (Vcc-Vout). הסכין חפה מאוק דומה לעמסכר ייצוב מבחית מבנה.
 אט נסתכל על * כארנ סופלים את מפס המנה Vcc-Vout. ובהנחה ואין שנויים במסל Vout

Protection - sourcing current



הוא קדוע (Vout = Vref * (1 + R2/R1)). כסדר נכנס
 ניסוי ונסלר את הזכרם ענד וענד סג שנופה
 דבר עמגמה (ראה ציור) ומן הסימ שהלרנצ
 עא פילוימ לענובא כרם אינוסופ' (הם ישרפו) זלכן
 מוקן כי תייה הזנה כלשהי.

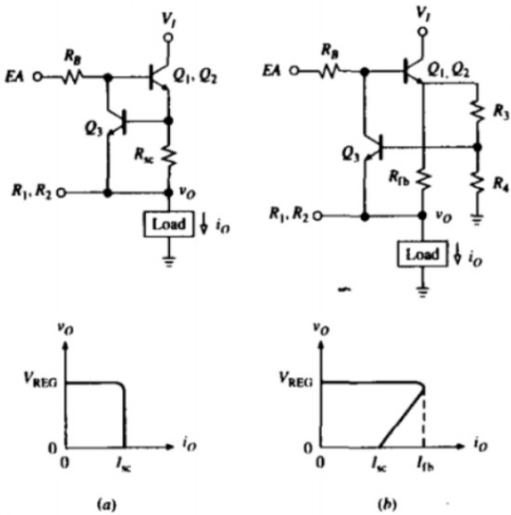
מהגורג שמפזג את הניסוי (סמי קודם) ניתן לראות שהמתח לא נשאר קרוץ כאשר אנו מגדילים את הפרם יותר ונקי והמתח יורד (בגודל יש V_{BE} ביהט לספק זמן הגרף סגולה) והפרם כדי לא יפול לבדו יותר.

יש 2 מסלול הגנה אחת עבור הפרם שיופאו החוקה ואחד עבור הפרם שנמשך עתה המעגל.

המעגל הגנה עבור הפרם שיופאו החוקה בנוי בעצרת Q_1 ו- R_{sc} (כצויר סמי קודם) כך שאשר הפרם גדל יותר מידי מול המתח של R_{sc} זכור V_{BE} או Q_1 ו- Q_2 נפתח

ומעביר זרם ממקור הפרם (100mA) ישירות עמונה כלומר חלק מהפרם הוא עבור במגזר ואיך לא מוקר פ' β^2 כלומר אם אנחנו זקוקים $I_{sc} = 1$ ו-100mA אז הידחנו 100mA זרם המופא ונניח המגזר יפזר 66 שיניע עיצובות והיציבות הפו צד בקיז אויפה שראינו בזרף הניסוי בסמי קודם הפרם ככה לא גול (הוא גול סמי קודם).

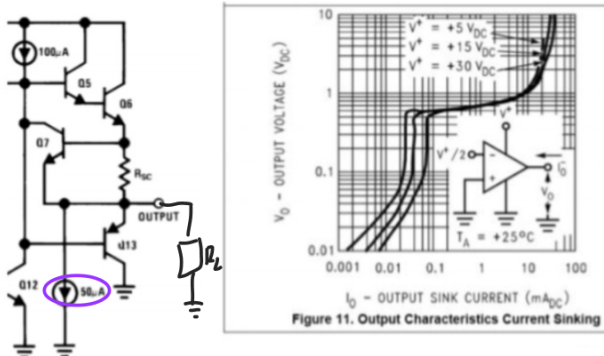
Protection – sourcing current



במעגל השמאלני ניתן לראות מימנו של הגנה שהסברנו בעצרת Q_1 ו- R_{sc} . במעגל הימני ההגנה סובדת בצורה קצרה אחרת, כאן אין שמשל V_{BE} עכדי עם איפשהו חוקה (בעצרת R_3 , R_4) וחוקה הזנה קולטת יחוס קצרה אחר ואז עתקל שיפוע ולא קו ישר.

כעת נבדוק עמדה בו המעגל מושך זרם. נרצה מעגל שיכול עמסון איתנו מאוס מעמל!

Protection – sinking current



כאשר אנתנו נרצה עמסון זרם שקל מהמקור זרם טלנו (100mA) המקור עכדי יכולה עמסון את של הפרם ואין לנו בעיה פול. כאשר נרצה עמסון יותר זרם אז אנתנו נהיה בעיה כי יהיה חייב עעביר זרם לאימפינס החוקה ואז בהכרח יפול של חלק מהמתח.

