

מעבדה מתקדמת במיקרוגלים הולכת גלים

מאת: אוֹהֶד פּוֹרְמָן, 301658852

1 מבוא

בניסוי התבצעו מדידות של מאפייני גלבו מלכני WR – 90 עם מגוון עומסים בקצת, לחילוץ עומסים, תדר קטעון של הגלבו, אורכי גל. התוצאות שהתקבלו מעידות על שגיאות בניסוי ובשיטת העבודה עם מסקנות עיקריות על עבודה ברזולוציה טובה יותר וזמן ניסוי ארוכים יותר. מבחינת כמותית הגדים שנמדדו לא בתאמה לתיאריה ברוב המקרים, מבחינה אינטואטיבית נצפו התנагיות מתאימות לחלק מהעומסים תחת בחינה, ונמצפה תופעת רזוננס בסביבת תדר הקטעון של הגלבו.

2 מערכ הנסיוני/שיטה



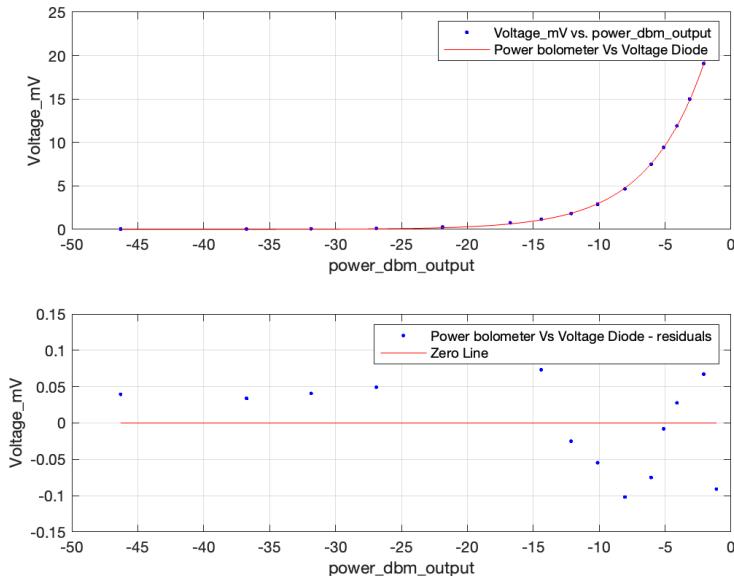
איור 1: מערכ הנסיוני

בניסוי מזינים מוליך גלים מלבני WR90 באמצעות מחולל אותן. באמצעות גלאי דiode נעה ומואצת דרך חרץ בగלבו מודדים מתחים המוצגים בסקופ לאותך הגלבו. עומסים מוטקנים בפתח הייציאה של הגלבו ונמדדים כל עומס בנפרד. עברו מדידת תדר הקטועון של הגלבו מבצעים מדידה בודדת בנקודת העוצמה המירבית עם שינוי תדר העירור עד לקבלת עוצמה שואפת לאפס.

את נתוני המתח בניסוי נמיר להספק באמצעות פונקציית התאמה שבוצעה בעיבוד הנתונים של ניסוי 2, עם תהליכי עיבוד נוספים של התאמת תכונות הגל המתקבלות, מציאת פיקים וחישובים בכל סימולציה על הגלבו בمطلوب.

3 עיבוד וניתוח תוצאות

**3.1 יש להציג את תמונת הגל העומד עבורי כל העומסים שנמדו כמפורט בסעיף 1.4.
יש לבצע תחילה חישוב להמרת הדiode להספק האות הנדגם, במתכונת הכלול
הנלמד בנסיוי מס' 2.**

