

## דוח מכין 6

מגישים:

אור שאול

אריאל רנה

1. למעגלי Lumped יש רכיבים שניתן לתאר את ההשפעה החשמלית שלהם במעגל במונחים של המתח והזרם שלהם (שהם פונקציה של זמן ואינם תלויים בשינוי במיקום של היסודות). במעגלים מסוג Lumped הרכיבים מחוברים עם חוטים מוליכים בצורה מושלמת. כדי שרכיב ייחשב Lumped היחס בין  $d$  (אורך הרכיב) ל- $\lambda$  (אורך הגל) הוא:  $d \ll \lambda$  כך שהגל קבוע בערך בכל הרכיב.

בקו תמסורת, באלמנטים אלה (נגדים, סלילים וקבלים) ההתנגדות, הקיבול וההשראות שלו נמצאים על כל החומר באופן שרירותי ומפוזרים לכל אורך מעגל השידור והם הנקראים אלמנטים מבוזרים (distributed elements) ואינם ניתנים להפרדה. לכן, לכל חלק אינפיניטסימלי שלו יש עכבה משלו. זו הסיבה שאנחנו לא יכולים להשתמש בחוקי קירכהוף במעגלים אלו. עבור אלמנטים אלו, היחס בין  $d$  ל- $\lambda$  הוא:  $\lambda \leq d$  כך שערך הגל משתנה פעמים רבות לאורך קו התמסורת.

2. בשל התלות של distributed elements באורך הגל, נעשה שימוש במודל האלמנט המבוזר בעיקר בתדרים גבוהים מאוד. מודלים המתבססים על רכיבים מבוזרים אפשריים מעל 300 מגה-הרץ, והם גם הטכנולוגיה המועדפת בתדרי מיקרוגל מעל 1 גיגה-הרץ.

3. a. האימפדנס האופייני של קו התמסורת משתנה בהתאם לסוג החומר ממנו עשוי קו התמסורת, והוא מוגדר באופן הבא:

$$Z_c = \frac{V^+}{I^+} = -\frac{V^-}{I^-} = \sqrt{\frac{L'}{C'}}$$

כאשר (+) הוא המתח/הזרם המתקדמים בקו ו-(-) הוא המתח/הזרם החוזרים בקו.

b. מונח זה מתאר את קצב התקדמות הפאזה של הגל המייצג מתח או זרם, העובר בקווי ההולכה:

$$V_p = \sqrt{\frac{1}{L'C'}} = \sqrt{\frac{1}{\mu\epsilon}} = \lambda f$$

כאשר  $L'$  הוא השראות ו- $C'$  הוא הקיבול ליחידת אורך של החומר. ניתן לחשב אותו גם בתור  $V_{ph} = \omega/k$ , כאשר  $\omega$  הוא התדר הזוויתי של הגל ו- $k$  הוא מספר הגל.

c. Reflection – היחס בין הגל המתקדם לגל החוזר:

$$\Gamma = \frac{V^-}{V^+} = \frac{Z_L - Z_c}{Z_L + Z_c}$$

Transmission - יחס בין המתח שעובר בצומת לבין המתח המקורי שנכנס לצומת.

$$T = \frac{V_2^+}{V_1^+} = \frac{2 \cdot Z_L}{Z_L + Z_c}$$
$$T = 1 + \Gamma$$

4. כבל קואקסיאלי (Coaxial cable) הוא כבל שצורתו גליל, המכיל שתי שכבות מוליכות המבודדות זו מזו, כאשר אחת מהן מוקפת במבודד דיאלקטרי והשנייה שצורתה גליל אטום, מושחלת בתוך הראשונה. לשני הגלילים יש ציר משותף. את שתי השכבות עוטפת שכבת הגנה מפלסטיק.

5. כבלים קואקסיאליים עדיפים על כבלים רגילים בתדרים גבוהים במיוחד בגלל שהם תומכים בגלי TEM (Transverse Electro-Magnetic) הרבה יותר מאשר כבלים רגילים. בנוסף, כבלים קואקסיאליים מציעים אובדן נמוך יותר בהשוואה לזוג חוטים, במיוחד בתדרים גבוהים. זה אומר שאותות יכולים לעבור מרחקים רבים מבלי שתהיה אובדן משמעותי בכוח או באיכות, מה שהופך כבלים קואקסיאליים למתאימים יותר ליישומים בתדרים גבוהים.

