

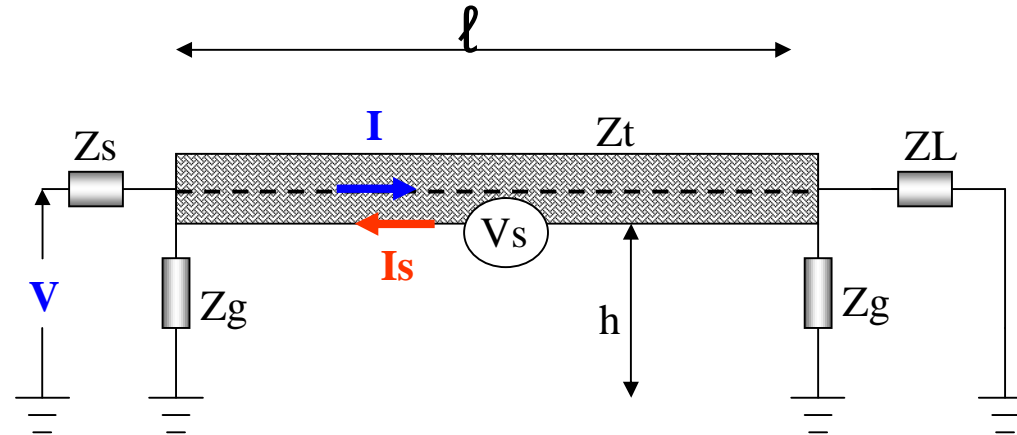
# עכבת תמסורת של כבלים מסוככים והשימוש בה להערכת פליטת קרינה

אורן הרטל

15.10.2020

# רקע

- תכונות סיכוך של כבל ניתנות על ידי עכבת תמסורת  $Z_t$



- היחס בין המתח במוליך הפנימי לזרם המושרה בסיכוך

$$Z_t = \frac{V}{I_s}, \Omega / m$$

- בספרות קיימת גישה של שימוש הפוך – המתח בסיכוך

$$V_S = I \cdot Z_t \cdot \mathbf{l} \quad \text{בגלל הזרם במיליך פנימי}$$

# האם הטענה הזו נכונה?

- בספרות קימת טענה שעכבת התמסורת הפיכה ולכן השימוש בה לחישוב הפליטה מהכבל, נכונה

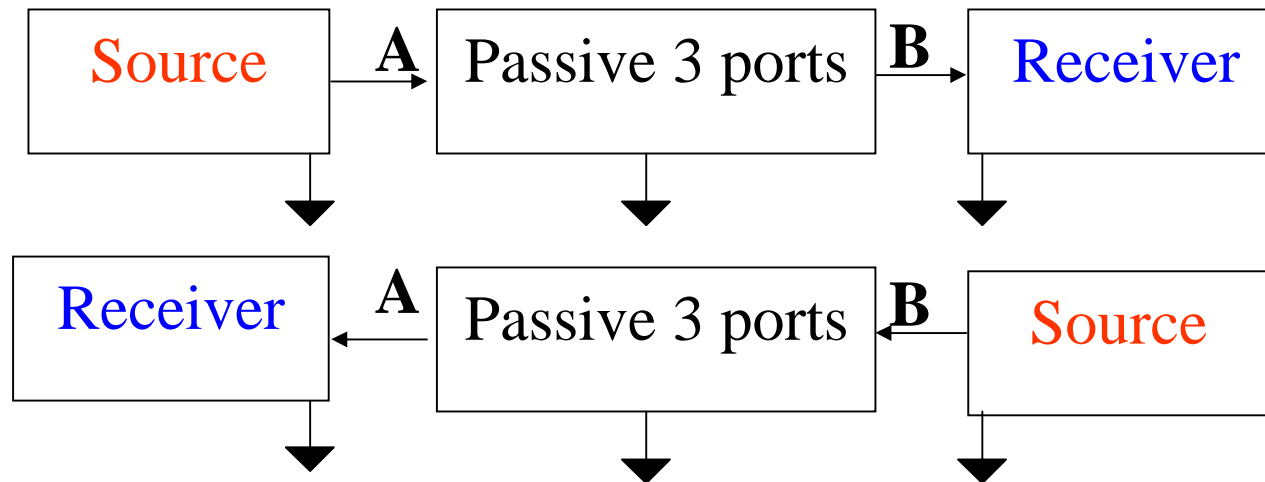
- חישוב של פליטה מכבל מסוכם הקצר ביחס לאורך הגל

$$E_{(mV/m)} = 1.3 f_{(MHz)}^2 \cdot A_{(cm^2)} \cdot \frac{I_{s(amps)}}{R_{(meters)}} \quad A_{cm^2} = l_{cm} \cdot h_{cm}$$

- מאוד נוח, האם נכון?

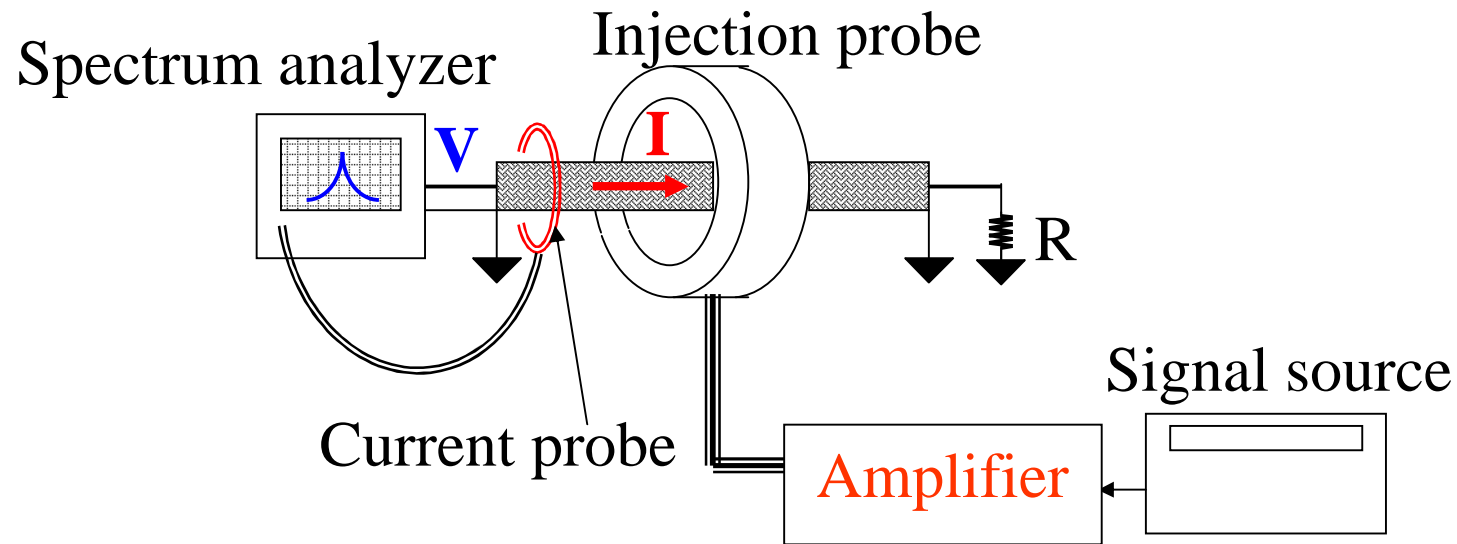
# בדיקת הפיכות עכבת התמסורת

- הגדרת הפיכות Reversibility – הפיכת המקור ומכשיר המדידה וקבלת אותן תוצאת – מוכר עבור אנטנות בשדה רחוק