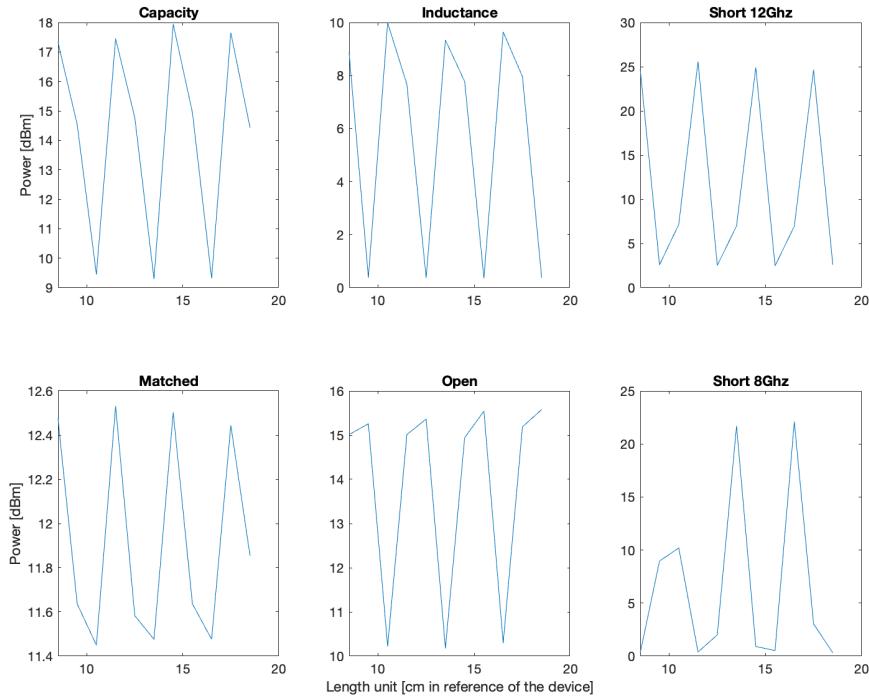


איור 2: התאמה מניסוי 2 עבורי התמרת הספק מתח

כאשר ההתאמה היא:

$$Y = a \cdot \exp(b \cdot x) ; \quad a = 30.78(30.55, 31.01) ; \quad b = 0.2316(0.2292, 0.2339)$$

באמצעות ההתאמה מתבצעת התאמת עבורי ההספק מתח (איור 3)

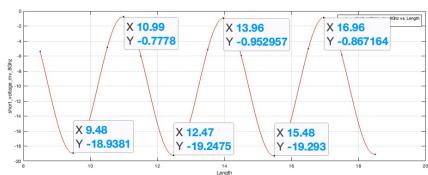


איור 3: תבניות הגלים ממדידות הניסוי

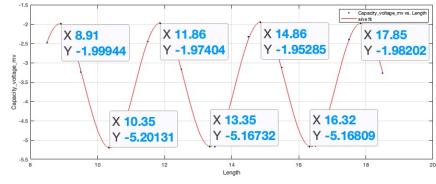
3.2 יש לחשב את אורך הגל בגלבו תוך השוואת תיאוריה בכל המקרים שנמצדו.

עבור קבלת רזולוציה מספקת למדידות אורכי הגל, מתבצעת התאמה של סכום פונקציות סינוס, מתוך הבנה פיזיקלית של התופעת הגלים המוחזרים בחלק מהكونפיגורציות. המדידות מתבצעות בטוחנים קבועים ולכט לא מתקיים הבדל ללא התאמה. על גבי ההתאמות המתקבלות יבוצע חיפוש נקודות קיצון ולקחתית ההפרש בין נקודות זהות.

מעבדה מתקדמת במקログלים



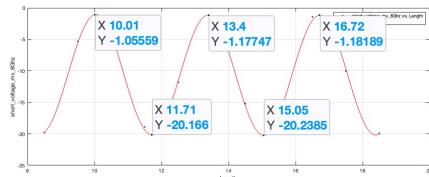
Inductance



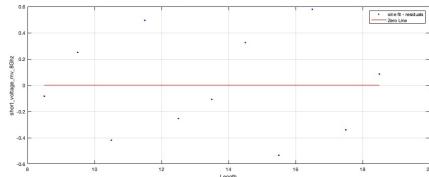
Capacity

(ב) השרatoi

(א) קיבולי

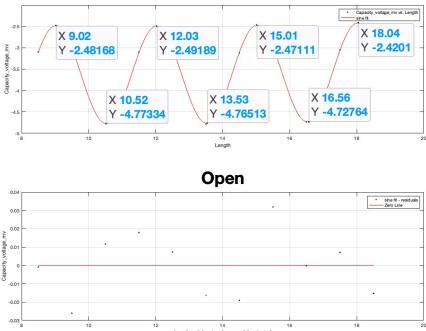


Short 8Ghz

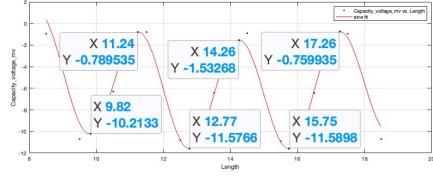


8Ghz בקזר

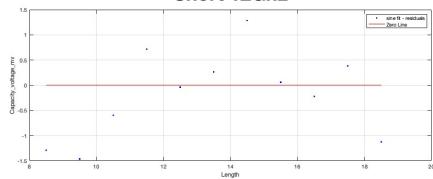
איור 4: התאמות גלים וסכומי גלים עבור עומסים שונים - חלק 1