6. להלן שלוש סיבות שבגללן עלול להיחלש האות בכבלים קואקסיאליים:

- אובדן התנגדות: גורם זה דומיננטי במיוחד בתדרים נמוכים ונגרם מתכונות ההתנגדות של הכבלים, והתוצאה היא בזבוז חשמל על חום. זה מושפע מהצורה והגודל של הכבלים.

- הפסד דיאלקטרי: כתוצאה מפיזור בחומר הדיאלקטרי של המבודד, גם השדה האלקטרומגנטי הופך לחום.

- אובדן קרינה: אובדן אנרגיה כתוצאה מקרינת הגל האלקטרומגנטי לסביבה, אם כי בכבלים קואקסיאליים גורם זה הרבה פחות דומיננטי בזכות השכבות המבודדות.

7.a. עבור הנתונים שבשאלה, נמצא את היחס בין הקוטר החיצוני לפנימי של השכבה הדיאלקטרית:

$$L = \frac{\mu_r}{2\pi} \ln\left(\frac{D}{d}\right), C = \frac{2\pi\epsilon_r}{\ln\left(\frac{D}{d}\right)}, Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}}$$

$$Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}} = \frac{\ln\left(\frac{D}{d}\right)}{2\pi} \sqrt{\frac{\mu_r}{\epsilon_r}} \rightarrow \frac{D}{d} = e^{2\pi Z_0 \sqrt{\frac{\epsilon_r}{\mu_r}}} = e^{2\pi \cdot 50 \cdot \sqrt{\frac{2.2}{1}}}$$

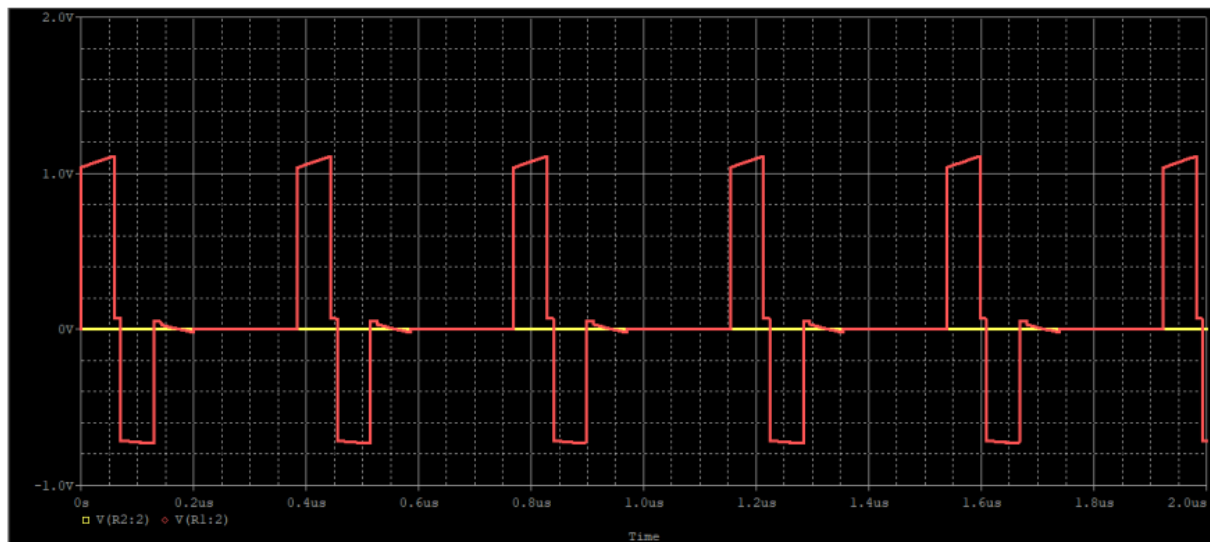
b.

$$V_p = \frac{1}{\sqrt{L'C'}} = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \epsilon_1 \mu_0 \mu_r}} = \frac{c}{\sqrt{2.2}} = 2.02 \cdot 10^8 \left[ \frac{m}{sec} \right]$$