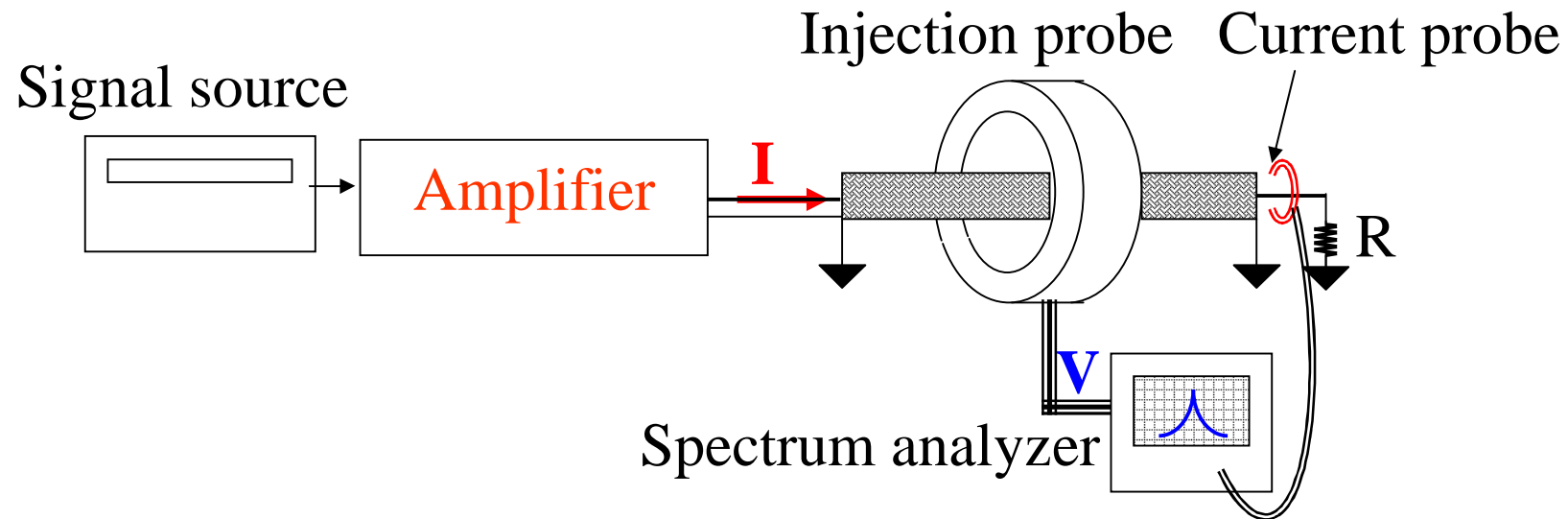
# בדיקה מעבדתית של ההפיכות

- מערך בדיקה בהזרקה על הסיכוך – הגדרה קלאסית



# בדיקת הפיכות עכבת תמסורת

- הזרקה על המוליך הפנימי – הכיוונים של כל המכשירים לא השתנו.



- תדרי הבדיקה: 0.1MHz, 1MHz, 10MHz, 100MHz ,
- התנגדויות עומס  $R$  : קצר,  $10k\Omega$  ו  $50\Omega$

# מערך המדידה



מקור אות

מגבר הספק

גשש הזרקת זרם

כבל RG142 2.5 מטר  
עכבת תמסורת

נתח ספקטרום

# תוצאות המדידה

הזרקה על הסיכוך. המתח הנמדד במוליך הפנימי			תדר
10kΩ	50Ω	0Ω	
dBuV	dBuV	dBuV	MHz
93	<b>104</b>	<b>109</b>	0.1
<b>83</b>	<b>122</b>	<b>129</b>	1
<b>91</b>	<b>111</b>	<b>133</b>	10
100	135	<b>140</b>	100

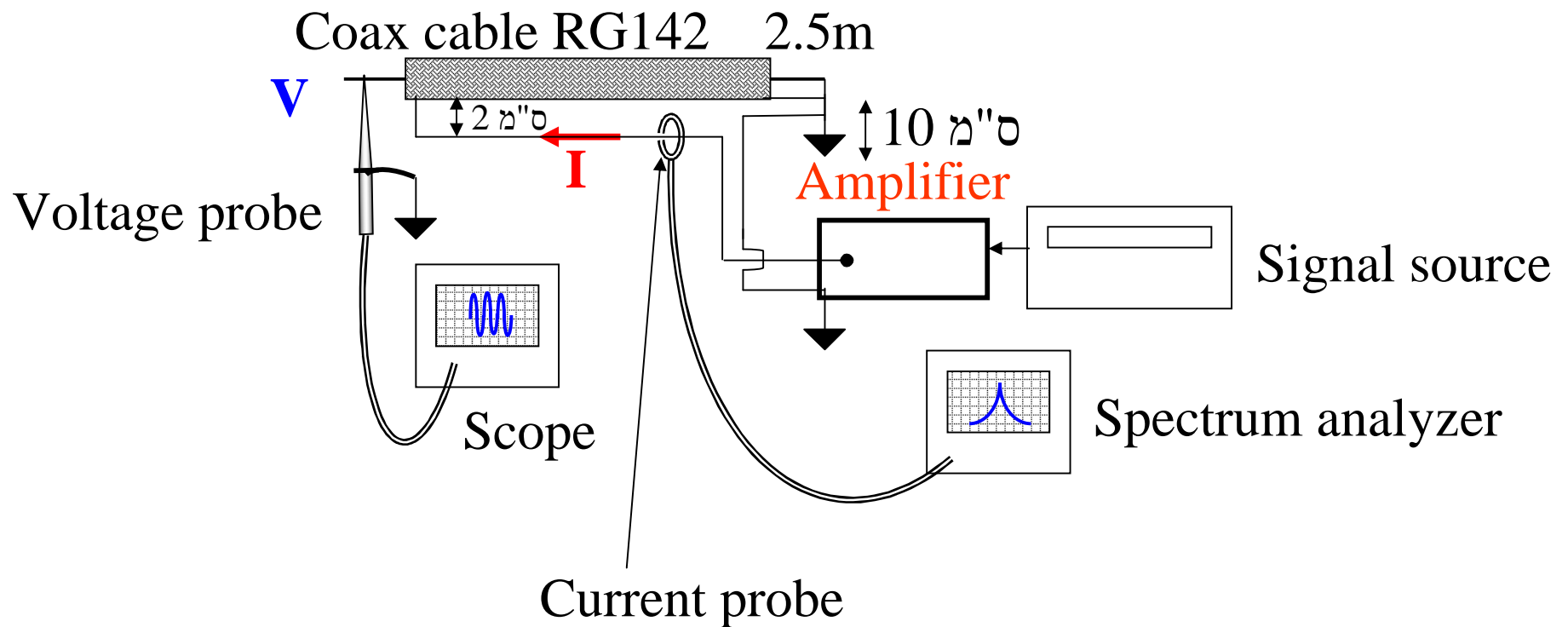
הזרקה במוליך. המתח הנמדד בגוש על הסיכוך.			תדר
10kΩ	50Ω	0Ω	
dBuV	dBuV	dBuV	MHz
63	<b>105</b>	<b>110</b>	0.1
<b>82</b>	<b>122</b>	<b>128</b>	1
<b>95</b>	<b>109</b>	<b>132</b>	10
122	144	<b>139</b>	100

