

שם הקורס: מעגלים אנלוגיים	סוג המבחן: בחינת סיום הסמסטר
מס' קורס: 200111	תוכניות לימוד: הנדסת חשמל ואלקטרוניקה
סמסטר: לא רלוונטי	מועד: בחינת דוגמה תאריך:
מסלול: לימודי יום + ערב	
סגל הקורס: ד"ר ינון סתיו, מר ישראל פיין ז"ל	

בחינת דוגמה + פתרון

הוראות לנבחן

- משך המבחן: **180 דקות (3 שעות)** – חובה להגיש בסיום הזמן שהוקצה, אי-עמידה בהגשה בזמן צפויה לגרור הורדת ניקוד ופסילת הבחינה.
- הבחינה כוללת **מספר שאלות, שונות** במשקלן והיקפן, הניקוד של כל סעיף מצוין;
 - יש לפתור את כל חלקי הבחינה.
 - מומלץ מאד לקרוא מראש את השאלות בעיון רב.
 - אנא חלקו את הזמן בין השאלות בצורה מושכלת.
- שימו לב כי זו בחינה לדוגמה, בחינת פטור להנדסאים עשויה לכלול סעיפים דומים, אך המענה עליהן יהיה בפורמט שאלות 'רב-ברירה' (שאלות אמריקאיות) בבחינה זו לדוגמה קיימים 14 סעיפים שיכולים להיות 14 שאלות רב-ברירה נפרדות.**
כמו כן לא כל נושאי הלימוד האפשריים מופיעים בבחינה זו (ייתכנו גם שאלות בנושאים נוספים, למשל: מעגלי דיודה, מגברי הספק, רשתות משוב)
- חומר עזר:
 - הסטודנט יביא עמו תקציר נוסחאות אישי בן מספר עמודים, הכול סיכום אישי ונוסחאות, אך ללא תרגילים או דוגמאות. המרצה או המתרגל יחתמו על הדף כאסמכתא לאישור בזמן הבחינה!
 - ניתן להשתמש במחשבוני בלבד. חל איסור לעשות שימוש במחשבי לוח (טבלטים) או מחשבים אישיים (PC).
 - יש להשאיר טלפונים סלולריים, מחשבים וכל ציוד אלקטרוני שהוא (כולל שעוני-יד חכמים), כמו גם כל חומר עזר אחר, שאינו מאושר לשימוש, בתיקים בקדמת הכיתה.
 - חריגה מהנחיות אלו, הינה עבירת משמעת.

בהצלחה.

ט.ל.ח.

שאלה 1 ; (35%)

מגבר הפרש

עבור הסעיפים הבאים, נתון מגבר ההפרש באיור מימין למטה. כל הטרנזיסטורים מתוכננים בתהליך בו המימד המינימלי הוא $L_{ch} = 1 [\mu m]$. כמו כן, נתונים הפרמטרים הבאים:

$$V_{SS} = +1.8[V]$$

$$k_n' = \mu_e^* C_{ox} = 240 \left[\frac{\mu A}{V^2} \right]$$

$$k_p' = \mu_h^* C_{ox} = 80 \left[\frac{\mu A}{V^2} \right]$$

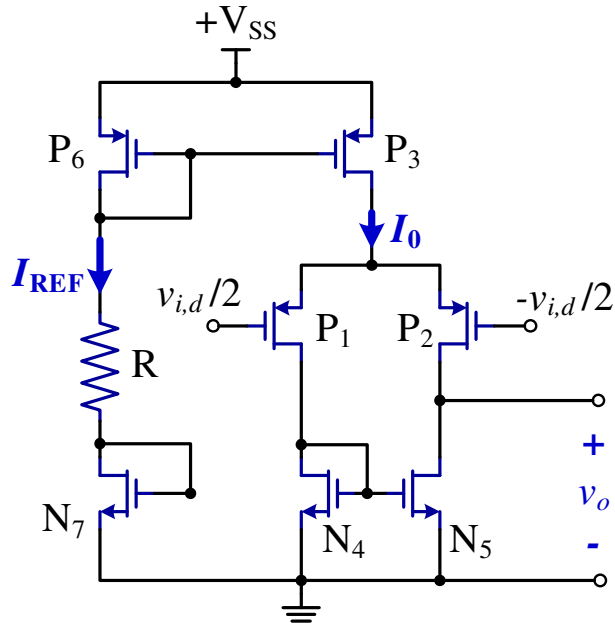
$$V_{t,n} = |V_{t,p}| = 0.4[V]$$

$$V_{A,n} = 36[V]$$

$$|V_{A,p}| = 24[V]$$

$$\left(\frac{W}{L} \right)_6 = \frac{3}{1} \left[\frac{\mu m}{\mu m} \right]$$

$$\left(\frac{W}{L} \right)_7 = \frac{1}{1} \left[\frac{\mu m}{\mu m} \right]$$



- ניתן להזניח אפקטי מצע.
- נתון כי אך ורק עבור חישובי נקודת העבודה (זרמי ה DC), ניתן להזניח את השפעת אפקט התקצרות התעלה.

1. (5%) **הסבירו** בקצרה, מהו תפקידו של כל אחד מהטרנזיסטורים. (שורה לכל אחד)

2. (5%) **חשבו** את ערכו של הנגד R, על מנת שיזרום זרם ייחוס $I_{REF} = 4.8[\mu A]$.

3. (5%) **חשבו**, מה צריכים להיות ממדי טרנזיסטור P_3 , על מנת שיזרום זרם נקודת עבודה, המסומן כ I_0 באיור, בשיעור של $I_0 = 240[\mu A]$?