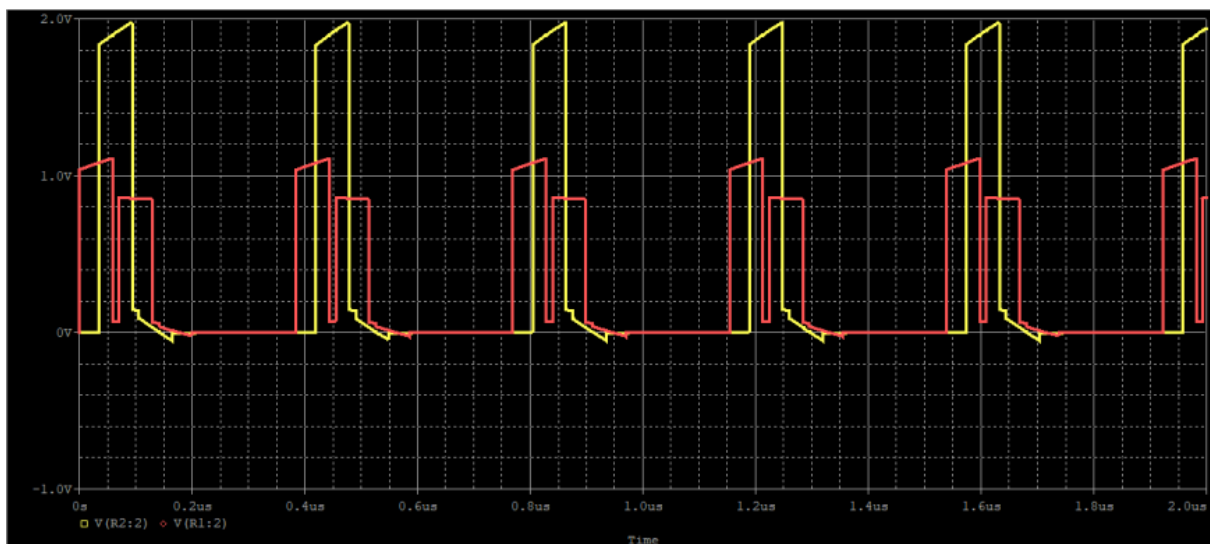
$$\tau_p = \frac{L}{V_{ph}} = 34.6 [nSec]$$

ס. עבור הערכים שבשאלה ועבור תדר של 2.6MHz ורוחב פולס 56ns נקבל את הגרפים הבאים:

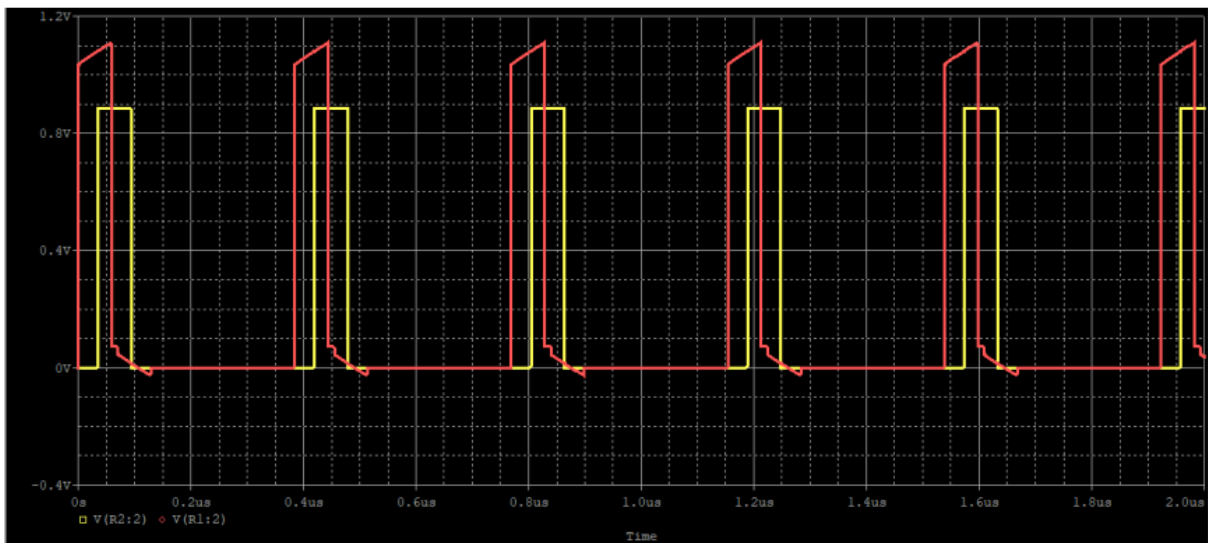
1. עבור קצר:



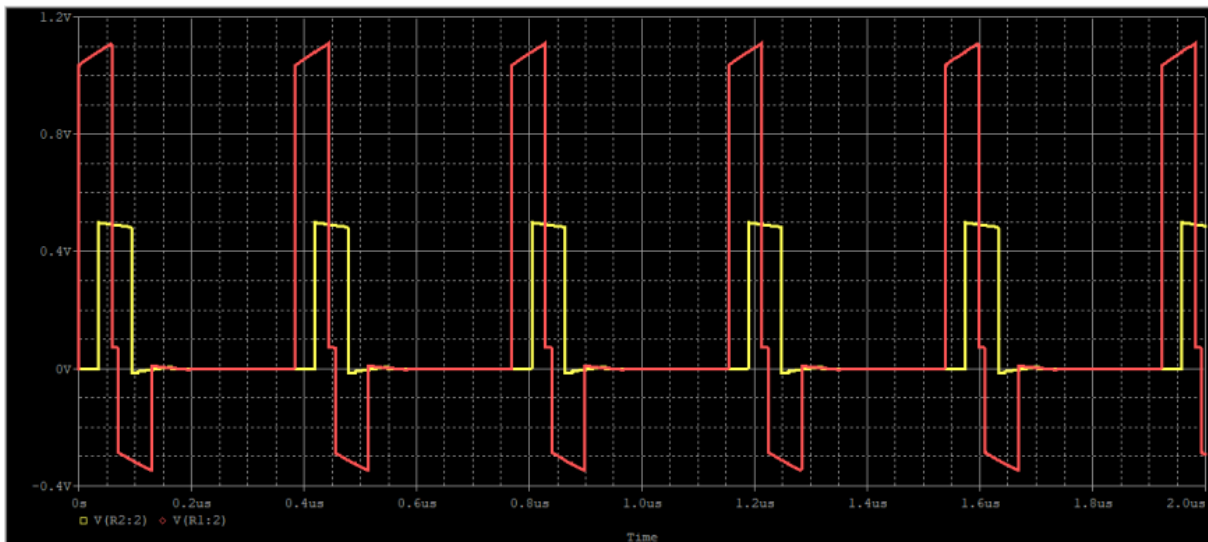
2. עבור נתק:



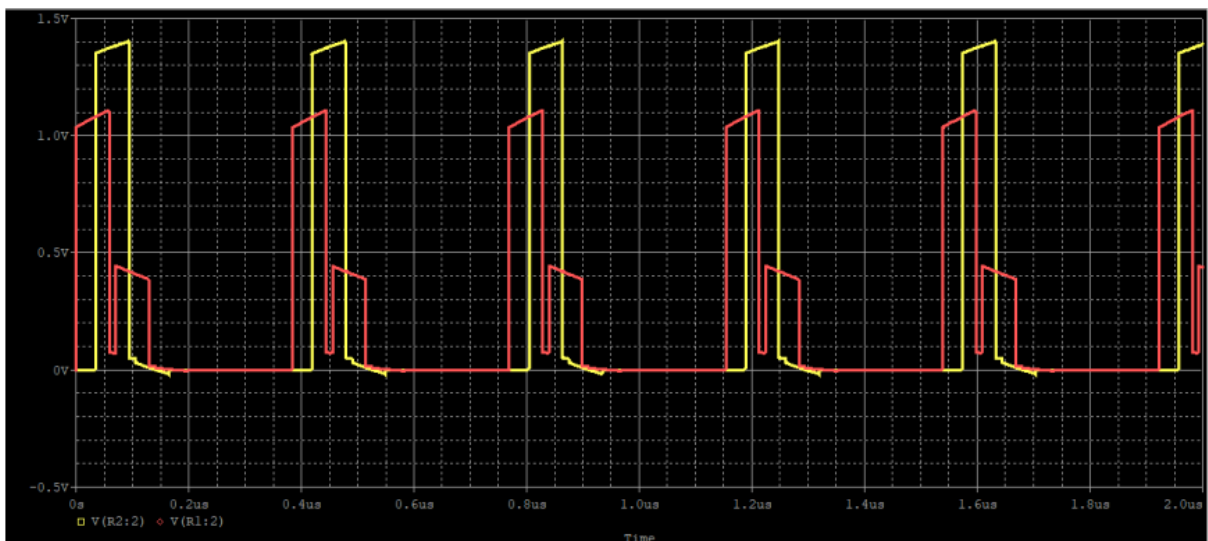
3. עבור  $R_L = 50 [\Omega]$ :