קיים מתאם סביר - **75%** מהתוצאות בתחום **6dB**. קיימת הפיכות



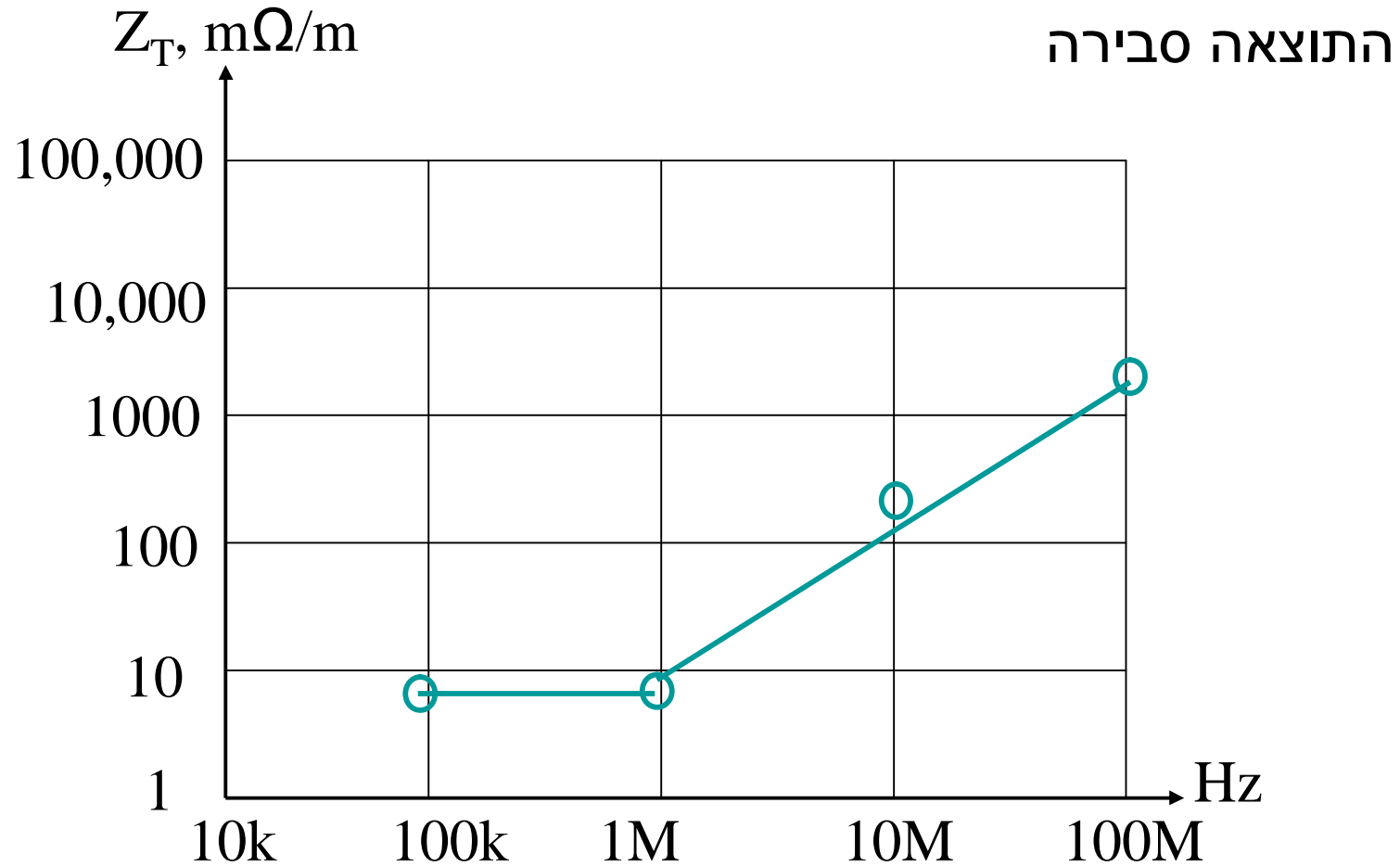
# בדיקת ההפיכות כשהסיכוך מוארק בקצה אחד

- מערך הבדיקה, בכיוון הקלאסי הזרקה מבחוץ פנימה



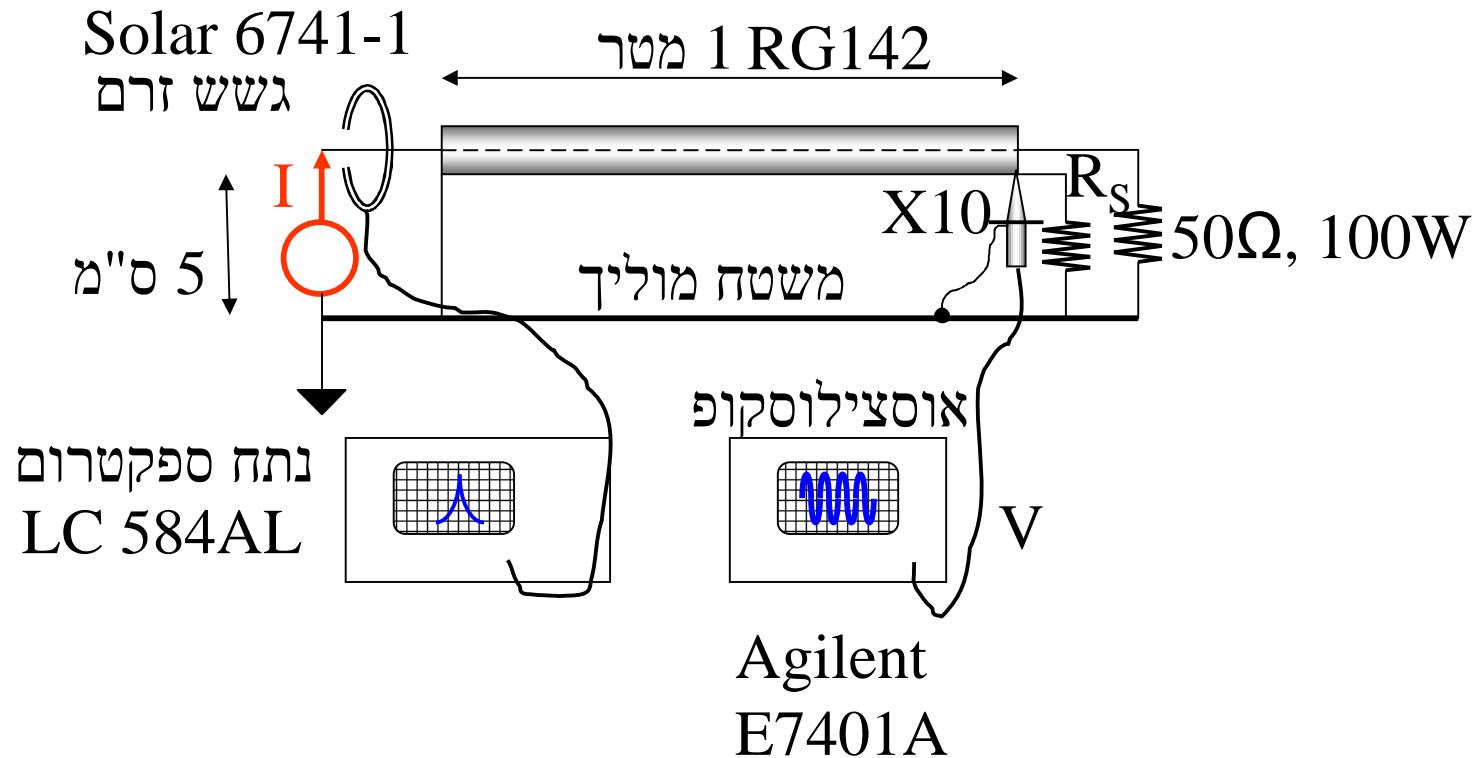
