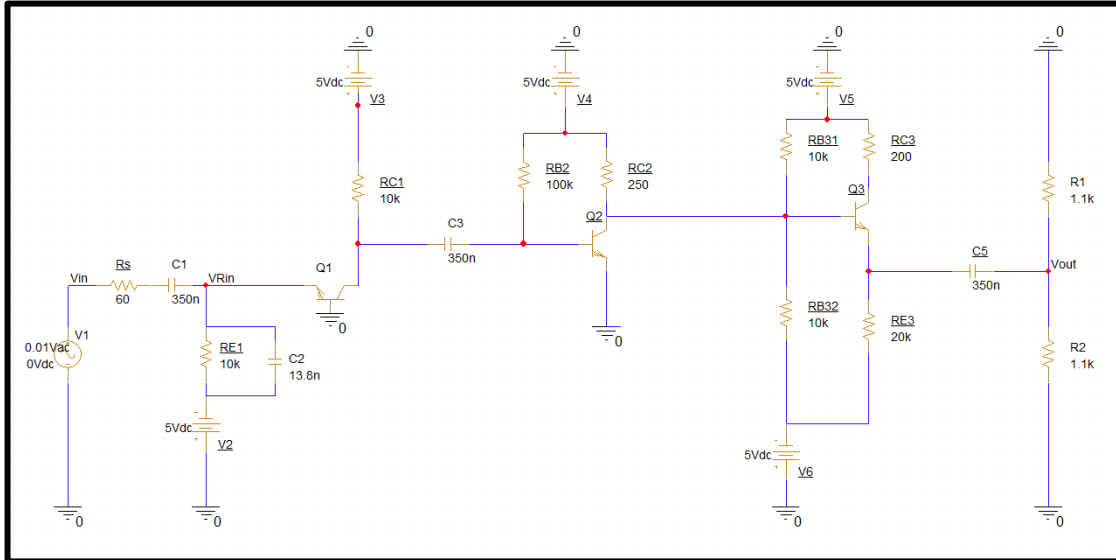


פתרונות לתרגיל Pspice

לירון כהן 207481268

שקד לובין 208728139



שאלה 1

| A | B | C | D | E | F | G | H | I |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 4 | 1 | 6 | 2 | 0 | 9 | 4 | 0 | 7 |

| A | f_1 | f_2 | M_1 | M_2 | R_{in} | R_{out} |
|---------|---------|-----------|------------------------------------|-------------------------------------|-----------------|-----------------|
| 43 [dB] | 4 [kHz] | 400 [kHz] | $40 \left[\frac{db}{dec} \right]$ | $-20 \left[\frac{db}{dec} \right]$ | 57 [Ω] | 59 [Ω] |

שאלה 2

דרגות המעגל:

1. מחלק מתח בכניסה על מנת לדייק את ההגבר לערך המבוקש.
2. CB שתפקידה להעלות את הגבר המתח. בנוסף, דרגה זו מאופיינת בהתנגדות כניסה נמוכה כפי שנדרשנו בערכי הפרוייקט.
3. CE שתפקידה להעלות את הגבר המתח (בערך מוחלט). בנוסף, דרגה זו מאופיינת בהתנגדות כניסה גבוהה על מנת לשמר את ההגבר שהתפתח מדרגת ה- CB .
4. CC שמאופיינת בהתנגדות יציאה נמוכה כפי שנדרשנו בערכי הפרוייקט.

תפקידי הקבלים במעגל:

C_1, C_3, C_5 הינם קבלי צימוד המפרידים בין הדרגות ב- DC . בתחילה הוספנו קבל צימוד נוסף C_4 בין ה- CE ל- CC אך הבנו כי קבל זה אינו משמעותי והורדנו אותו משיקולי התאמה לדיאגרמת הבודה המבוקשת.

C_2 הינו קבל מעקף הנועד לתת נקודה עבודה טובה ב- DC אך למנוע ניוון באמיטר Q_1 באות קטן.

הוכחת עמידה בדרישות התכנון:

1. סך הנגדים:

$$60 + 10k + 10k + 100k + 250 + 10k + 10k + 200 + 20k + 1.1k + 1.1k \\ = 162.71[k\Omega] < 5[M\Omega]$$

2. סך הקיבולים:

$$350n \cdot 3 + 13.8n = 1.0638[\mu F] < 1[mF]$$

3. מתחי הספקים הינם $\pm 5[V]$. התבצע שימוש גם באדמות באישור מתרגל הקורס.