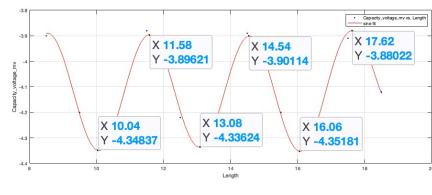
Open



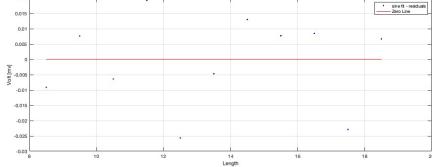
Short 12Ghz



Ghz 12 (e) קצר ב 12



Matched



(g) מתואם

איור 5: התאמות גלים וסכומי גלים עבור עומסים שונים - חלק 2

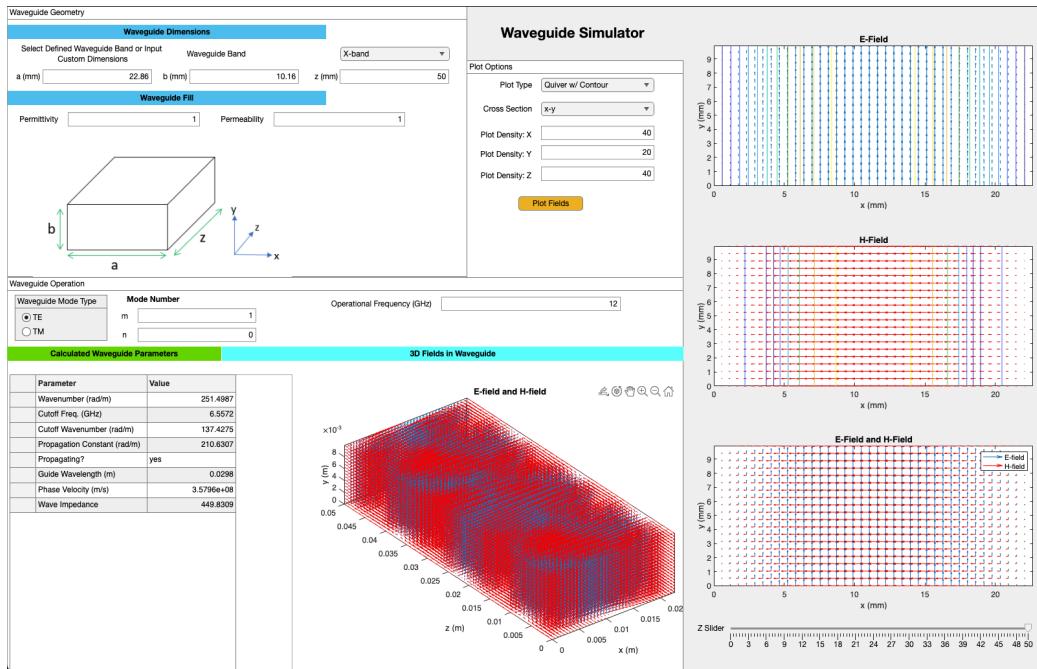
אלמנט	קיבול	השראות	קצר תדר גובה	קצר תדר נמוך	פתוח	מתואם
אורץ גל [cm]	2.982	2.993	2.988	3.35	3.012	3.015

טבלה 1: טבלת תוצאות אורכי גל

עבור חריצים קיבוליים ומשרנים משתמשים בקרוב עבור מרחק אפס מסוף הגלבו כפי שבוצע בניסוי, עבור קירוב זה אורץ הגל בגלו מתקבל עבור שני המקרים כד'

מעבדה מתקדמת במיקודים

גם לשאר העומסים.
נכצע חישוב תיאורטי עבור הגלבו הנמדד עם מידות של $a = 22.68$ $b = 9.93$ בעזרת
مطلوب:



איור 6: פיענוח תיאורטי של גלבו במימדי הניסוי

מתקובל אורץ גל בגלבו תיאורטי של $2.99[cm]$ עבור עירור של $12[Ghz]$ ועבורו עירור של $6.65[cm]$ מתקובל אורץ גל של $8[Ghz]$

3.3 יש לחשב את יחס הגלים העומדים SWR ואת מקדמי ההחזרה עבור העומסים שנמדזו, ולמצוא את עכבותיהם.