# תוצאות המדידה

## עכבת התמסורת – יחס בין המתח לזרם



# בדיקת הפיכות כשהסיכוך מוארק בקצה אחד

- בדיקה בהזרקה במוליך הפנימי – מבפנים החוצה



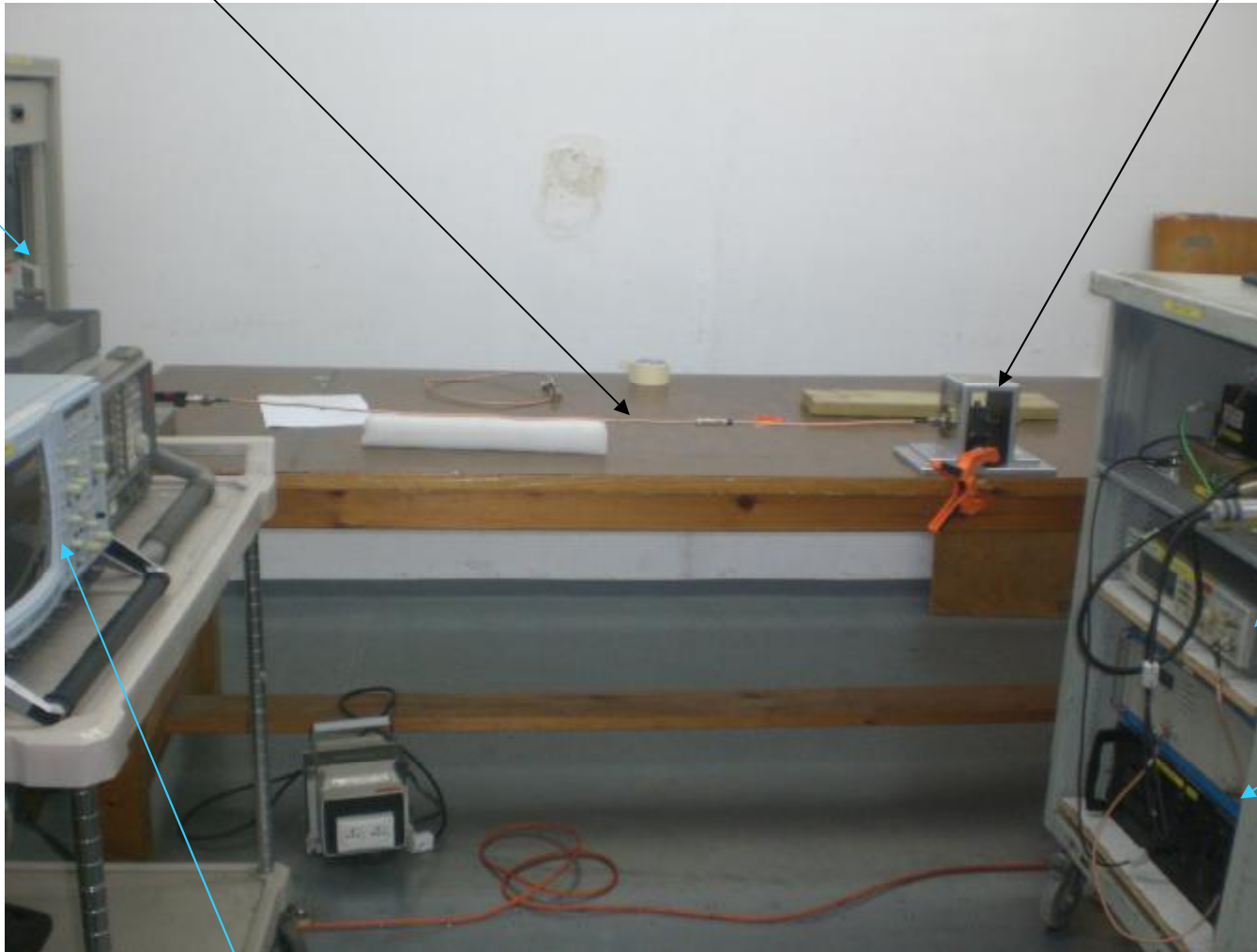
הערך של נגד העומס בסיכוך  $R_s$  היה 50Ω, 1kΩ, 10kΩ, 1MΩ