מה צריכים להיות מימדי הטרנזיסטורים N_4, N_5 , על מנת שבהינתן זרם נקודת עבודה, הם יהיו במצב רוויה, ופרמטר המתח $V_{OV,4} = V_{OV,5}$ יהיה זהה למתח $V_{OV,3}$.

4. (10%) **חשבו** מה צריכים להיות מימדי הטרנזיסטורים P_1, P_2 , על מנת שיתקבל הגבר מתח בריקם לאות קטן הפרשי:

$$A_{d,o} = \frac{v_o}{v_{i,d}} = 144 \left[\frac{V}{V} \right]$$

5. (10%) **חשבו** מהם:

- ההגבר בריקם לאות קטן משותף: $A_{cm,0} = \frac{v_o}{v_{i,cm}}$,
- יחס דחיית האות המשותף CMRR ? ביחידות [dB].

שאלה 2 ;

מגבר דו-דרגתי על בסיס טרנזיסטור MOS-FET (35%)

במעגל באיור למטה מימין, נתון מגבר דו-דרגתי, מבוסס MOS .
פרמטרי המעגל נתונים משמאל.
כמו כן ידוע כי :

- ניתן להזניח אפקטי מצע.
- נתון כי אך ורק עבור חישובי נקודת העבודה, (זרמי ה DC), ניתן להזניח את השפעת אפקט התקצרות התעלה.

$$+V_{DD} = 5[V]$$

$$+V_{GG} = 1[V]$$

$$V_{t,n} = |V_{t,p}| = 0.4[V]$$

$$V_{A,NMOS} = |V_{A,PMOS}| = 100[V]$$

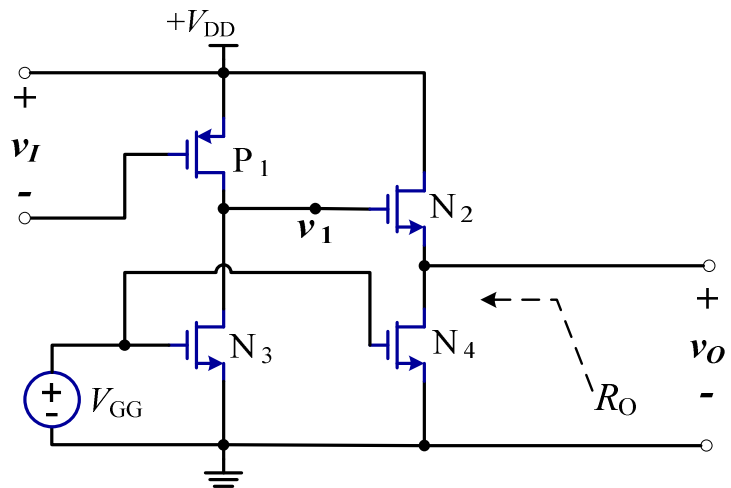
$$k_n' = \mu_e^* \cdot C_{ox} = 0.4 \left[\frac{mA}{V^2} \right]$$

$$k_p' = \mu_h^* \cdot C_{ox} = 0.15 \left[\frac{mA}{V^2} \right]$$

$$\left(\frac{W}{L} \right)_1 = \frac{9.6}{0.18}$$

$$\left(\frac{W}{L} \right)_3 = \frac{2.5}{0.18}$$

$$\left(\frac{W}{L} \right)_2 = \left(\frac{W}{L} \right)_4 = \frac{75}{0.18}$$



נתון כי מתח הכניסה מורכב ממתח DC ותוספת אות קטן : $v_I = V_{SG,1} + v_i$

1. (5%) **חשבו** את זרמי נקודת העבודה בכל הטרנזיסטורים
2. (10%) **הסבירו** מהי תצורת החיבור של כל מגבר טרנזיסטורי, ושרטטו סכמת תמורה לאות קטן של המגבר הכולל.

3. (5%) **חשבו** את הגבר המתח לאות קטן, מהכניסה, למתח המסומן v_1 : $A_V = \frac{v_1}{v_i}$

4. (5%) **חשבו** את התנגדות המוצא של מוצא המגבר הדו-דרגתי, המסומנת R_O

עבור הסעיף הבא יש להניח כי אות הכניסה הקטן בלבד, מקיים :

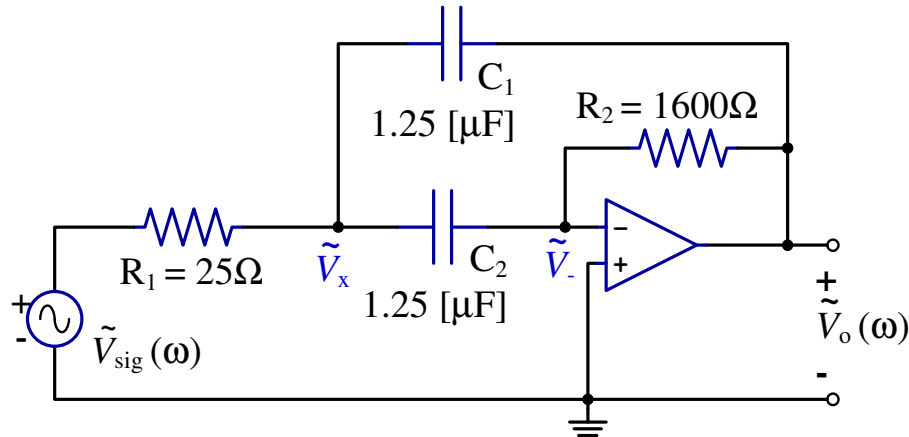
$$v_i = V_i \cdot \cos(2\pi f t)$$

5. (10%) **האם קיים** ערך מינימלי של נגד העומס שניתן לחבר במוצא (היכן שמסומן מתח מוצא v_O) אותו נסמן R_L , שעדיין יאפשר אות מוצא בעל אמפליטודה של 3V, כלומר :
 $v_O = 3[V] \cdot \cos(2\pi f t)$ ללא עיוותים או קטימות של האות.