מתוך המדידות, נשתמש בהתאם עבור סכום גלים ונחלץ את מקדמי הגלים המתפשטים והמוחזרים.

$$\Gamma = \frac{|V_{\text{inc}}|}{|V_{\text{ref}}|} = \sqrt{\frac{|P_{\max}|}{|P_{\min}|}}$$

$$SWR = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|}$$

$$|Z_L| = Z_0 \cdot \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|}$$

$$Z_0 = \frac{k\eta}{\beta} = \begin{cases} 1.1875 \times 10^3 [\Omega], & f = 8 [Ghz]. \\ 541.1509 [\Omega], & f = 12 [Ghz]. \end{cases}$$

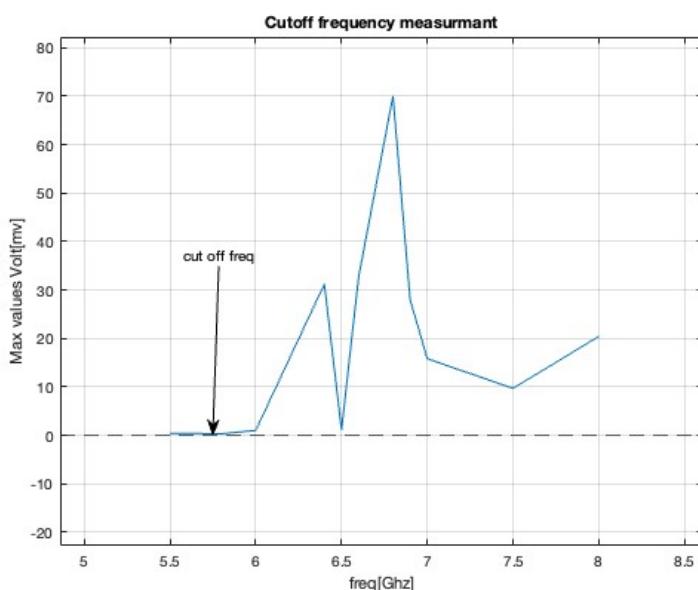
Γ	$Z_L[\Omega]$	VSWR	Element
0.16297	751.8751	1.3894	cap
0.68373	2880.8775	5.3236	ind
0.52614	1742.8522	3.2206	short12
0.78924	10081.5791	8.4895	short8
0.10613	669.6601	1.2375	open
0.022577	566.1507	1.0462	matched

3.4 יש לחשב את תדר הקטעון של אופן היסודי, ולהשווות לתיאוריה.

תיאורטיות מתקובלות תוצאות אייר 6:

$$f_c = \frac{c}{2} \sqrt{\left(\frac{m}{a}\right)^2 + \left(\frac{n}{b}\right)^2} = 6.6093[Ghz]$$

בניסוי נמדדנו ערכי מתח שיא כתלות בתדר עירור:



אייר 7: התאמת מתחי מקסימום לתדרי עירור שונים

התוצאה המתקבלת היא בקרוב $5.75[Ghz]$ מרחק גדול מההתוצאה התיאורטית, ניתן לראות קבלת תופעת רזוננס באיזור תדר הקטעון התיאורטי, והשלמה של הגרף ללא רזוננס מראה שבתדר הקטעון המתח שואף לאפס ומתאים לתיאוריה. תופעת הרזוננס באיזור תדר הקטעון גורמת לקבלת גל בעל אמפליטודה גבוהה בתדר זהה ומכך במדידה קבלת תדר קטעון נמוך יותר בקרוב לג'גה

4 מסקנות

התוצאות משקפות התאמה לא טוביה לתיאוריה בעיקר בקצרים ובגלו הפתוח. ההתאמות התגלו כמתאימות לסכומי גלים בכל המקרים וניתן לראות מההתאמות גלים מוחזרים גם במרקמים כמו של העומס המתואם ובמיוחד אמפליטודות גלים מוחזרים שאינם מתאימים לתיאוריה במונחי מקדם החזרה ויחס גלים עומדים.