# מערך המדידה

כבל RG142 1 מטר

מתקן לגשש זרם

נתח  
ספקטרום



מקור אות

מגבר הספק

אוסצילוסקופ

עכבת תמסורת

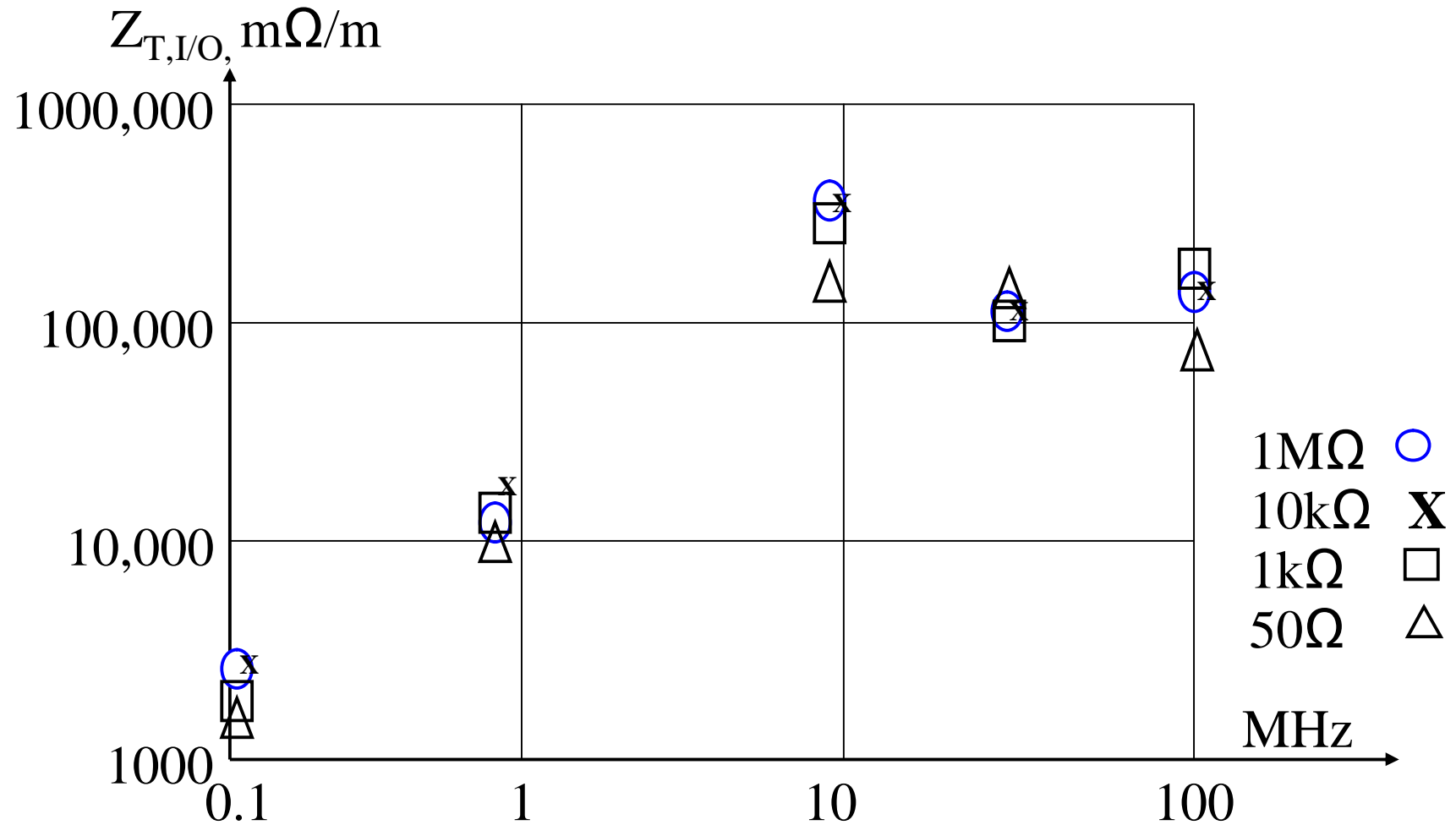
# תוצאות המדידות

יחס בין המתח על הסיכוך לזרם במוליך הפנימי

התנגדות בקצה הסיכוך לאדמה				
50Ω	1kΩ	10kΩ	1MΩ	תדר
$Z_{T,I/O}$	$Z_{T,I/O}$	$Z_{T,I/O}$	$Z_{T,I/O}$	
Ω	Ω	Ω	Ω	MHz
3.8	4.5	4.6	4.7	0.15
21	24	24.6	22	1
170	440	407	450	10
146	132	127	141	30
94	166	136	152	100

הערכים הרבה יותר גבוהים מאשר בהזרקה הקלאסית על הסיכוך

# התוצאות בצורה גרפית

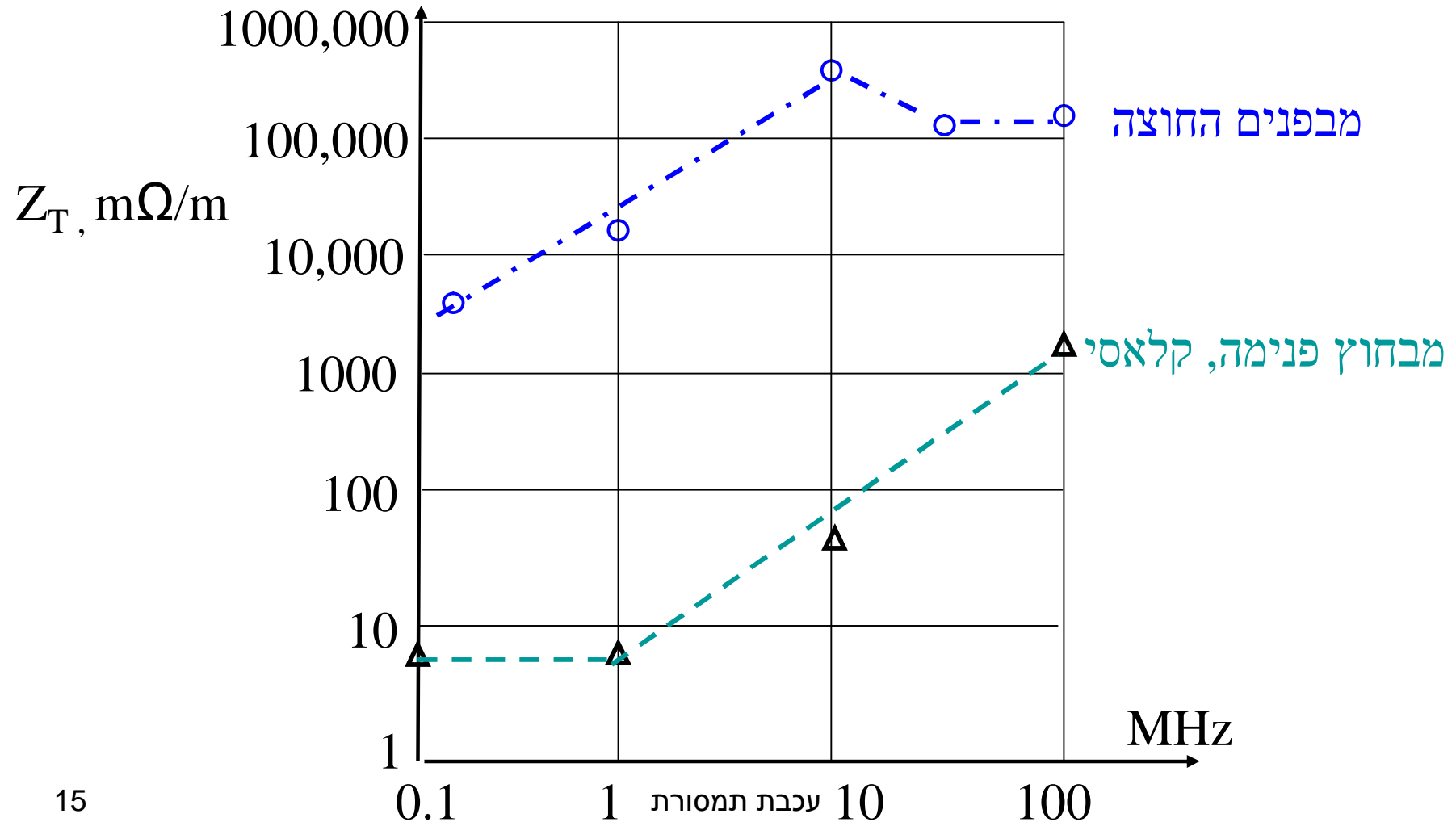


התוצאה לא רגישה להתנגדויות חיבור הסיכוך לאדמה בערכי התנגדות שנבדקו

# השוואה בין עכבת התמסורת

בשיטה הקלאסית – בהזרקה על הסיכוך

בשיטה ההפוכה – בהזרקה על המוליך הפנימי



# מסקנת ביניים

- יש הבדל גדול בין עכבת התמסורת הקלאסית לזו שבהזרקה על המוליך הפנימי, כשהסיכוך מוארק בקצה אחד
- לא ניתן להשתמש בהפיכות עכבת התמסורת להערכת קרינה מהכבל, כפשוטו.
- מה המנגנון הגורם לעכבת התמסורת הגבוהה במנגנון ההפוך?