שאלה 3 ; (30%)

מגבר שרת ומסנן תדר אקטיבי ;

נתון המגבר הבא, המבוסס על מגבר שרת אידיאלי, ורכיבים היקפיים :
(שימו לב, נא לא להתבלבל, זהו אינו מסנן Sallen-key)



נתון כי אות הכניסה $v_{sig}(t) = V_{sig} \cdot \cos(\omega \cdot t)$, הוא אות סינוסי בתדירות זוויתית, ω , משתנה.

1. (10%) רשמו ביטוי פרמטרי להגבר המתח כפונקציה של התדירות הזוויתית, ω , כלומר

$$H(j\omega) = \frac{\tilde{V}_{out}}{\tilde{V}_{sig}}(j\omega) : \text{לפונקציית התמסורת}$$

הנחייה :

- רשמו KCL בשני הצמתים, V_x , V_- וחלצו את פונקציית התמסורת
- נסו להביא את הביטוי לצורה המכילה קבוע ב"ת בתדר + צורה מוכרת למעגל מסנן תדרים ידוע

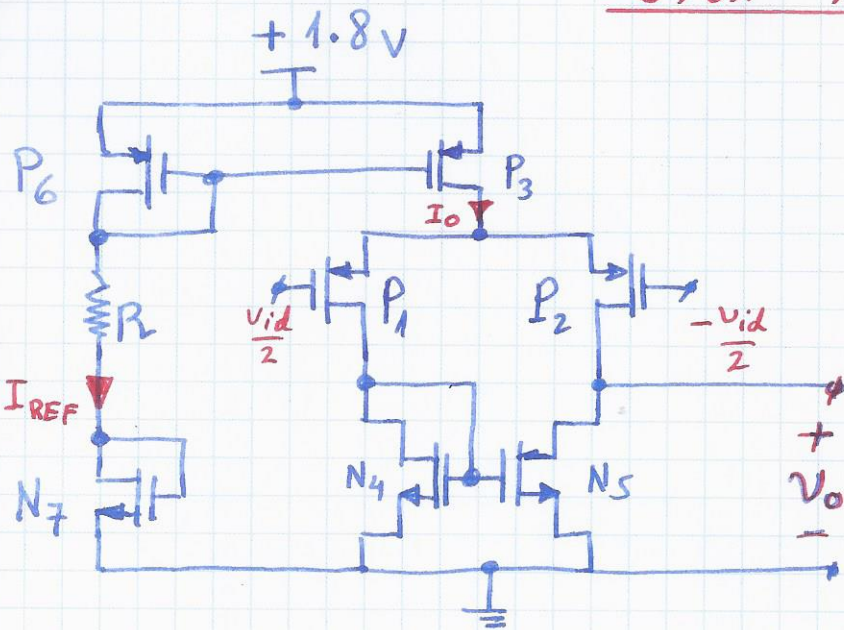
2. (5%) הסבירו מהו סוג מסנן התדרים המתקבל ?

3. (10%) הציבו ערכים מספריים, עבור הנגדים והקבלים. רשמו את פונקציית התמסורת באופן מספרי, ועל בסיס זה שרטטו את עקום תגובת התדר, כלומר את אַמפליטודת התמסורת, בסקלה ליניארית, כנגד התדירות הזוויתית ω . ציינו על גבי הדיאגרמה ערכים עקרוניים :

- תדרים עיקריים
- גדלים רלוונטיים כגון : ערכי מינימום / מקסימום / אסימפטוטות / קצב עלייה/ירידה (על פי ראות עיניכם, מה שרלוונטי בלבד)
- יש להקפיד על סימנים נכונים, גדלים מדויקים וציון מיקום תדרים מרכזיים - שרבוטים לא מדויקים לא יזכו בנקודות.

4. (5%) חשבו מהו רוחב הסרט של המסנן מבחינת קריטריון $-3dB$

שאלה 1 - מעבר הפרש



$$k_n' = 0.24 \left[\frac{\text{mA}}{\text{V}^2} \right]$$

$$k_p' = 0.08 \left[\frac{\text{mA}}{\text{V}^2} \right]$$

$$(W/L)_6 = 3$$

$$(W/L)_7 = 1$$

$$V_{tN} = |V_{tP}| = 0.4 \text{ [V]}$$

$$V_{A,N} = 36 \text{ [V]}$$

$$V_{AP} = -24 \text{ [V]}$$

- ①
- P_1, P_2 מעבר הפרש (צמד MOS הפרשי)
 - P_3 מקלי צמד משולף עצמאי הפרשי
 - N_4, N_5 עומס אקטיבי מסוג "נ'-זרם"
 - המפעל יתפקד כקופל הפרשי מחולק יתרי
 - P_6 MOS בחיבור ציודה המשמש לציורה
 - "נ'-זרם" מקלי P_3
 - N_7 MOS בחיבור ציודה, המקלין את
 - המחבר R המשך המולי