בעיות המדידה בניסוי נובעות מדידת לקויה ותפעול לא מדויק של מערכת המדידה והניסוי.

הרזולוציה שנבחנה אינה מספקת ובעקבות כך גם מספר המדידות, נלקחה רזולוציה של סנטימטר, בהנתן אורך גל של איזור 3 סנטימטר זאת דגימה לא מוצלחת שהביאה לתוצאות שגויות, ואי זהוי אורך הגל עבר תדר נמוך.

הרזולוציה וזמן הניסוי צריכים להיות מתאימים למדידה ברזולוציה ודגימה מתאימה של הגל. ניתן להוריד אלמנטי מדידה או להעריך זמני ביצוע ניסוי על מנת לבצע אותו כראוי.

מדידת תדר הקטוען התבכעה באופן מניה את הדעת, תופעת הרזוננס שהתקבלה באיזור תדר הקטוען למשה הרатаה את הגבול של התדר זהה, מכיוון שתדר הקטוען האידיאלי הוא תדר שבו הגל אינו מועבר באופן סינגולרי במקרה האמתי נראה תופעות של דעיכה ורזוננסים.

5 נספחים

מצורף קובץ תיעוד עיבוד נתונים עם מדידות גולמיות



wave guide dimensions - a=22.68 b=9.93

Section 1 - loads, wave patterns

```

Length = [8.5,9.5,10.5,11.5,12.5,13.5,14.5,15.5,16.5,17.5,18.5];

Capacity_voltage_mv=[-2.48,-3.24,-5.1,-2.45,-3.17,-5.17,-2.33,-3.12,-5.16,-2.4,-3.27];
cap_power = Volt_to_power(Capacity_voltage_mv);

Inductance_voltage_mv = [-5.38,-19,-4.86,-6,-19.1,-5.15,-5.94,-19.3,-5.01,-5.84,-19.1]
Inductance_power = Volt_to_power(Inductance_voltage_mv);

short_voltage_mv = [-0.95,-10.7,-6.3,-0.8,-10.8,-6.41,-0.91,-10.9,-6.42,-0.96,-10.7];
short_power = Volt_to_power(short_voltage_mv);

short_voltage_mv_8Ghz=[-19.8,-5.33,-4.77,-18.9,-11.8,-1.51,-15.2,-17.6,-1.43,-10,-19.9
short8Ghz_power = Volt_to_power(short_voltage_mv_8Ghz);

```

```

Open_voltage_mv =[-3.1,-3.03,-4.76,-3.1,-3,-4.78,-3.12,-2.95,-4.73,-3.05,-2.94];
Open_power = Volt_to_power(Open_voltage_mv);

matched_voltage_mv =[-3.9,-4.2,-4.27,-3.88,-4.22,-4.26,-3.89,-4.2,-4.26,-3.91,-4.12];
matched_power = Volt_to_power(matched_voltage_mv);

T3 = table(Length', Capacity_voltage_mv', Inductance_voltage_mv', short_voltage_mv',...
    short_voltage_mv_8Ghz', Open_voltage_mv', matched_voltage_mv', 'VariableNames', {'Length',...
    'Inductance_voltage_mv', 'short_voltage_mv', 'short_voltage_mv_8Ghz', 'Open_voltage_mv',...
    ...

```

T3 = 11x7 table

	Length	Capacity_voltage_mv	Inductance_voltage_mv	short_voltage_mv
1	8.5000	-2.4800	-5.3800	-0.9500
2	9.5000	-3.2400	-19	-10.7000
3	10.5000	-5.1000	-4.8600	-6.3000
4	11.5000	-2.4500	-6	-0.8000
5	12.5000	-3.1700	-19.1000	-10.8000
6	13.5000	-5.1700	-5.1500	-6.4100
7	14.5000	-2.3300	-5.9400	-0.9100
8	15.5000	-3.1200	-19.3000	-10.9000
9	16.5000	-5.1600	-5.0100	-6.4200
10	17.5000	-2.4000	-5.8400	-0.9600
11	18.5000	-3.2700	-19.1000	-10.7000

```

T3_power = table(Length', cap_power', Inductance_power', short_power',...
    short8Ghz_power', Open_power', matched_power', 'VariableNames', {'Length', 'Capacity',...
    'Inductance_power_dBm', 'short_power_dBm', 'short_power_dBm_8Ghz', 'Open_power_dBm', '...