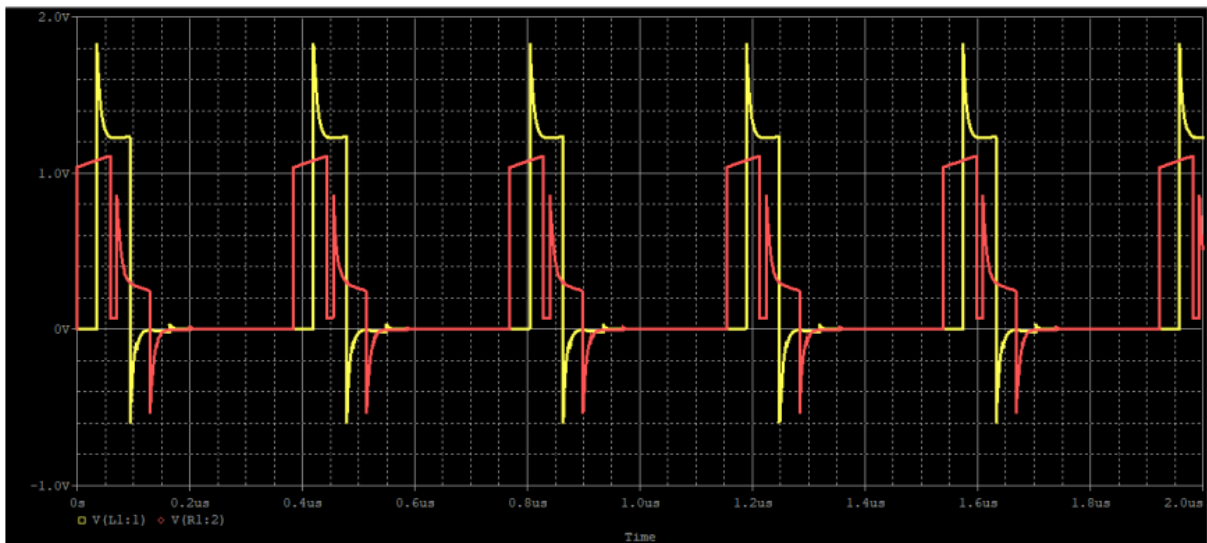
4. עבור  $R_L = 26 [\Omega]$ :



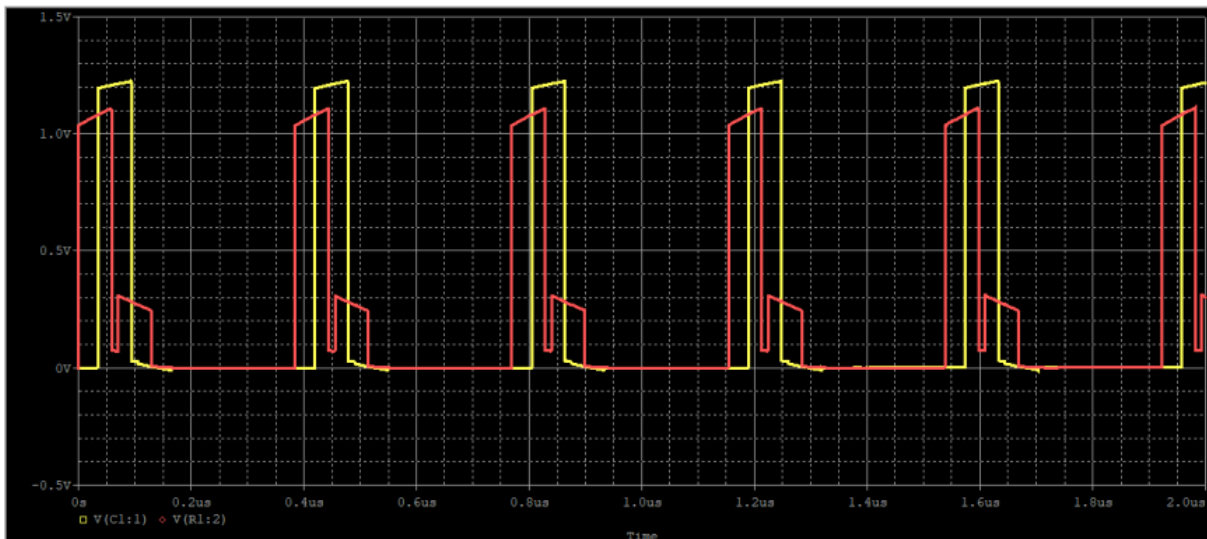
5. עבור  $R_L = 140 [\Omega]$ :