② $I_{REF} = 4.8 \mu\text{A}$, ניתן קומפ V_{GS7} ; V_{SG6}

$$V_{SG6} = |V_{tP}| + \sqrt{\frac{2 \cdot I_{SD}}{k_p' \cdot (W/L)_6}} = 0.4 + \sqrt{\frac{2 \cdot 4.8 \mu\text{A}}{80 \mu\text{A/V}^2 \cdot 3}}$$

$$= 0.4 + \sqrt{\frac{1.6}{40}} = 0.4 + 0.2 = 0.6 \text{ V}$$

$$V_{GS7} = V_{tN} + \sqrt{\frac{2 \cdot I_{DS}}{k_n' \cdot (W/L)_7}} = 0.4 + \sqrt{\frac{2 \cdot 4.8 \mu\text{A}}{240 \frac{\mu\text{A}}{\text{V}^2} \cdot 1}} = 0.6 \text{ V}$$

$$\Rightarrow V_R = V_{SS} - V_{GS7} - V_{SG6} = 1.8 - 0.6 - 0.6 = 0.6 \text{ V}$$

$$R = \frac{V_R}{I_{REF}} = \frac{0.6V}{4.8\mu A}$$

: R נחלק 100

$$R = 125 k\Omega$$

3) P_3 נחלק 100 : הנח

$$I_0 = I_{REF} \cdot \frac{(W/L)_3}{(W/L)_6}$$

$$\Rightarrow (W/L)_3 = (W/L)_6 \cdot \frac{I_0}{I_{REF}} = \left(\frac{3}{1}\right) \cdot \frac{240\mu A}{4.8\mu A} = \left(\frac{3}{1}\right) \cdot 50$$

$$\Rightarrow \left(\frac{W}{L}\right)_3 = \left(\frac{150}{1}\right)$$

N_4, N_5 ציטט פרינציפ 3 : נחלק 100

$$V_{OV,4,5} = V_{OV,3}$$

$$I_4 = I_5 = \frac{I_3}{2}$$

$$k_{n4} = k_{n5} = \frac{1}{2} k_{p3} \quad (V_{OV} \text{ נחלק})$$

$$\left(\frac{W}{L}\right)_N \cdot k_n' = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{W}{L}\right)_3 \cdot k_p'$$

$$\begin{aligned} \left(\frac{W}{L}\right)_{N_4} = \left(\frac{W}{L}\right)_{N_5} &= \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{W}{L}\right)_3 \cdot \frac{k_p'}{k_n'} = \frac{1}{2} \cdot \frac{150}{1} \cdot \frac{80 \mu A/V^2}{240 \mu A/V^2} \\ &= \frac{1}{2} \cdot \frac{150}{1} \cdot \frac{1}{3} = \frac{150}{1} \cdot \frac{1}{6} = \frac{25}{1} \end{aligned}$$

$$\left(\frac{W}{L}\right)_4 = \left(\frac{W}{L}\right)_5 = \frac{25}{1}$$

4) נחלק 100 : הנח

$$A_d = g_{m2} \cdot (r_{o2} \parallel r_{o5})$$

שים לב! השוליים יחתכו לפני הסריקה. לכן חל איסור מוחלט לכתוב כאן.

שים לב! השוליים יחתכו לפני הסריקה. לכן חל איסור מוחלט לכתוב כאן.

$$I_2 = I_5 = \frac{I_0}{2} = 120 \mu A \quad : R/c$$

$$\Downarrow \quad r_{o2} = -\frac{V_{AP}}{I_5} = \frac{24 [V]}{120 [\mu A]} = 200 k\Omega$$

$$r_{o5} = \frac{V_{AP}}{I_5} = \frac{36 [V]}{120 [\mu A]} = 300 k\Omega$$

$$r_{o2} \parallel r_{o5} = 120 k\Omega \quad : \mu p$$

$$\Downarrow \quad g_{m2} = \frac{A_d}{r_{o2} \parallel r_{o5}} = \frac{144}{120 k\Omega} = 1.2 [mS]$$

$$g_m = \sqrt{2 \cdot I \cdot k_p' \cdot \left(\frac{W}{L}\right)_2} \quad : R/c$$

$$\Downarrow \quad \left(\frac{W}{L}\right)_2 = \frac{g_m^2}{2 \cdot I \cdot k_p'} = \frac{(1.2 [mS])^2}{2 \cdot 0.12 mA \cdot 0.08 \frac{mA}{V^2}} = \frac{1.44}{1.92 \cdot 0.01} = \frac{3}{4} \cdot 100 = 75$$

$$\boxed{\left(\frac{W}{L}\right)_2 = \left(\frac{W}{L}\right)_1 = \left(\frac{75}{1}\right)}$$

5) נתון: A_{cm} יחסית אל התנגדות העל

הנגד R_{SS} ואל התנגדות העל R_{SS}

הנגד g_{m4}

$$g_{m4} = \sqrt{2 \cdot I_4 \cdot k_n' \cdot \left(\frac{W}{L}\right)_4} = \sqrt{2 \cdot 0.12 [mA] \cdot 0.24 \frac{mA}{V^2} \cdot 25} = \sqrt{0.24 \cdot 0.24 \cdot 25} = 0.24 [mS] \cdot \sqrt{25} = 1.2 [mS]$$

$$R_{SS} = r_{o5} = -\frac{V_{A,P}}{I_0} = \frac{24}{0.24 mA} = 100 k\Omega$$

$$\Downarrow \quad A_{cm} \cong -\frac{1}{g_{m4} \cdot 2 \cdot R_{SS}} = \frac{-1}{1.2 [mS] \cdot 2 \cdot 100 [k\Omega]}$$

$$A_{cm} = - \frac{1}{200 \cdot 1.2} = - 4.166 \cdot 10^{-3}$$

⇓

$$CMRR = \left| \frac{A_d}{A_{cm}} \right| = \frac{144}{\frac{1}{200 \cdot 1.2}} = 34,560$$

dB ס"ס (מקסי)

$$CMRR = 20 \cdot \log_{10} \left| \frac{A_d}{A_{cm}} \right| = 20 \cdot \log_{10} (34560)$$