# ניתוח המנגנון

- הצימוד המגנטי בין המוליך הפנימי לסיכור:

$$M = \frac{m}{2p} \cdot \ln\left(\frac{4H}{d_{SH}}\right), H/m$$

M ההשראות ההדדית בין המוליך הפנימי לסיכור H/m  
H גובה הסיכור ממשטח האדמה, כאן 5 ס"מ  
 $d_{SH}$  קוטר סיכור הכבל, כאן RG142,  $0.195'' = 5$  מ"מ  
 $\mu$  חדירות מגנטית של האוויר,  $4\pi \cdot 10^{-7}$  H/m

- ועבור כבל באורך מטר:

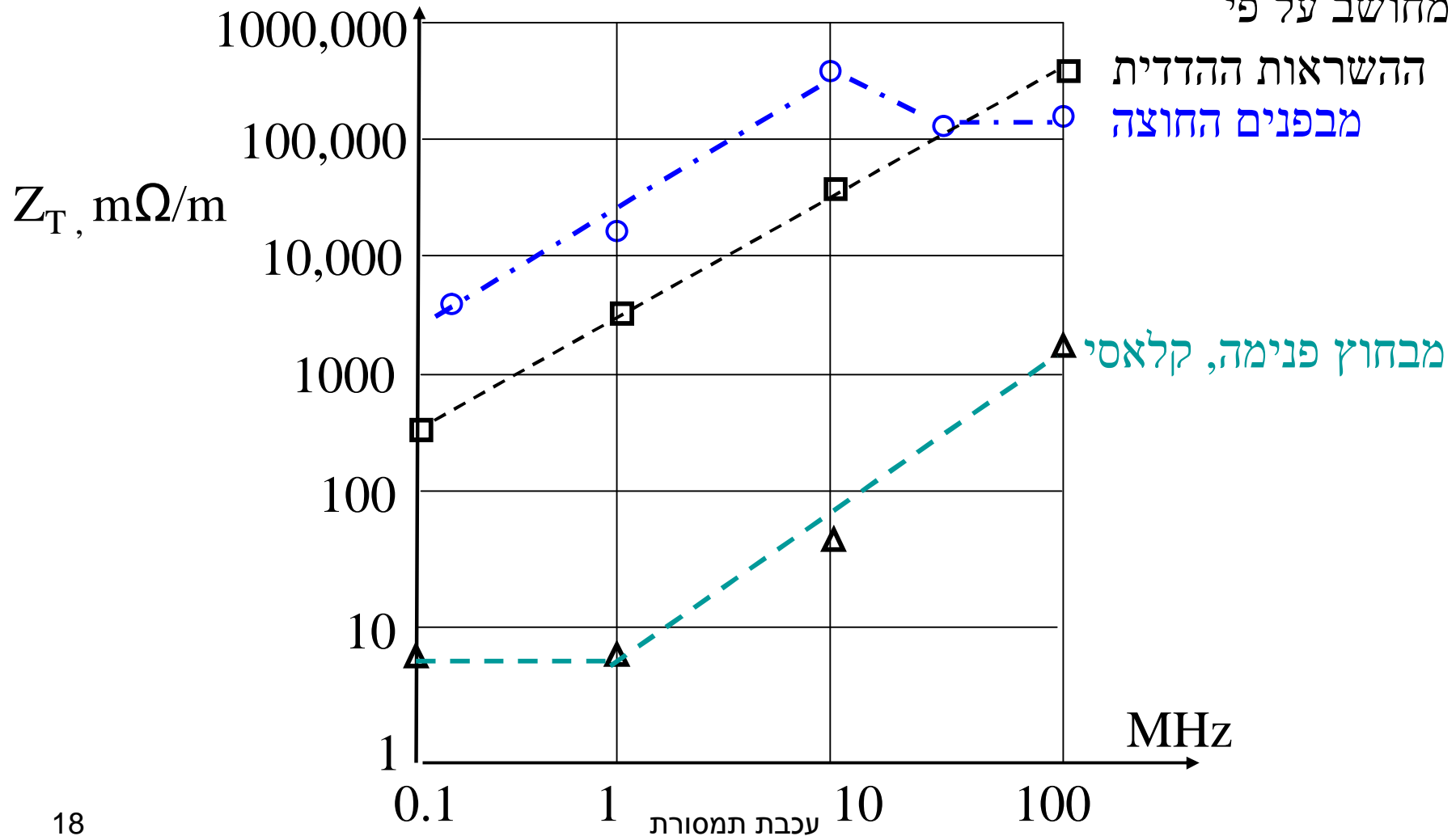
$$M = \frac{4p \cdot 10^{-7}}{2p} \cdot \ln\left(\frac{4.5}{0.5}\right) \cdot 1 = 0.74 \text{ mH}$$

- והמתח על הסיכור יהיה:

$$V_S = 2p \cdot f \cdot I \cdot M$$

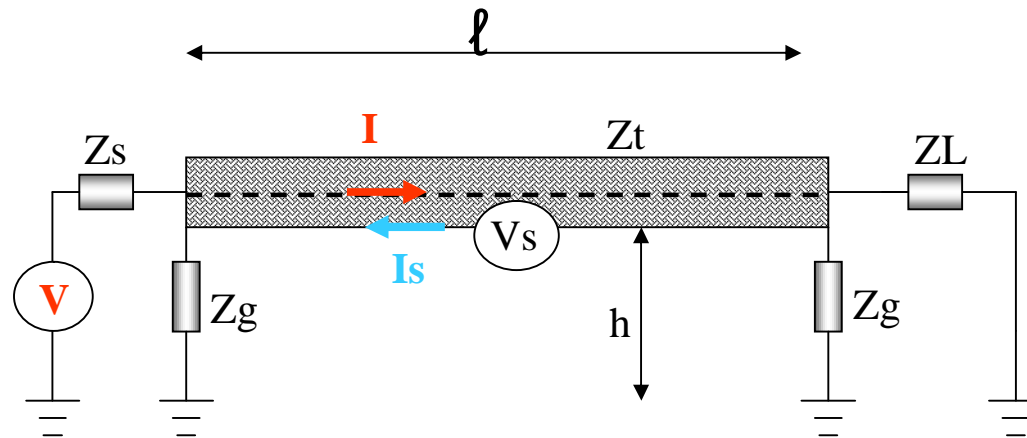
# השוואת הצימוד באמצעות השראות בין המוליך הפנימי לסיכוך, לתוצאות המדודות

מחושב על פי



# השלכות על שימוש בעכבת התמסורת להערכת הקרינה מכבל מסוכך

- הקרינה בגין הזרם במוליך של כבל מסוכך תלויה
  - בזרם בסיכוך בגלל עכבת התמסורת
  - בזרם בסיכוך עקב המנגנון ההשראותי התלוי בהפרש הזרם במוליך הפנימי לזרם החוזר בסיכוך



$$E_{(mV/m)} = 1.3 f_{(MHz)}^2 \cdot A_{(cm^2)} \cdot \frac{\Delta I_{(amps)}}{R_{(meters)}} \quad \Delta I = I - I_s$$

# הערכת הפרש הזרמים

- הזרם המושרה בסיכוך עקב ההשראות מהמוליך

$$I_{SH} = \frac{V_S}{Z_S} = \frac{j\omega \cdot M \cdot I}{R_{SH} + j\omega \cdot L_{SH} + R_G}$$

$R_G$  מסמל את סך העכבות  
בחיבור הסיכוך לארקה

- והפרש הזרמים עם הזרם במוליך הפנימי

$$\Delta I = I_1 \cdot \frac{R_{SH} + R_G}{R_{SH} + j\omega \cdot L_{SH} + R_G}$$

$M = L_{SH}$

# הערכת זרם הסיכוך בגלל עכבת התמסורת

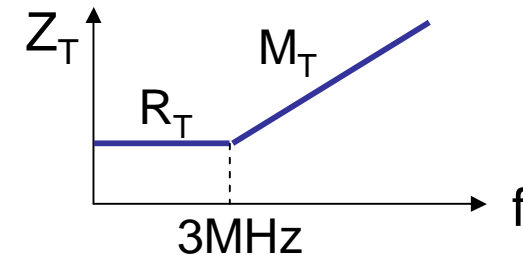
- הגדרה קלאסית של עכבת התמסורת

$$Z_T = R_T + j \cdot 2p \cdot f \cdot M_T, \Omega / m$$

- את השראות התמסורת נעריך מתוך השוואת עכבתה

להתנגדות בתדר הברך של הגרף  $2p \cdot f \cdot M_T = R_T = 10m\Omega / m$

$$M_T = \frac{R_T}{2p \cdot 3MHz} = \frac{0.01}{2p \cdot 3 \cdot 10^6} = 0.5nH / m$$