6. עבור  $L = 1 [\mu H], R = 100 [\Omega]$ :



7. עבור  $C = 1 [\mu F], R = 100 [\Omega]$ :



8. בחלק זה ננתח את המעגל באיור 2.

נחשב את התנגדות הכניסה  $R_{in}$

א. מתקיים תיאום עכבה ולכן:

$$\text{matched impedance} \rightarrow Z_{in1} = Z_{in2} = Z_{in3} = 50 \Omega$$

$$R_{in} = R_1 + \frac{(R_2 + Z_{in2}) \cdot (R_3 + Z_{in3})}{(R_2 + Z_{in2}) + (R_3 + Z_{in3})} = 50.5 \Omega$$

ב. נחשב את היחס בין ההספק הנכנס לבין ההספק שנופל על כל אחד מהענפים:

$$\frac{P_{in_{2,3}}}{P_{in}} = \frac{1}{2} \frac{1}{R_{in}} \cdot \frac{(R_2 + Z_{in2}) \cdot (R_3 + Z_{in3})}{(R_2 + Z_{in2}) + (R_3 + Z_{in3})} = 0.3317$$

כעת נחשב בתוך כל ענף את ההספק שנופל על קו התמסורת:

$$\frac{P_{T_{2,3}}}{P_{in_{2,3}}} = \frac{Z_{in_{2,3}}}{R_{2,3} + Z_{in_{2,3}}} = 0.7462$$

וכעת נכפול את התוצאות אחת בשנייה:

$$\frac{P_{T_{2,3}}}{P_{in}} = \frac{P_{in_{2,3}}}{P_{in}} \cdot \frac{P_{T_{2,3}}}{P_{in_{2,3}}} = 0.2475$$

9. כעת ננתח את המעגל המתואר באיור 3

נמצא את ערכי הנגדים  $R_1$  ו  $R_2$  עבורם נקבל ניחות של 3dB ואימפדנס של 50 ohm בכניסה :

$$R_1 = Z_0 \frac{N-1}{N+1}, R_2 = Z_0 \frac{2N}{N^2-1}, N = \frac{V_{in}}{V_{out}}, Z_0 = 50 \Omega$$