LM324

Datasheet

LMx24-N, LM2902-N Low-Power, Quad-Operational Amplifiers

- ### 1 Features
- Internally Frequency Compensated for Unity Gain
 - Large DC Voltage Gain 100 dB
 - Wide Bandwidth (Unity Gain) 1 MHz (Temperature Compensated)
 - Wide Power Supply Range:
 - Single Supply 3 V to 32 V
 - or Dual Supplies ± 1.5 V to ± 16 V
 - Very Low Supply Current Drain (700 μ A) —Essentially Independent of Supply Voltage
 - Low Input Biasing Current 45 nA (Temperature Compensated)
 - Low Input Offset Voltage 2 mV and Offset Current: 5 nA
 - Input Common-Mode Voltage Range Includes Ground
 - Differential Input Voltage Range Equal to the Power Supply Voltage
 - Large Output Voltage Swing 0 V to $V^- - 1.5$ V
- ### Advantages:
- Eliminates Need for Dual Supplies
 - Four Internally Compensated Op Amps in a Single Package
 - Allows Direct Sensing Near GND and V_{OUT} also Goes to GND
 - Compatible With All Forms of Logic
 - Power Drain Suitable for Battery Operation
 - In the Linear Mode the Input Common-Mode Voltage Range Includes Ground and the Output Voltage
 - Can Swing to Ground, Even Though Operated from Only a Single Power Supply Voltage
 - Unity Gain Cross Frequency is Temperature Compensated
 - Input Bias Current is Also Temperature Compensated

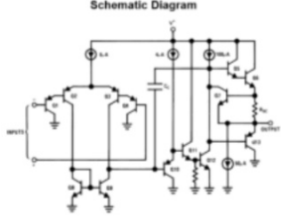
3 Description

The LM124-N series consists of four independent, high-gain, internally frequency compensated operational amplifiers designed to operate from a single power supply over a wide range of voltages. Operation from split-power supplies is also possible and the low-power supply current drain is independent of the magnitude of the power supply voltage.

Application areas include transducer amplifiers, DC gain blocks and all the conventional op amp circuits which now can be more easily implemented in single power supply systems. For example, the LM124-N series can directly operate off of the standard 5-V power supply voltage which is used in digital systems and easily provides the required interface electronics without requiring the additional ± 15 V power supplies.

Device Information ⁽¹⁾		
PART NUMBER	PACKAGE	BODY SIZE (NOM)
LM124-N	CDIP (14)	19.56 mm x 6.67 mm
LM224-N	CDIP (14)	19.56 mm x 6.67 mm
LM324-N	PDIP (14)	19.177 mm x 6.35 mm
	SOIC (14)	6.05 mm x 3.91 mm
	TSSOP (14)	5.00 mm x 4.40 mm
LM2902-N	PDIP (14)	19.177 mm x 6.35 mm
	SOIC (14)	6.05 mm x 3.91 mm
	TSSOP (14)	5.00 mm x 4.40 mm

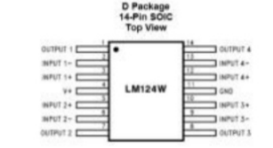
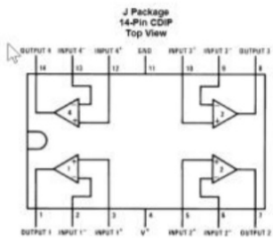
(1) For all available packages, see the orderable addendum at the end of the datasheet.



- ### 2 Applications
- Transducer Amplifiers
 - DC Gain Blocks
 - Conventional Op Amp Circuits

LM324

5 Pin Configuration and Functions



PIN		TYPE		DESCRIPTION	
NAME	NO.				
OUTPUT1	1	O		Output, Channel 1	
INPUT1-	2	I		Inverting Input, Channel 1	
INPUT1+	3	I		Noninverting Input, Channel 1	
V+	4	P		Positive Supply Voltage	
INPUT2+	5	I		Noninverting Input, Channel 2	
INPUT2-	6	I		Inverting Input, Channel 2	
OUTPUT2	7	O		Output, Channel 2	
OUTPUT3	8	O		Output, Channel 3	
INPUT3-	9	I		Inverting Input, Channel 3	
INPUT3+	10	I		Noninverting Input, Channel 3	
GND	11	P		Ground or Negative Supply Voltage	
INPUT4+	12	I		Noninverting Input, Channel 4	
INPUT4-	13	I		Inverting Input, Channel 4	
OUTPUT4	14	O		Output, Channel 4	