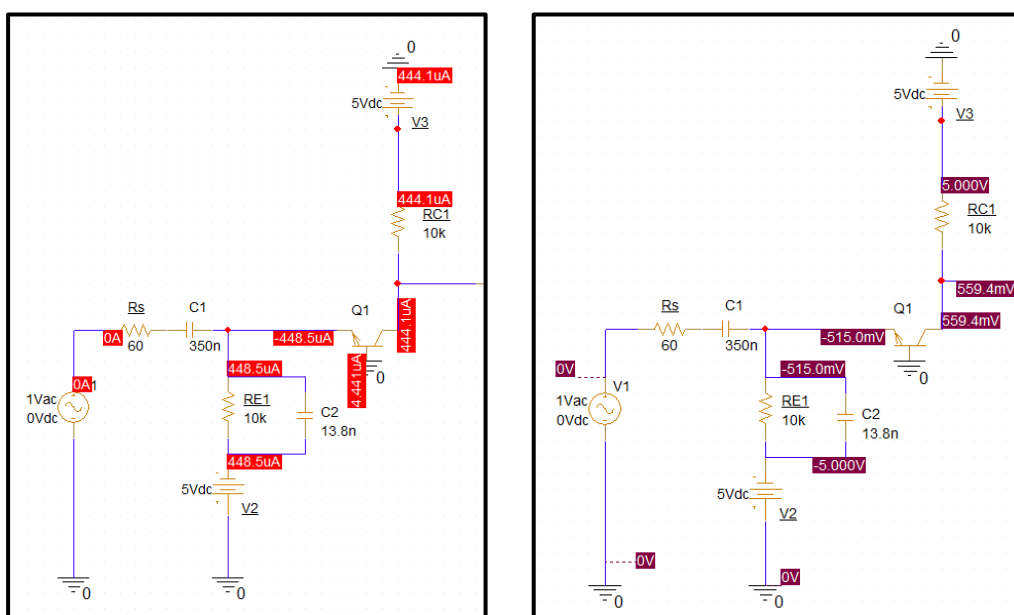
4. ערך ה-DC במוצא הוא אפס (מוצג בחישוב שאלה 3).

5. צריכת ההספק במעגל הינה $39.618[mW] < 100[mW]$ (מוצג בחישוב שאלה 6).

שאלה 3 - ניתוח נקודת עבודה

ב-DC המעגל מתחלק לשלושה תתי מעגלים.

חלק 1



$$V_{BE_1} = 0.515[V]$$

$$KVL: -5 - I_{E_1} R_{E_1} + 0.515 = 0$$

$$I_{E_1} = -448.5[\mu A]$$

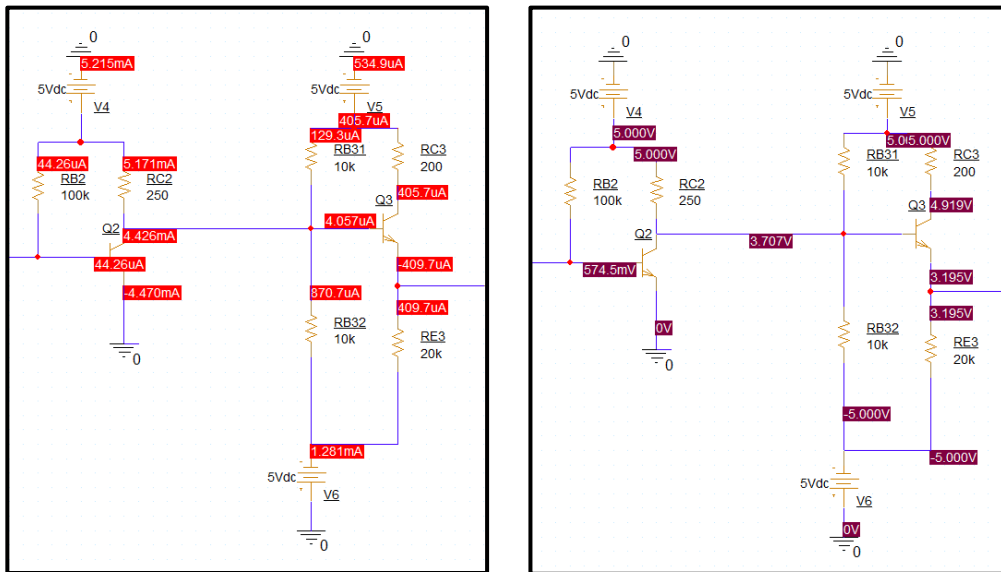
$$I_{C_1} = \alpha I_{E_1} = -444[\mu A]$$

$$V_{E_1} = -0.515[V]$$

$$V_{C_1} = 5 + I_{C_1} R_{C_1} = 5 - 444\mu \cdot 10k = 0.56[V]$$

$$V_{CE_1} = 0.56 + 0.515 = 1.075[V] > 0.2[V]$$

ולכן Q_1 בפעיל קדמי.