```

T3_power = 11x7 table

	Length	Capacity_power_dBm	Inductance_power_dBm	short_power_dBm
1	8.5000	17.3310	8.8539	24.7010
2	9.5000	14.5339	0.3777	2.5825
3	10.5000	9.4471	9.9870	7.1548
4	11.5000	17.4518	7.6696	25.5742
5	12.5000	14.7714	0.3691	2.5233
6	13.5000	9.2952	9.3383	6.9748
7	14.5000	17.9437	7.7769	24.9309
8	15.5000	14.9435	0.3524	2.4656

	Length	Capacity_power_dBm	Inductance_power_dBm	short_power_dBm
9	16.5000	9.3167	9.6461	6.9587
10	17.5000	17.6551	7.9591	24.6439
11	18.5000	14.4332	0.3691	2.5825

% Calculate the values

```
VSWR_cap = sqrt(max(T3_power{:, 'Capacity_power_dBm'}))/min(T3_power{:, 'Capacity_power_dBm'})
VSWR_ind = sqrt(max(T3_power{:, 'Inductance_power_dBm'}))/min(T3_power{:, 'Inductance_power_dBm'})
VSWR_short12 = sqrt(max(T3_power{:, 'short_power_dBm'}))/min(T3_power{:, 'short_power_dBm'})
VSWR_short8 = sqrt(max(T3_power{:, 'short_power_dBm_8Ghz'}))/min(T3_power{:, 'short_power_dBm_8Ghz'})
VSWR_open = sqrt(max(T3_power{:, 'Open_power_dBm'}))/min(T3_power{:, 'Open_power_dBm'}));
VSWR_matched = sqrt(max(T3_power{:, 'matched_power_dBm'}))/min(T3_power{:, 'matched_power_dBm'})
Z0_8Ghz = 120*pi/(1-(6.6093/8)^2)
```

Z0_8Ghz = 1.1875e+03

Z0_12Ghz = 120*pi/(1-(6.6093/12)^2)

Z0_12Ghz = 541.1509

```
gamma_cap = (VSWR_cap-1)/(VSWR_cap+1);
gamma_ind = (VSWR_ind-1)/(VSWR_ind+1);
gamma_short12 = (VSWR_short12-1)/(VSWR_short12+1);
gamma_short8 = (VSWR_short8-1)/(VSWR_short8+1);
gamma_open = (VSWR_open-1)/(VSWR_open+1);
gamma_matched = (VSWR_matched-1)/(VSWR_matched+1);
ZL_cap = (1+gamma_cap)/(1-gamma_cap)*Z0_12Ghz;
ZL_ind = (1+gamma_ind)/(1-gamma_ind)*Z0_12Ghz;
ZL_short12 = (1+gamma_short12)/(1-gamma_short12)*Z0_12Ghz;
ZL_short8 = (1+gamma_short8)/(1-gamma_short8)*Z0_8Ghz;
ZL_open = (1+gamma_open)/(1-gamma_open)*Z0_12Ghz;
ZL_matched = (1+gamma_matched)/(1-gamma_matched)*Z0_12Ghz;
```

% Create a table with the calculated values

```
T = table({'cap'; 'ind'; 'short12'; 'short8'; 'open'; 'matched'}, ...
[VSWR_cap; VSWR_ind; VSWR_short12; VSWR_short8; VSWR_open; VSWR_matched], ...
[ZL_cap; ZL_ind; ZL_short12; ZL_short8; ZL_open; ZL_matched], ...
[gamma_cap; gamma_ind; gamma_short12; gamma_short8; gamma_open; gamma_matched], ...
'VariableNames',{'Element', 'VSWR', 'ZL', 'Gamma'})
```