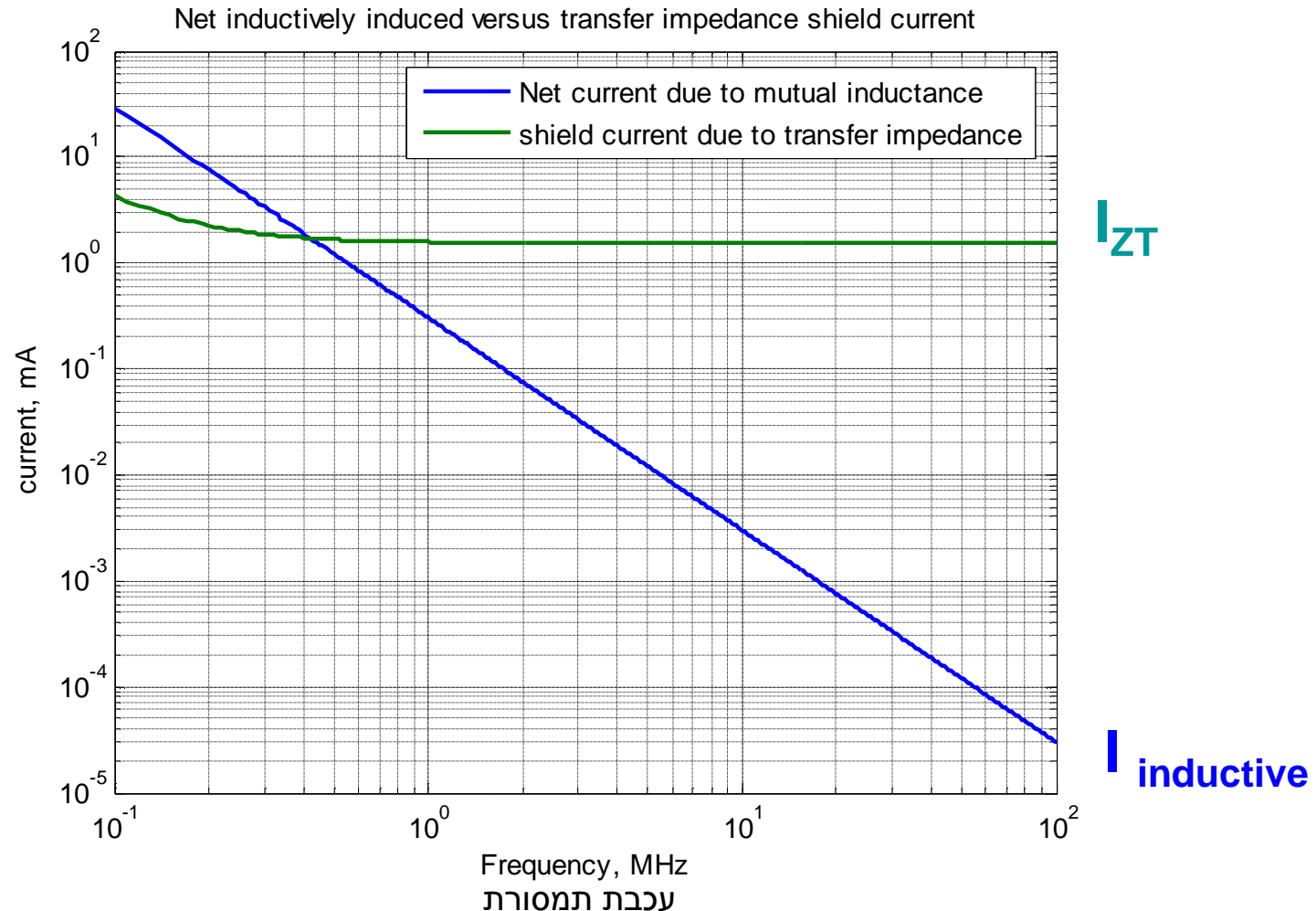


- המתח מזרים זרם דרך אותה עכבת הסיכוך כמו במקרה של ההשראות

$$I_{ZT,SH} = \frac{V_T}{Z_S} = \frac{Z_T \cdot I \cdot \mathbf{1}}{R_{SH} + j\omega \cdot L_{SH} + R_G}$$

# השוואה בין הזרמים עם חיבור אדמה תקני

תנאי החישוב: כבל באורך 1 מטר עם התנגדות תמסורת  $10\text{m}\Omega/\text{m}$ , בקוטר 4 ס"מ בגובה 10 ס"מ ממשטח אדמה, התנגדות חיבור סיכוך למארז עם  $15\text{m}\Omega$  בכל צד והתנגדות חיבור המארז למשטח עם  $5\text{m}\Omega$  בכל צד על פי Mil Std 464