$$V_{BE_2} = 0.574[V]$$

$$KVL: 5 - I_{B_2} R_{B_2} - 0.574 = 0$$

$$I_{B_2} = 44.26[\mu A]$$

$$I_{C_2} = \beta I_{B_2} = 4.426[mA]$$

$$V_{C_2} = V_{B_3} := V_x \text{ נסמן}$$

$$I_{R_{C_2}} = \frac{5 - V_x}{R_{C_2}} = \frac{5 - V_x}{250}$$

$$I_{R_{B_{31}}} = \frac{5 - V_x}{R_{B_{31}}} = \frac{5 - V_x}{10k}$$

$$I_{R_{B_{32}}} = \frac{V_x + 5}{R_{B_{32}}} = \frac{V_x + 5}{10k}$$

$$V_{BE_3} = 0.513[V]$$

$$V_{E_3} = V_x - 0.513$$

$$I_{E_3} = \frac{V_x - 0.513 + 5}{R_{E_3}} = \frac{V_x + 4.487}{20k}$$

$$I_{B_3} = \frac{I_{E_3}}{\beta + 1} = \frac{V_x + 4.487}{101 \cdot 20k}$$

$$KCL: I_{R_{C_2}} + I_{R_{B_{31}}} = I_{C_2} + I_{R_{B_{32}}} + I_{B_3}$$

$$\frac{5 - V_x}{250} + \frac{5 - V_x}{10k} = 4.426m + \frac{V_x + 5}{10k} + \frac{V_x + 4.487}{101 \cdot 20k}$$

$$V_x = 3.707[V] = V_{CE_2} > 0.2[V]$$

ולכן Q_2 גם הוא בפעיל קדמי.

$$V_{E_3} = 3.194[V]$$

$$I_{B_3} = \frac{3.707 + 4.487}{101 \cdot 20k} = 4.056[\mu A]$$

$$I_{C_3} = \beta I_{B_3} = 405.6[\mu A]$$

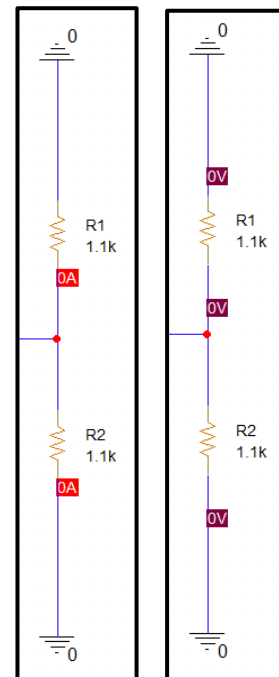
$$V_{C_3} = 5 - R_{C_3} I_{C_3} = 4.919[V]$$

$$V_{CE_3} = 4.919 - 3.194 = 1.725[V] > 0.2[V]$$

ולכן גם Q_3 בפעיל קדמי.

חלק 3

מתת מעגל זה נקבל $V_o = 0[V]$ בהתאם להנחיות הפרוייקט.



נסכם :

| Q_1 | | Q_2 | | Q_3 | |
|------------|----------------|------------|-----------|------------|------------------|
| V_{CE_1} | I_{C_1} | V_{CE_2} | I_{C_2} | V_{CE_3} | I_{C_3} |
| 1.075[V] | 444[μA] | 3.707[V] | 4.426[mA] | 1.725[V] | 405.6[μA] |

שאלה 4 - ניתוח המעגל באות קטן

חישוב פרמטרי אות קטן :

$$\begin{aligned} gm_1 &= \frac{I_{C_1}}{V_T} = \frac{444\mu}{25m} = 17.76 \left[\frac{mA}{V} \right] & r_{\pi_1} &= \frac{\beta}{gm_1} = \frac{100}{17.76m} = 5.63[k\Omega] \\ gm_2 &= \frac{I_{C_2}}{V_T} = \frac{4.426m}{25m} = 177.04 \left[\frac{mA}{V} \right] & r_{\pi_2} &= \frac{\beta}{gm_2} = \frac{100}{177.04m} = 0.565[k\Omega] \\ gm_3 &= \frac{I_{C_3}}{V_T} = \frac{405.6\mu}{25m} = 16.22 \left[\frac{mA}{V} \right] & r_{\pi_3} &= \frac{\beta}{gm_3} = \frac{100}{16.22m} = 6.16[k\Omega] \end{aligned}$$