T = 6x4 table

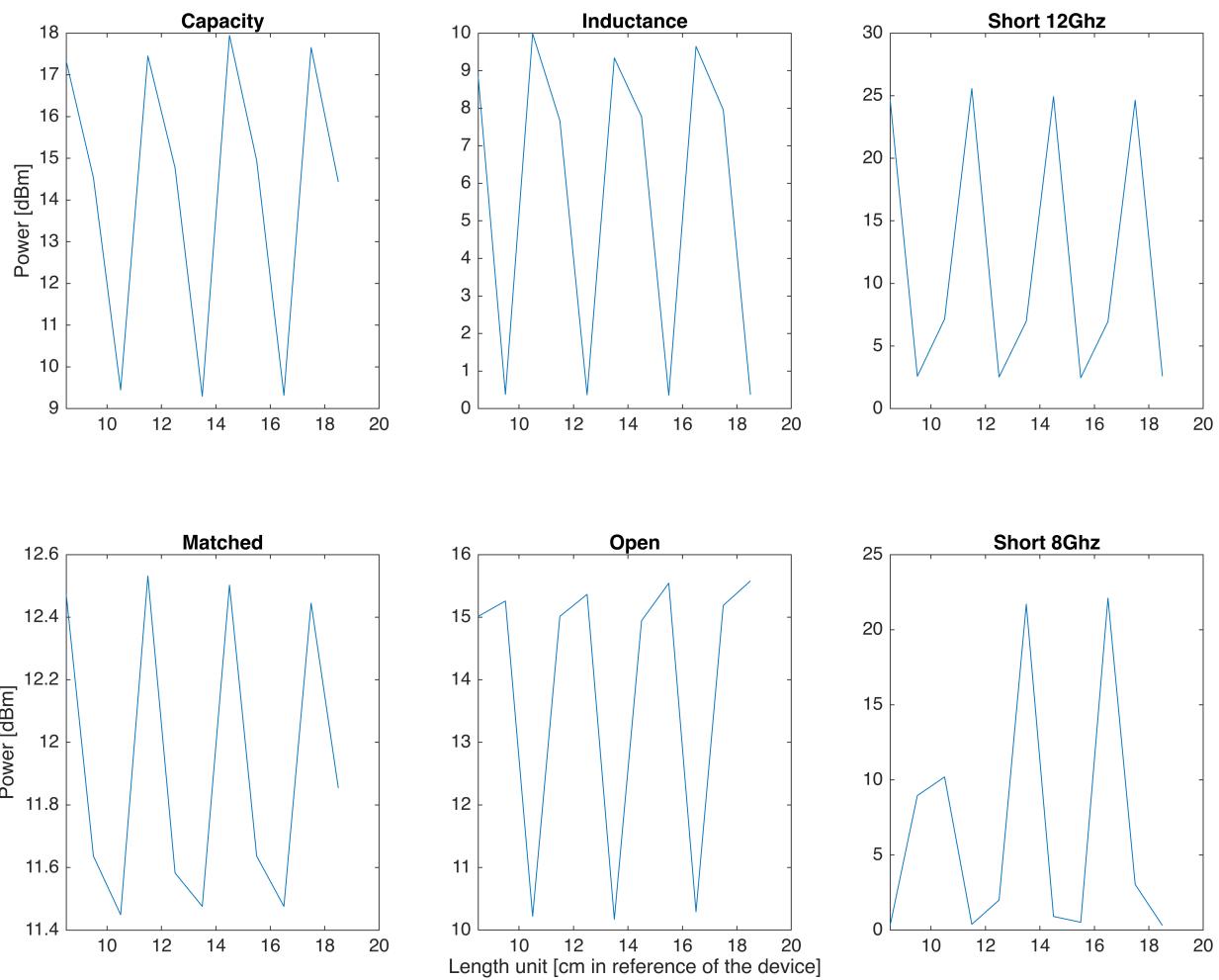
	Element	VSWR	ZL	Gamma
1	'cap'	1.3894	751.8751	0.1630
2	'ind'	5.3236	2.8809e+03	0.6837
3	'short12'	3.2206	1.7429e+03	0.5261
4	'short8'	8.4895	1.0082e+04	0.7892
5	'open'	1.2375	669.6601	0.1061