$$3dB \rightarrow N = \frac{V_{in}}{V_{out}} = \sqrt{2}$$

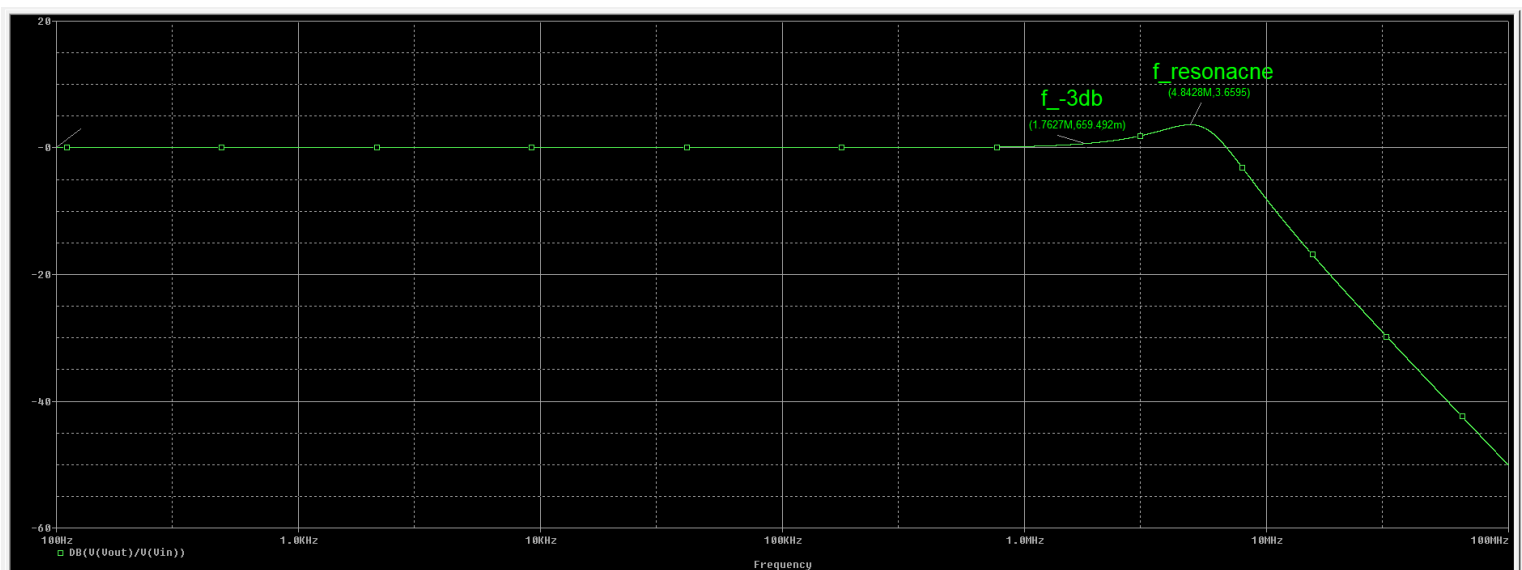
$$R_1 = Z_0 \frac{N-1}{N+1} = 50 \frac{\sqrt{2}-1}{\sqrt{2}+1} = 8.6 [\Omega], R_2 = Z_0 \frac{2N}{N^2-1} = 50 \frac{2 \cdot \sqrt{2}}{1} = 141.4 [\Omega]$$

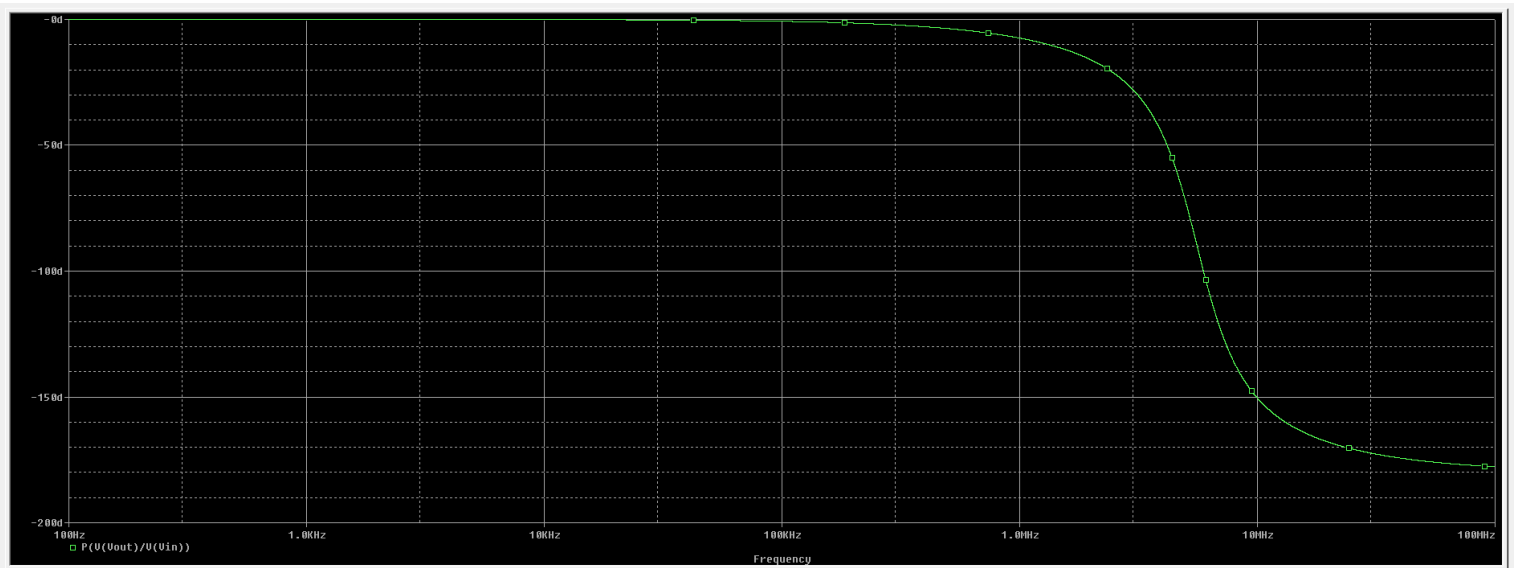
10. כעת ננתח את המעגל באיור 4:

כפי שכתוב בתמונה, זהו LPF, אך גם ניתן לראות זאת מכיוון שכאשר  $\omega \rightarrow 0$  אז הקבלים משמשים כנתק, והסליל כקצר, ולכן כל מתח המקור נופל על נגד העומס. אך כאשר  $\omega \rightarrow \infty$  הקבלים מתקצרים והסליל מתנתק ולכן המוצא מתקרב ל-0.

11. ישנו קוטב כפול, כיוון ששני הקבלים מתקצרים באותו תדר וכל אחד מהם תורם קוטב.

12. עבור התמסורת בשאלה, נבצע סימולציה:



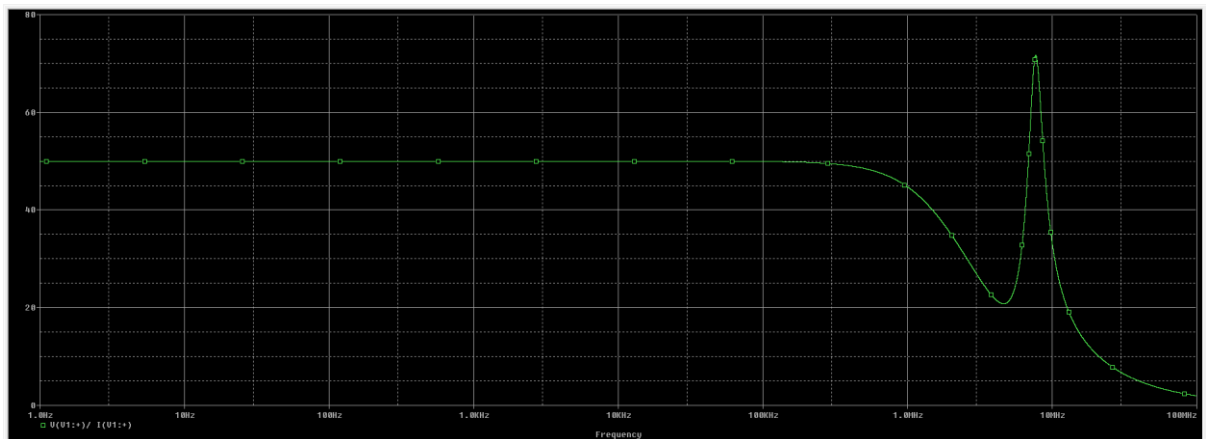


נשים לב כי אכן התקבל LPF כאשר גרף הפאזה שלו מתחיל ב0 ומסתיים ב-180, כלומר לתמסורת יש שני קטבים. נקבל את התדרים הבאים מהסימולציה:

$$f_{-3db} = 1.76 [MHz]$$

$$f_{resonance} = 4.84 [MHz]$$

.13



נחשב את אימפדנס הכניסה עבור תדרים נמוכים וגבוהים:

$$Z_{in} = \frac{1}{j\omega L} \parallel \left( j\omega L + \left( \frac{1}{j\omega L} \parallel R \right) \right) = \frac{j\omega L + R - \omega^2 RLC}{1 + j2\omega RC - j\omega^3 RLC^2 - \omega^2 LC}$$

$$Z_{in} \xrightarrow{\omega \rightarrow 0} R = 50 [\Omega]$$

$$Z_{in} \xrightarrow{\omega \rightarrow \infty} 0 [\Omega]$$

בתדרים נמוכים ( $\omega \rightarrow 0$ ) האימפדנס של הקבל שואף לאינסוף ולכן משמש כנתק, ובסליל האימפדנס שואף לאפס ומשמש כקצר. המעגל הופך להיות מעגל עם מקור ונגד בלבד R8.

בתדרים גבוהים ( $\omega \rightarrow \infty$ ) קורה המצב ההפוך ולכן אין זרם בנגד, הקבל משמש כקצר ולכן ההתנגדות היא אפס.