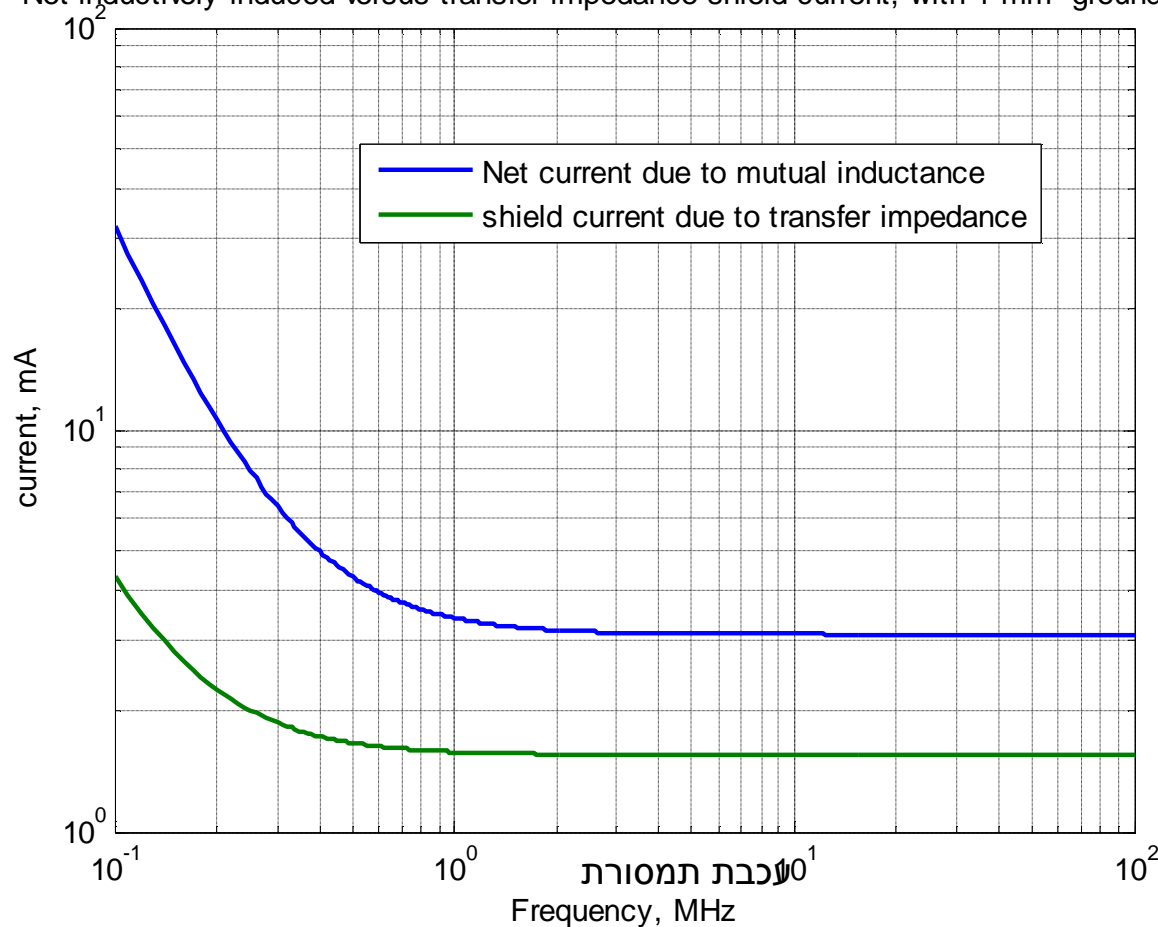


# השוואה בין הזרמים

עם חיבור אדמה טוב בצד אחד ובשני עם חוט 1 מ"מ  
 במקרה זה עכבת מסלול זרם הסיכוך תהיה בעלת עכבת:

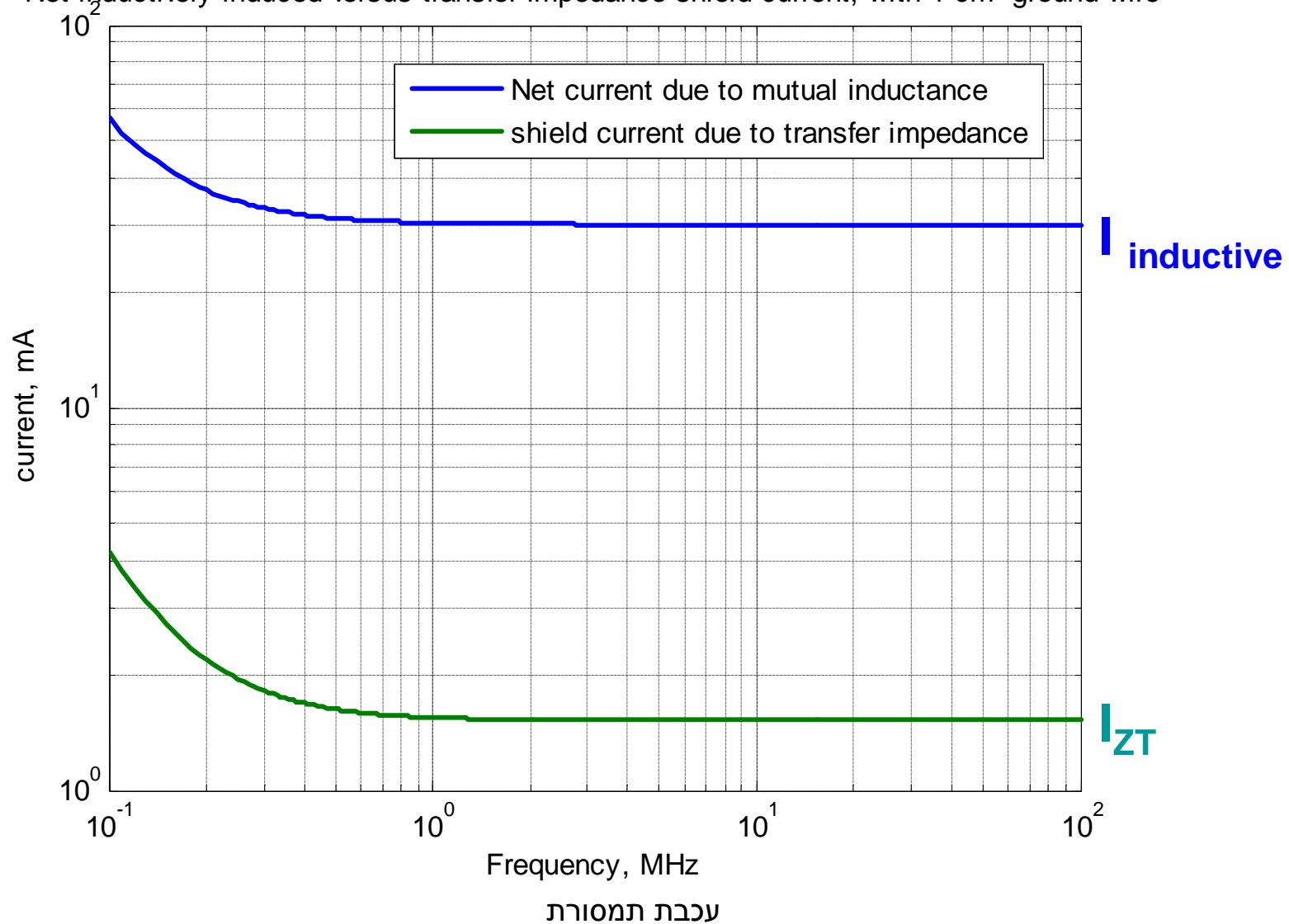
$$Z = R_G + R_{SH} \cdot \mathbf{l} + j \cdot \omega \cdot L_{SH} \cdot \mathbf{l} + j \cdot \omega \cdot \mathbf{l}_T \cdot 10^{-6}$$

Net inductively induced versus transfer impedance shield current, with 1 mm ground wire



# ועבור חוט ארקה באורך 1 ס"מ

Net inductively induced versus transfer impedance shield current, with 1 cm ground wire





# מסקנות

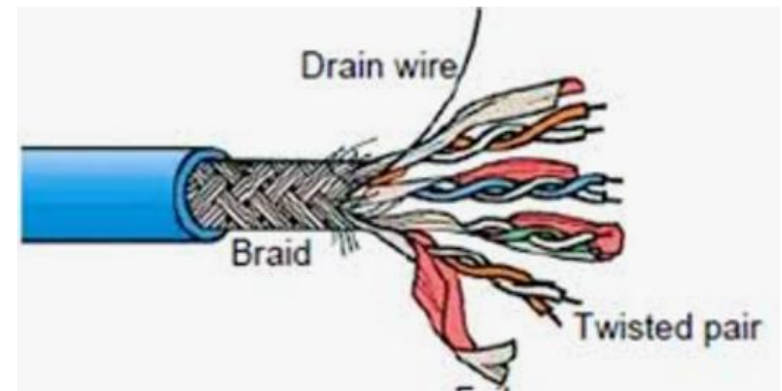
- עכבת התמסורת הפיכה
- ניתן להשתמש בה להערכת קרינה מכבל מסוכם אם עכבות חיבור הסיכוך לאדמה נמוכות
- אם זה לא המצב, ובפועל ובעיקר בציווד מסחרי, לא תמיד מתקיים התנאי הזה, עכבת התמסורת בלבד לא מספיקה לתאר את הפליטה בקרינה ויש להוסיף את המרכיב ההשראותי.



25



עכבת תמסורת



# תודה על תשומת הלב



אורן הרטל

[hartalo@bezeqint.net](mailto:hartalo@bezeqint.net)

04-9834-927