דרגה 1 - מחלק מתח

פירוט חישוב R_{in} נמצא בשאלה 5, נשתמש בערך שהתקבל - $55.43[\Omega]$.

$$A_0 = \frac{R_{in}}{R_{in} + R_s} = \frac{55.43}{55.43 + 60} = \mathbf{0.48}$$

דרגה 2 - CB

$$A_1 = gm_1 \widetilde{R}_{c_1}$$

$$\widetilde{R}_{c_1} = R_{c_1} \parallel R_{B_2} \parallel r_{\pi_2} = 10k \parallel 100k \parallel 0.565k = 531.94[\Omega]$$

$$A_1 = 17.76m \cdot 531.94 = \mathbf{9.447}$$

דרגה 3 - CE

$$A_2 = -\frac{\alpha \widetilde{R}_{c_2}}{\widetilde{R}_{E_2} + r_{e_2}} = -gm_2 \widetilde{R}_{c_2}$$

$$\widetilde{R}_{E_3} = R_{E_3} \parallel R_1 \parallel R_2 = 20k \parallel 1.1k \parallel 1.1k = 535.28[\Omega]$$

$$\widetilde{R}_{c_2} = R_{c_2} \parallel R_{B_{31}} \parallel R_{B_{32}} \parallel \left[r_{\pi_3} + \frac{\widetilde{R}_{E_3}}{\beta + 1} \right] = 250 \parallel 10k \parallel 10k \parallel 6.16k = 229.24[\Omega]$$

$$A_2 = -gm_2 \widetilde{R}_{c_2} = 177.04m \cdot 229.24 = \mathbf{40.585}$$

דרגה 4 - CC

$$A_3 = \frac{gm_3 \widetilde{R}_{E_3}}{gm_3 \widetilde{R}_{E_3} + 1} = \frac{16.22m \cdot 535.28}{16.22m \cdot 535.28 + 1} = \mathbf{0.897}$$

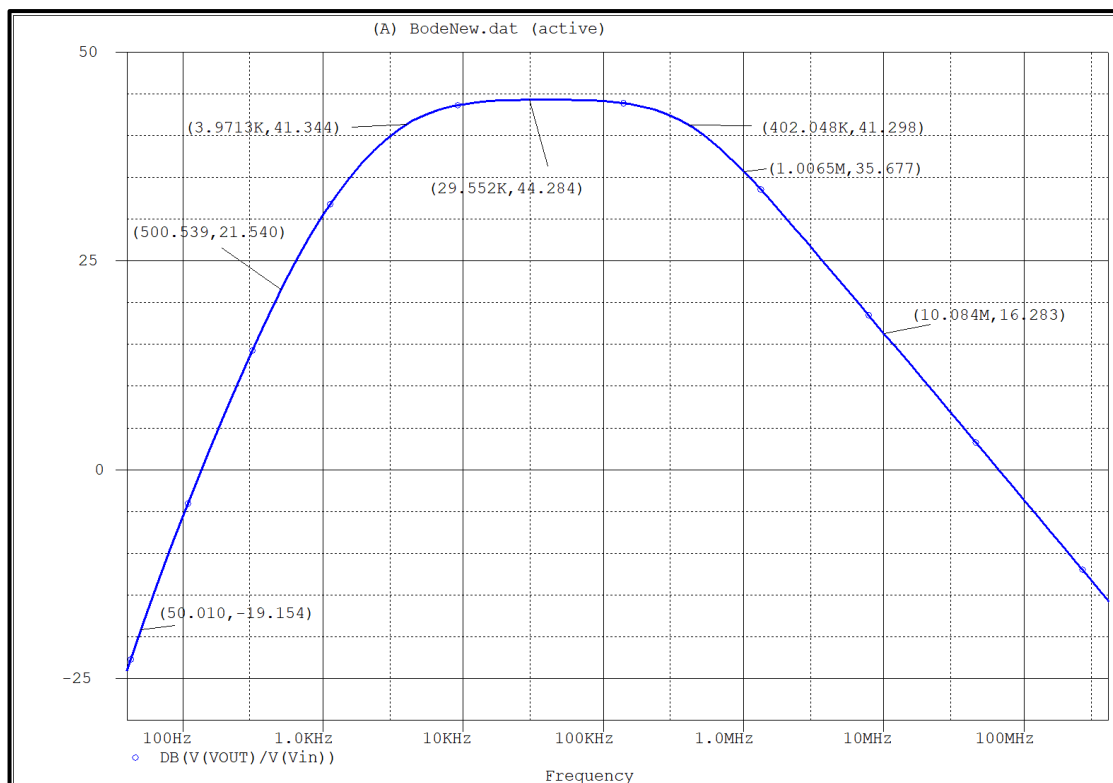
ההגבר הכולל :