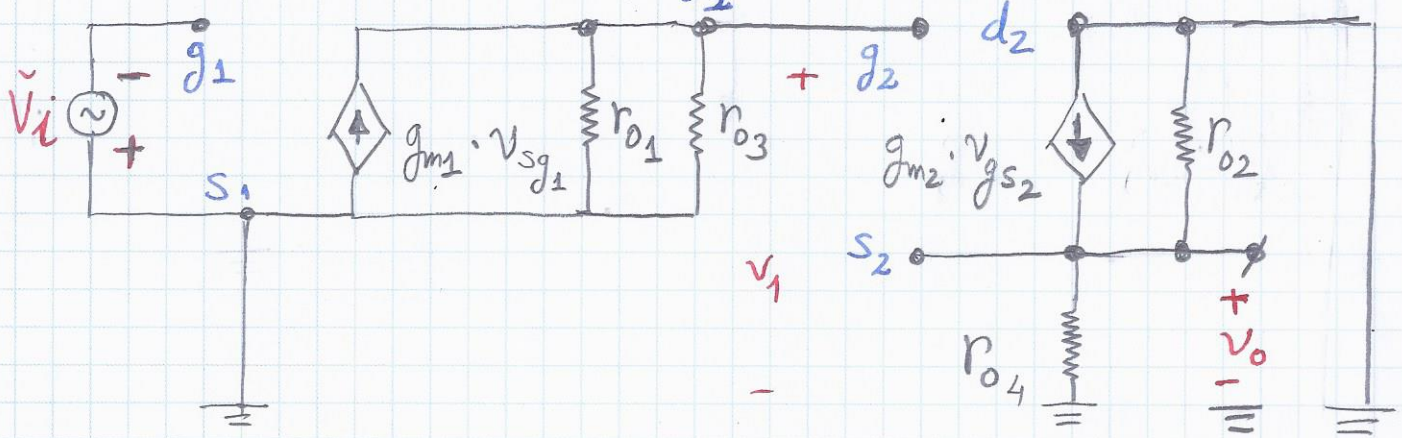
$$CMRR = 90 \text{ [dB]}$$

שים לב! השוליים יחתכו לפני הסריקה. לכן חל איסור מוחלט לכתוב כאן.

שים לב! השוליים יחתכו לפני הסריקה. לכן חל איסור מוחלט לכתוב כאן.

$P_1 + N_3$ יוצר $N_2 + N_4$ G_5 G_D N_1 N_2 N_3 N_4 N_5 N_6 N_7 N_8 N_9 N_{10} N_{11} N_{12} N_{13} N_{14} N_{15} N_{16} N_{17} N_{18} N_{19} N_{20} N_{21} N_{22} N_{23} N_{24} N_{25} N_{26} N_{27} N_{28} N_{29} N_{30} N_{31} N_{32} N_{33} N_{34} N_{35} N_{36} N_{37} N_{38} N_{39} N_{40} N_{41} N_{42} N_{43} N_{44} N_{45} N_{46} N_{47} N_{48} N_{49} N_{50} N_{51} N_{52} N_{53} N_{54} N_{55} N_{56} N_{57} N_{58} N_{59} N_{60} N_{61} N_{62} N_{63} N_{64} N_{65} N_{66} N_{67} N_{68} N_{69} N_{70} N_{71} N_{72} N_{73} N_{74} N_{75} N_{76} N_{77} N_{78} N_{79} N_{80} N_{81} N_{82} N_{83} N_{84} N_{85} N_{86} N_{87} N_{88} N_{89} N_{90} N_{91} N_{92} N_{93} N_{94} N_{95} N_{96} N_{97} N_{98} N_{99} N_{100} N_{101} N_{102} N_{103} N_{104} N_{105} N_{106} N_{107} N_{108} N_{109} N_{110} N_{111} N_{112} N_{113} N_{114} N_{115} N_{116} N_{117} N_{118} N_{119} N_{120} N_{121} N_{122} N_{123} N_{124} N_{125} N_{126} N_{127} N_{128} N_{129} N_{130} N_{131} N_{132} N_{133} N_{134} N_{135} N_{136} N_{137} N_{138} N_{139} N_{140} N_{141} N_{142} N_{143} N_{144} N_{145} N_{146} N_{147} N_{148} N_{149} N_{150} N_{151} N_{152} N_{153} N_{154} N_{155} N_{156} N_{157} N_{158} N_{159} N_{160} N_{161} N_{162} N_{163} N_{164} N_{165} N_{166} N_{167} N_{168} N_{169} N_{170} N_{171} N_{172} N_{173} N_{174} N_{175} N_{176} N_{177} N_{178} N_{179} N_{180} N_{181} N_{182} N_{183} N_{184} N_{185} N_{186} N_{187} N_{188} N_{189} N_{190} N_{191} N_{192} N_{193} N_{194} N_{195} N_{196} N_{197} N_{198} N_{199} N_{200} N_{201} N_{202} N_{203} N_{204} N_{205} N_{206} N_{207} N_{208} N_{209} N_{210} N_{211} N_{212} N_{213} N_{214} N_{215} N_{216} N_{217} N_{218} N_{219} N_{220} N_{221} N_{222} N_{223} N_{224} N_{225} N_{226} N_{227} N_{228} N_{229} N_{230} N_{231} N_{232} N_{233} N_{234} N_{235} N_{236} N_{237} N_{238} N_{239} N_{240} N_{241} N_{242} N_{243} N_{244} N_{245} N_{246} N_{247} N_{248} N_{249} N_{250} N_{251} N_{252} N_{253} N_{254} N_{255} N_{256} N_{257} N_{258} N_{259} N_{260} N_{261} N_{262} N_{263} N_{264} N_{265} N_{266} N_{267} N_{268} N_{269} N_{270} N_{271} N_{272} N_{273} N_{274} N_{275} N_{276} N_{277} N_{278} N_{279} N_{280} N_{281} N_{282} N_{283} N_{284} N_{285} N_{286} N_{287} N_{288} N_{289} N_{290} N_{291} N_{292} N_{293} N_{294} N_{295} N_{296} N_{297} N_{298} N_{299} N_{300} N_{301} N_{302} N_{303} N_{304} N_{305} N_{306} N_{307} N_{308} N_{309} N_{310} N_{311} N_{312} N_{313} N_{314} N_{315} N_{316} N_{317} N_{318} N_{319} N_{320} N_{321} N_{322} N_{323} N_{324} N_{325} N_{326} N_{327} N_{328} N_{329} N_{330} N_{331} N_{332} N_{333} N_{334} N_{335} N_{336} N_{337} N_{338} N_{339} N_{340} N_{341} N_{342} N_{343} N_{344} N_{345} N_{346} N_{347} N_{348} N_{349} N_{350} N_{351} N_{352} N_{353} N_{354} N_{355} N_{356} N_{357} N_{358} N_{359} N_{360} N_{361} N_{362} N_{363} N_{364} N_{365} N_{366} N_{367} N_{368} N_{369} N_{370} N_{371} N_{372} N_{373} N_{374} N_{375} N_{376} N_{377} N_{378} N_{379} N_{380} N_{381} N_{382} N_{383} N_{384} N_{385} N_{386} N_{387} N_{388} N_{389} N_{390} N_{391} N_{392} N_{393} N_{394} N_{395} N_{396} N_{397} N_{398} N_{399} N_{400} N_{401} N_{402} N_{403} N_{404} N_{405} N_{406} N_{407} N_{408} N_{409} N_{410} N_{411} N_{412} N_{413} N_{414} N_{415} N_{416} N_{417} N_{418} N_{419} N_{420} N_{421} N_{422} N_{423} N_{424} N_{425} N_{426} N_{427} N_{428} N_{429} N_{430} N_{431} N_{432} N_{433} N_{434} N_{435} N_{436} N_{437} N_{438} N_{439} N_{440} N_{441} N_{442} N_{443} N_{444} N_{445} N_{446} N_{447} N_{448} N_{449} N_{450} N_{451} N_{452} N_{453} N_{454} N_{455} N_{456} N_{457} N_{458} N_{459} N_{460} N_{461} N_{462} N_{463} N_{464} N_{465} N_{466} N_{467} N_{468} N_{469} N_{470} N_{471} N_{472} N_{473} N_{474} N_{475} N_{476} N_{477} N_{478} N_{479} N_{480} N_{481} N_{482} N_{483} N_{484} N_{485} N_{486} N_{487} N_{488} N_{489} N_{490} N_{491} N_{492} N_{493} N_{494} N_{495} N_{496} N_{497} N_{498} N_{499} N_{500} N_{501} N_{502} N_{503} N_{504} N_{505} N_{506} N_{507} N_{508} N_{509} N_{510} N_{511} N_{512} N_{513} N_{514} N_{515} N_{516} N_{517} N_{518} N_{519} N_{520} N_{521} N_{522} N_{523} N_{524} N_{525} N_{526} N_{527} N_{528} N_{529} N_{530} N_{531} N_{532} N_{533} N_{534} N_{535} N_{536} N_{537} N_{538} N_{539} N_{540} N_{541} N_{542} N_{543} N_{544} N_{545} N_{546} N_{547} N_{548} N_{549} N_{550} N_{551} N_{552} N_{553} N_{554} N_{555} N_{556} N_{557} N_{558} N_{559} N_{560} N_{561} N_{562} N_{563} N_{564} N_{565} N_{566} N_{567} N_{568} N_{569} N_{570} N_{571} N_{572} N_{573} N_{574} N_{575} N_{576} N_{577} N_{578} N_{579} N_{580} N_{581} N_{582} N_{583} N_{584} N_{585} N_{586} N_{587} N_{588} N_{589} N_{590} N_{591} N_{592} N_{593} N_{594} N_{595} N_{596} N_{597} N_{598} N_{599} N_{600} N_{601} N_{602} N_{603} N_{604} N_{605} N_{606} N_{607} N_{608} N_{609} N_{610} N_{611} N_{612} N_{613} N_{614} N_{615} N_{616} N_{617} N_{618} N_{619} N_{620} N_{621} N_{622} N_{623} N_{624} N_{625} N_{626} N_{627} N_{628} N_{629} N_{630} N_{631} N_{632} N_{633} N_{634} N_{635} N_{636} N_{637} N_{638} N_{639} N_{640} N_{641} N_{642} N_{643} N_{644} N_{645} N_{646} N_{647} N_{648} N_{649} N_{650} N_{651} N_{652} N_{653} N_{654} N_{655} N_{656} N_{657} N_{658} N_{659} N_{660} N_{661} N_{662} N_{663} N_{664} N_{665} N_{666} N_{667} N_{668} N_{669} N_{670} N_{671} N_{672} N_{673} N_{674} N_{675} N_{676} N_{677} N_{678} N_{679} N_{680} N_{681} N_{682} N_{683} N_{684} N_{685} N_{686} N_{687} N_{688} N_{689} N_{690} N_{691} N_{692} N_{693} N_{694} N_{695} N_{696} N_{697} N_{698} N_{699} N_{700} N_{701} N_{702} N_{703} N_{704} N_{705} N_{706} N_{707} N_{708} N_{709} N_{710} N_{711} N_{712} N_{713} N_{714} N_{715} N_{716} N_{717} N_{718} N_{719} N_{720} N_{721} N_{722} N_{723} N_{724} N_{725} N_{726} N_{727} N_{728} N_{729} N_{730} N_{731} N_{732} N_{733} N_{734} N_{735} N_{736} N_{737} N_{738} N_{739} N_{740} N_{741} N_{742} N_{743} N_{744} N_{745} N_{746} N_{747} N_{748} N_{749} N_{750} N_{751} N_{752} N_{753} N_{754} N_{755} N_{756} N_{757} N_{758} N_{759} N_{760} N_{761} N_{762} N_{763} N_{764} N_{765} N_{766} N_{767} N_{768} N_{769} N_{770} N_{771} N_{772} N_{773} N_{774} N_{775} N_{776} N_{777} N_{778} N_{779} N_{780} N_{781} N_{782} N_{783} N_{784} N_{785} N_{786} N_{787} N_{788} N_{789} N_{790} N_{791} N_{792} N_{793} N_{794} N_{795} N_{796} N_{797} N_{798} N_{799} N_{800} N_{801} N_{802} N_{803} N_{804} N_{805} N_{806} N_{807} N_{808} N_{809} N_{810} N_{811} N_{812} N_{813} N_{814} N_{815} N_{816} N_{817} N_{818} N_{819} N_{820} N_{821} N_{822} N_{823} N_{824} N_{825} N_{826} N_{827} N_{828} N_{829} N_{830} N_{831} N_{832} N_{833} N_{834} N_{835} N_{836} N_{837} N_{838} N_{839} N_{840} N_{841} N_{842} N_{843} N_{844} N_{845} N_{846} N_{847} N_{848} N_{849} N_{850} N_{851} N_{852} N_{853} N_{854} N_{855} N_{856} N_{857} N_{858} N_{859} N_{860} N_{861} N_{862} N_{863} N_{864} N_{865} N_{866} N_{867} N_{868} N_{869} N_{870} N_{871} N_{872} N_{873} N_{874} N_{875} N_{876} N_{877} N_{878} N_{879} N_{880} N_{881} N_{882} N_{883} N_{884} N_{885} N_{886} N_{887} N_{888} N_{889} N_{890} N_{891} N_{892} N_{893} N_{894} N_{895} N_{896} N_{897} N_{898} N_{899} N_{900} N_{901} N_{902} N_{903} N_{904} N_{905} N_{906} N_{907} N_{908} N_{909} N_{910} N_{911} N_{912} N_{913} N_{914} N_{915} N_{916} N_{917} N_{918} N_{919} N_{920} N_{921} N_{922} N_{923} N_{924} N_{925} N_{926} N_{927} N_{928} N_{929} N_{930} N_{931} N_{932} N_{933} N_{934} N_{935} N_{936} N_{937} N_{938} N_{939} N_{940} N_{941} N_{942} N_{943} N_{944} N_{945} N_{946} N_{947} N_{948} N_{949} N_{950} N_{951} N_{952} N_{953} N_{954} N_{955} N_{956} N_{957} N_{958} N_{959} N_{960} N_{961} N_{962} N_{963} N_{964} N_{965} N_{966} N_{967} N_{968} N_{969} N_{970} N_{971} N_{972} N_{973} N_{974} N_{975} N_{976} N_{977} N_{978} N_{979} N_{980} N_{981} N_{982} N_{983} N_{984} N_{985} N_{986} N_{987} N_{988} N_{989} N_{990} N_{991} N_{992} N_{993} N_{994} N_{995} N_{996} N_{997} N_{998} N_{999} N_{1000}