$$A_v = A_0 \cdot A_1 \cdot A_2 \cdot A_3 = -165.15 \left[\frac{V}{V} \right]$$

$$A_{dB} = 20 \log_{10} |-165.15| = \mathbf{44.36[dB]}$$

סטייה :

$$\frac{44.36 - 43}{43} \cdot 100 = 3.16\%$$



| Evaluate | Measurement | Value |
|-------------------------------------|-------------------------------------|------------|
| <input checked="" type="checkbox"/> | Cutoff_Highpass_3dB(V(Vout)/V(Vin)) | 3.95275k |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Cutoff_Lowpass_3dB(V(Vout)/V(Vin)) | 404.02551k |
| <input checked="" type="checkbox"/> | MAX(DB(V(Vout)/V(Vin))) | 44.29750 |

חישוב השיפועים :

$$M_1 = \frac{35.677 - 16.283}{\log_{10}|1.0065M| - \log_{10}|10.084M|} = \frac{19.384}{-1} = -19.384 \left[\frac{dB}{dec} \right]$$

$$M_2 = \frac{21.540 + 19.154}{\log_{10}|500.539| - \log_{10}|50.010|} = \frac{40.694}{1} = 40.496 \left[\frac{dB}{dec} \right]$$

סטייה :

$$\frac{-20 + 19.384}{-20} \cdot 100 = 3.08\%$$

$$\frac{40.964 - 40}{40} \cdot 100 = 2.41\%$$

תדרי הברך :

$$f_1 = 3.9528[kHz]$$

$$f_2 = 404.025[kHz]$$

סטייה :

$$\frac{4 - 3.9528}{4} \cdot 100 = 1.18\%$$

$$\frac{404.025 - 400}{400} \cdot 100 = 1\%$$

מרחק תדרי הברך מעקום בודה :

$$d_1 = 44.284 - 41.344 = 2.94[dB]$$

$$d_2 = 44.284 - 41.298 = 2.986[dB]$$

סטייה :

$$\frac{3 - 2.94}{3} \cdot 100 = 2\%$$

$$\frac{3 - 2.986}{3} \cdot 100 = 0.5\%$$

שאלה 5

התנגדות כניסה :

נשים לב שקיבול C_2 קטן בסדרי גודל משאר קיבולי המעגל, ולכן הוא משפיע בתדרים גבוהים וב- MB הוא עדיין לא מקוצר. לכן, R_{E1} ייכנס לחישוב התנגדות הכניסה.

$$R_{in} = R_{E1} \parallel r_{e1} = 10k \parallel \frac{\alpha}{g_{m1}} = 10k \parallel \frac{\alpha}{I_{C1}} = 10k \parallel \frac{\alpha \cdot V_T}{I_{C1}} = 10k \parallel \frac{0.99 \cdot 0.025}{444.1 \cdot 10^{-6}}$$

$$R_{in} = 10k \parallel 55.74 = 55.43[\Omega]$$

סטייה :

$$\frac{57 - 55.43}{57} \cdot 100 = 2.75\%$$

| Evaluate | Measurement | Value |
|-------------------------------------|---------------------------|----------|
| <input checked="" type="checkbox"/> | YatX(V(V8:+)/I(V8:+),40k) | 59.53159 |

בחישוב הסימולציה חיברנו מקור בוחן מימין ל- R_s , חילקנו את המתח בהדק החיובי שלו בזרם שיוצא ממנו, והשתמשנו בערך המרכזי של ה- MB שהוא אמצע רוחב הפס.

ניתן לראות כי הערך שהתקבל מעט גבוה מהערך המחושב, אך עדיין בסטייה של 5% מהערך המבוקש.

התנגדות יציאה :

$$R_{out} = R_1 \parallel R_2 \parallel \left[R_{E3} \parallel \frac{r_{\pi_3} + R_{B31} \parallel R_{B32} \parallel R_{C2}}{\beta + 1} \right]$$

חישובי עזר :

$$R_1 \parallel R_2 = 550[\Omega]$$

$$r_{\pi_3} = \frac{\beta}{g_{m_3}} = 100 \cdot \frac{0.025}{I_{C_3}} = \frac{2.5}{405.7 \cdot 10^{-6}} = 6.16[k\Omega]$$

$$R_{B31} \parallel R_{B32} \parallel R_{C2} = 238[\Omega]$$

$$R_{E3} \parallel \frac{6.16k + 238}{101} = 10k \parallel 63.36 = 62.96[\Omega]$$

$$R_{out} = 56.5[\Omega]$$

סטייה :

$$\frac{59 - 56.5}{59} \cdot 100 = 4.25\%$$

| Evaluate | Measurement | Value |
|-------------------------------------|--------------------------|----------|
| <input checked="" type="checkbox"/> | YatX(V(V7:+)I(V7:+),40k) | 59.24082 |

בחישוב הסימולציה חיברנו מקור בוחן מימין ל- R_2 , חילקנו את המתח בהדק החיובי שלו בזרם שיוצא ממנו, והשתמשנו בערך המרכזי של ה- MB שהוא אמצע רוחב הפס. ניתן לראות כי הערך שהתקבל קרוב מאוד לערך המבוקש.

שאלה 6

נחשב את ההספק הכולל במעגל ע"י חישוב ההספקים של ספקי המעגל.

יש במעגל חמישה מקורות מתח DC שערכם המוחלט הוא $5[V]$ (מקור ה- AC בעל $V_{DC} = 0$ והספקו 0).

את הזרמים הרלוונטיים אליהם חישבנו בשאלה 3. נחשב את ההספקים ע"י הנוסחה $P = I \cdot V$:

| V_2 | | |
|--------------------|----------|-----------|
| $I_2[mA]$ | $V_2[V]$ | $P_2[mW]$ |
| $I_{E_1} = 0.4485$ | 5 | 2.242 |

| V_3 | | |
|-------------------|----------|-----------|
| $I_3[mA]$ | $V_3[V]$ | $P_3[mW]$ |
| $I_{C_1} = 0.444$ | 5 | 2.22 |

| V_4 | | |
|---------------------------------|----------|-----------|
| $I_4[mA]$ | $V_4[V]$ | $P_4[mW]$ |
| $I_{B_2} + I_{R_{C_2}} = 5.216$ | 5 | 26.081 |

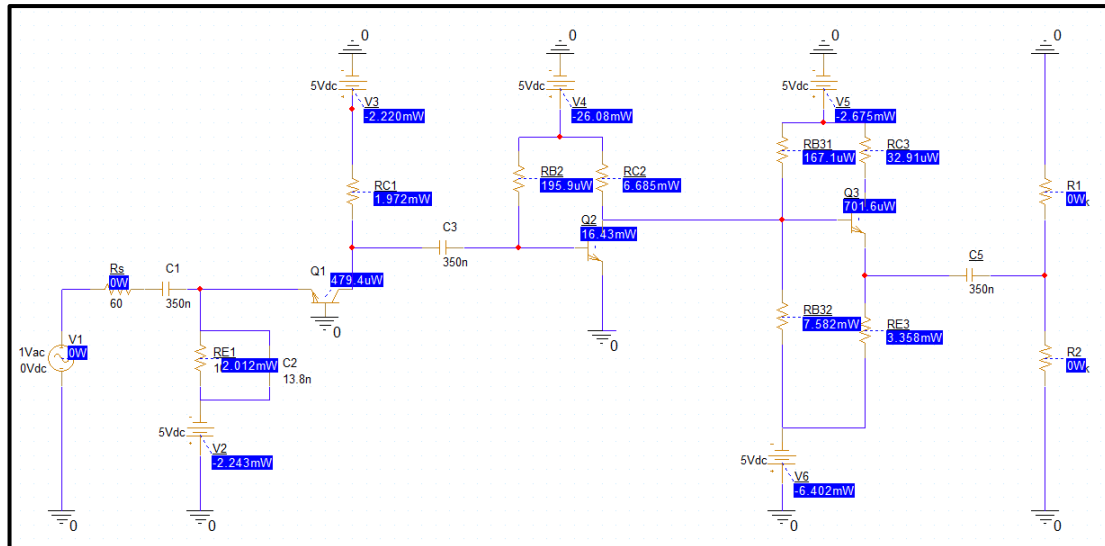
| V_5 | | |
|-------------------------------------|----------|-----------|
| $I_5[mA]$ | $V_5[V]$ | $P_5[mW]$ |
| $I_{R_{B_{31}}} + I_{C_3} = 0.5349$ | 5 | 2.674 |

| V_6 | | |
|-----------------------------------|----------|-----------|
| $I_6[mA]$ | $V_6[V]$ | $P_6[mW]$ |
| $I_{R_{B_{32}}} + I_{E_3} = 1.28$ | 5 | 6.401 |