סכמת התאורה



$$v_1 = g_{m1} \cdot v_{sg1} \cdot r_{01} \parallel r_{03} = g_{m1} \cdot v_i (r_{01} \parallel r_{03}) \quad (3)$$

$$A_v = \frac{v_1}{v_i} = g_{m1} (r_{01} \parallel r_{03})$$

$$= 4 \text{ mS} (100 \text{ k}\Omega \parallel 100 \text{ k}\Omega) = 200$$

$$A_v = +200 \text{ V/V}$$

$$R_o = R_{\text{SOURCE}} = \frac{1}{g_{m2}} \parallel r_{02} \parallel r_{04} \quad (4)$$

$$= 10 \Omega \parallel 3.333 \text{ k}\Omega \parallel 3.333 \text{ k}\Omega$$

$$R_o \approx 10 \Omega$$

$$v_o = 3 \cdot \cos(\omega t) \quad (5)$$

$$[-3 \text{ } +3]$$

התאורה

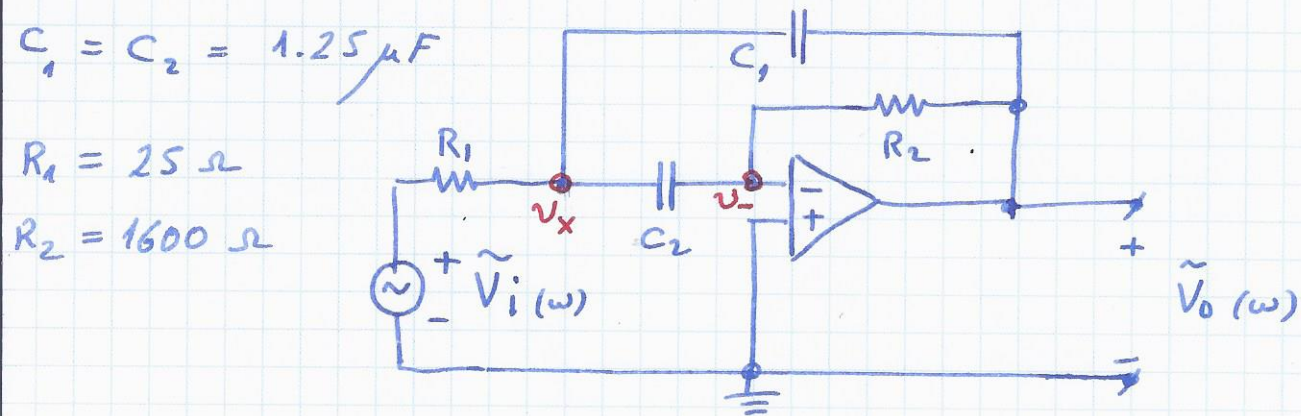
התאורה

התאורה

התאורה

שאלה 3

מעגל מתבר שרת - כנסון תנר אלקטרי



4) KCL בשני צמתים:

$$(v_x): \frac{\tilde{V}_i - \tilde{V}_x}{R_1} = \frac{\tilde{V}_x - \tilde{V}_0}{z_{c_1}} + \frac{\tilde{V}_x - \tilde{V}_0}{z_{c_2}}$$

$$(v_-): \frac{\tilde{V}_x}{z_{c_2}} = -\frac{\tilde{V}_0}{R_2}$$

פדן מתוואה טייה: $\tilde{V}_x = -\frac{z_{c_2}}{R_2} \cdot \tilde{V}_0$
 נרבה במשוואה האחרת נניקה:

$$\tilde{V}_i = R_1 \left[\tilde{V}_x \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{z_{c_2}} + \frac{1}{z_{c_1}} \right) - \frac{\tilde{V}_0}{z_{c_1}} \right]$$

$$\tilde{V}_i = -\tilde{V}_0 \cdot R_1 \left[\frac{1}{z_{c_1}} + \frac{z_{c_2}}{R_2} \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{z_{c_2}} + \frac{1}{z_{c_1}} \right) \right]$$

$$\Downarrow$$

$$\frac{\tilde{V}_0}{\tilde{V}_i}(\omega) = -\frac{R_2}{R_1} \cdot \frac{1}{\frac{R_2}{z_{c_1}} + \frac{z_{c_2}}{R_1} + \frac{z_{c_2}}{z_{c_1}} + \frac{z_{c_2}}{z_{c_1}}}$$

$\equiv 1 + \frac{C_1}{C_2}$

$$H(\omega) = \frac{\tilde{V}_0}{\tilde{V}_i} = -\frac{R_2}{R_1} \cdot \frac{C_2}{C_1 + C_2} \cdot \frac{1}{1 + \frac{C_2}{C_1 + C_2} \left(\frac{R_2}{z_{c_1}} + \frac{z_{c_2}}{R_1} \right)}$$

$$H(\omega) = -\frac{R_2}{R_1} \cdot \frac{C_2}{C_1 + C_2} \cdot \frac{1}{1 + \frac{C_2}{C_1 + C_2} \left(j\omega R_2 C_1 + \frac{1}{j\omega R_1 C_2} \right)}$$

שים לב! השוליים יחתכו לפני הסריקה. לכן חל איסור מוחלט לכתוב כאן.

$$H(\omega) = \frac{V_o}{V_i} = - \frac{R_2}{R_1} \cdot \frac{C_2}{C_1 + C_2} \cdot \frac{1}{1 + j \frac{C_2}{C_1 + C_2} \sqrt{\frac{R_2 C_1}{R_1 C_2}} \left(\omega \sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2} - \frac{1}{\omega \sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2}} \right)}$$

נתקנת כוונת תמסורת נכונה BPF (BAND PASS FILTER) 00/20

$$H(\omega) = \frac{V_o}{V_i}(\omega) = \frac{k}{1 + jQ_0 \left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} \right)}$$

$$k = - \frac{R_2}{R_1} \cdot \frac{C_2}{C_1 + C_2} = - \frac{1600}{25} \cdot \frac{C}{2C} = -32 \quad \text{על/ע}$$

$$Q_0 = \frac{C_2}{C_1 + C_2} \sqrt{\frac{R_2}{R_1}} \sqrt{\frac{C_1}{C_2}} = \frac{1}{2} \cdot \sqrt{\frac{1600}{25}} \cdot \sqrt{1} = \frac{1}{2} \cdot \frac{40}{5} = 4$$

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2}} = \frac{1}{\sqrt{1600 \cdot 25 \cdot 1.25 \cdot 10^{-6}}} = \frac{10^6}{40 \cdot 5 \cdot 1.25} = \frac{10^6}{250} = 4000 \left[\frac{\text{rad}}{\text{s}} \right]$$

(5) ברוך שהיא מתקנת כלל תהודה וסך:

$$H(\omega = \omega_0) = -32 \quad \frac{V}{V}$$

$$\omega_0 = 4000 \text{ rad/s}$$

$$\Delta\omega = \omega_0 / Q_0 = \frac{4000}{4} = 1000 \text{ rad/s}$$

$$\begin{aligned} \omega_{2,1} &= \omega_0 \sqrt{1 + \frac{1}{(2Q_0)^2}} \pm \frac{\omega_0}{2Q_0} = 4000 \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{1}{8}\right)^2} \pm \frac{4000}{8} \\ &= 4031 \pm 500 = \begin{cases} 4531 \text{ rad/s} \\ 3531 \text{ rad/s} \end{cases} \end{aligned}$$

זהו מונח ב Matlab במחשב קבא.

(6) מונח BPF על/ע:

$$\begin{aligned} \omega_0 &= 4000 \text{ rad/s} & (f = \\ \Delta\omega_0 &= 1000 \text{ rad/s} & (\Delta f = \end{aligned}$$

(7) כוון שדה מתקנת שדה אינדיארי, ניתן להניח $r_0 = 0$, והעמסה המוצא לא תתנה את התנהגות המסך והקטאי