נסכום ונקבל:

$$P_{total} = 2.242 + 2.22 + 26.081 + 2.674 + 6.401 = 39.618[mW]$$

מקובץ ה- out . ניתן לראות כי קיבלנו ערך זהה לערך הסימולציה.



שאלה 7

**** 01/08/22 10:48:41 ***** PSpice 17.4.0 (Nov 2018) ***** ID# 0 *****

** Profile: "SCHEMATIC1-BodeNew" [
C:\Users\user\OneDrive\Desktop\Liron\Studies\PSpice\AmplifierProject\Amplifier v2-PSpiceFi

**** CIRCUIT DESCRIPTION

** Creating circuit file "BodeNew.cir"

** WARNING: THIS AUTOMATICALLY GENERATED FILE MAY BE OVERWRITTEN BY SUBSEQUENT
SIMULATIONS

*Libraries:

* Profile Libraries :

* Local Libraries :

* From [PSpice NETLIST] section of C:\cds_spb_home\cdssetup\OrCAD_PSpiceTIPSpice_Install\17.4.0\PSpice.ini file:

.lib "nom_pspiti.lib"

.lib "nom.lib"

*Analysis directives:

AC DEC 11 40 400Meg

.OP

.OPTIONS ADVCONV

.OPTIONS FILEMODELSEARCH

.PROBE64 V(alias(*)) I(alias(*)) W(alias(*)) D(alias(*)) NOISE(alias(*))

.INC "..\SCHEMATIC1.net"

**** INCLUDING SCHEMATIC1.net ****

* source AMPLIFIER V2

V_V1 VIN 0 DC 0Vdc AC 0.01Vac

```

Q_Q1      N05752 0 N04350 QbreakN
Q_Q3      N06783 N24227 N05176 QbreakN
C_C1      N001390 N04350 350n
V_V5      N24896 0 5Vdc
R_RE1     N03641 N04350 10k
R_RC3     N06783 N24896 200
R_RC1     N05752 N08500 10k
R_RE3     N10496 N05176 20k
C_C2      N03641 N04350 13.8n
V_V2      0 N03641 5Vdc
C_C3      N05752 N24611 350n
V_V3      N08500 0 5Vdc
R_R1      VOUT 0 1.1k
R_R2      0 VOUT 1.1k
C_C5      N05176 VOUT 350n
Q_Q2      N24227 N24611 0 QbreakN
R_RC2     N24227 N24618 250
V_V4      N24618 0 5Vdc
R_RB32    N10496 N24227 10k
V_V6      0 N10496 5Vdc
R_RB2     N24618 N24611 100k
R_RB31    N24227 N24896 10k
R_Rs      VIN N001390 60

```

**** RESUMING BodeNew.cir ****

.END

**** 01/08/22 10:48:41 ***** PSpice 17.4.0 (Nov 2018) ***** ID# 0 *****

** Profile: "SCHEMATIC1-BodeNew" [
C:\Users\user\OneDrive\Desktop\Liron\Studies\PSpice\PSpiceAmplifierProject\Amplifier v2-PSpiceFi

**** BJT MODEL PARAMETERS

QbreakN

NPN

LEVEL 1

IS 1.000000E-12

BF 100

NF 1

BR 1

NR 1

ISS 0

RE 0
RC 6
CJE 0
VJE .75
CJC 0
VJC .75
MJC .33
XCJC 1
CJS 0
VJS .75
KF 0
AF 1
CN 2.42
D .87

**** 01/08/22 10:48:41 ***** PSpice 17.4.0 (Nov 2018) ***** ID# 0 *****

** Profile: "SCHEMATIC1-BodeNew" [
C:\Users\user\OneDrive\Desktop\Liron\Studies\PSpice\PspiceAmplifierProject\Amplifier v2-PSpiceFi

**** SMALL SIGNAL BIAS SOLUTION TEMPERATURE = 27.000 DEG C

NODE VOLTAGE NODE VOLTAGE NODE VOLTAGE NODE VOLTAGE

(VIN) 0.0000 (VOUT) 0.0000 (N03641) -5.0000 (N04350) -.5150

(N05176) 3.1946 (N05752) .5594 (N06783) 4.9189 (N08500) 5.0000

(N10496) -5.0000 (N24227) 3.7072 (N24611) .5745 (N24618) 5.0000

(N24896) 5.0000 (N001390) 0.0000

VOLTAGE SOURCE CURRENTS

NAME CURRENT

V_V1 0.000E+00

V_V5 -5.349E-04

V_V2 -4.485E-04

V_V3 -4.441E-04

V_V4 -5.215E-03

V_V6 -1.280E-03

TOTAL POWER DISSIPATION 3.96E-02 WATTS

**** 01/08/22 10:48:41 ***** PSpice 17.4.0 (Nov 2018) ***** ID# 0 *****

** Profile: "SCHEMATIC1-BodeNew" [
C:\Users\user\OneDrive\Desktop\Liron\Studies\PSpice\AmplifierProject\Amplifier v2-PSpiceFi

**** OPERATING POINT INFORMATION TEMPERATURE = 27.000 DEG C

**** BIPOLAR JUNCTION TRANSISTORS

| NAME | Q_Q1 | Q_Q3 | Q_Q2 |
|------|------|------|------|
|------|------|------|------|

| MODEL | QbreakN | QbreakN | QbreakN |
|-------|---------|---------|---------|
|-------|---------|---------|---------|

| | | | |
|----|----------|----------|----------|
| IB | 4.44E-06 | 4.06E-06 | 4.43E-05 |
|----|----------|----------|----------|

| | | | |
|----|----------|----------|----------|
| IC | 4.44E-04 | 4.06E-04 | 4.43E-03 |
|----|----------|----------|----------|

| | | | |
|-----|----------|----------|----------|
| VBE | 5.15E-01 | 5.13E-01 | 5.74E-01 |
|-----|----------|----------|----------|

| | | | |
|-----|-----------|-----------|-----------|
| VBC | -5.59E-01 | -1.21E+00 | -3.13E+00 |
|-----|-----------|-----------|-----------|

| | | | |
|-----|----------|----------|----------|
| VCE | 1.07E+00 | 1.72E+00 | 3.71E+00 |
|-----|----------|----------|----------|

| | | | |
|--------|----------|----------|----------|
| BETADC | 1.00E+02 | 1.00E+02 | 1.00E+02 |
|--------|----------|----------|----------|

| | | | |
|----|----------|----------|----------|
| GM | 1.72E-02 | 1.57E-02 | 1.71E-01 |
|----|----------|----------|----------|

| | | | |
|-----|----------|----------|----------|
| RPI | 5.82E+03 | 6.38E+03 | 5.84E+02 |
|-----|----------|----------|----------|

| | | | |
|----|----------|----------|----------|
| RX | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 |
|----|----------|----------|----------|

| | | | |
|----|----------|----------|----------|
| RO | 1.00E+12 | 1.00E+12 | 1.00E+12 |
|----|----------|----------|----------|

| | | | |
|-----|----------|----------|----------|
| CBE | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 |
|-----|----------|----------|----------|

| | | | |
|-----|----------|----------|----------|
| CBC | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 |
|-----|----------|----------|----------|

| | | | |
|-----|----------|----------|----------|
| CJS | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 |
|-----|----------|----------|----------|

| | | | |
|--------|----------|----------|----------|
| BETAAC | 1.00E+02 | 1.00E+02 | 1.00E+02 |
|--------|----------|----------|----------|

| | | | |
|----------|----------|----------|----------|
| CBX/CBX2 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 |
|----------|----------|----------|----------|

| | | | |
|--------|----------|----------|----------|
| FT/FT2 | 2.73E+17 | 2.50E+17 | 2.72E+18 |
|--------|----------|----------|----------|

JOB CONCLUDED

**** 01/08/22 10:48:41 ***** PSpice 17.4.0 (Nov 2018) ***** ID# 0 *****

** Profile: "SCHEMATIC1-BodeNew" [
C:\Users\user\OneDrive\Desktop\Liron\Studies\PSpice\AmplifierProject\Amplifier v2-PSpiceFi

**** JOB STATISTICS SUMMARY

Total job time (using Solver 1) = 1.00