	Element	VSWR	ZL	Gamma
6	'matched'	1.0462	566.1507	0.0226

```
table2latex(T, 'result_waves')
```

```
% Set the figure size
fig = figure('Position', [100 100 800 600]);

% Create subplots
subplot(2,3,1);
plot(Length,cap_power)
title('Capacity')
ylabel('Power [dBm]')
subplot(2,3,2);
plot(Length,Inductance_power)
title('Inductance')
subplot(2,3,3);
plot(Length,short_power)
title('Short 12Ghz')
subplot(2,3,4);
plot(Length,matched_power)
title('Matched')
ylabel('Power [dBm]')
subplot(2,3,5);
plot(Length,Open_power)
title('Open')
xlabel('Length unit [cm in reference of the device]')
subplot(2,3,6);
plot(Length,short8Ghz_power)
title('Short 8Ghz')
```



Fit

```

figure;
Sine_sum_fit(Length,abs(Capacity_voltage_mv))

ans =
General model Sin3:
ans(x) =
    a1*sin(b1*x+c1) + a2*sin(b2*x+c2) + a3*sin(b3*x+c3)
Coefficients (with 95% confidence bounds):
a1 =      -5.239  (-7191, 7180)
b1 =      0.06243  (-92.43, 92.55)
c1 =      3.416  (-1477, 1484)
a2 =     -1.545  (-7274, 7270)
b2 =      0.1498  (-159.9, 160.2)
c2 =      5.108  (-2621, 2631)
a3 =     -1.633  (-1.816, -1.45)
b3 =      2.095  (2.056, 2.135)
c3 =      8.119  (7.588, 8.65)

```

```
cap_coe = 1.545/5.239
```

```
cap_coe = 0.2949
```

```
SWR_cap=(1+cap_coe)/(1-cap_coe)
```

```
SWR_cap = 1.8365
```

```
title('Capacity')
ylabel('Volt [mv]')
figure;
```

```
Sine_sum_fit(Length,abs(Inductance_voltage_mv))
```

```
ans =
General model Sin3:
ans(x) =
    a1*sin(b1*x+c1) + a2*sin(b2*x+c2) + a3*sin(b3*x+c3)
Coefficients (with 95% confidence bounds):
a1 =      0.1212  (-0.007174, 0.2495)
b1 =      2.748   (2.35, 3.146)
c1 =     -29.83  (-35.37, -24.29)
a2 =      10.13   (10.03, 10.22)
b2 =      0.0548  (0.03893, 0.07066)
c2 =      7.072   (6.87, 7.275)
a3 =      9.167   (9.059, 9.275)
b3 =      2.097   (2.09, 2.103)
c3 =      6.835   (6.756, 6.914)
```

```
ind_coe=9.167/10.13
```

```
ind_coe = 0.9049
```

```
SWR_ind=(1+ind_coe)/(1-ind_coe)
```

```
SWR_ind = 20.0384
```

```
title('Inductance')
figure;
```

```
Sine2sum(Length,short_voltage_mv)
```

```
ans =
General model Sin2:
ans(x) =
    a1*sin(b1*x+c1) + a2*sin(b2*x+c2)
Coefficients (with 95% confidence bounds):
a1 =      6.048   (5.944, 6.152)
b1 =      0.02257 (-0.03882, 0.08397)
c1 =      4.339   (3.674, 5.004)
a2 =      5.707   (5.61, 5.804)
b2 =      2.093   (2.085, 2.1)
c2 =     -3.178  (-3.275, -3.081)
```

```
short_coe = 5.707/6.048
```

```
short_coe = 0.9436
```

```
SWR_short12=(1+short_coe)/(1-short_coe)
```

```
SWR_short12 = 34.4721
```

```

title('Short 12Ghz')
figure;

Sine_sum_fit(Length,abs(matched_voltage_mv))

ans =
General model Sin3:
ans(x) =
    a1*sin(b1*x+c1) + a2*sin(b2*x+c2) + a3*sin(b3*x+c3)
Coefficients (with 95% confidence bounds):
a1 =      -7.161  (-6854, 6839)
b1 =       0.1299  (-43.92, 44.18)
c1 =        3.061  (-556.7, 562.8)
a2 =        3.046  (-6843, 6850)
b2 =        0.203  (-68.43, 68.83)
c2 =        8.415  (-863.3, 880.1)
a3 =     -0.2237  (-0.292, -0.1554)
b3 =        2.086  (1.952, 2.22)
c3 =        8.854  (7.123, 10.58)

```

```
matched_coe = 3.046/7.161
```

```
matched_coe = 0.4254
```

```
SWR_matched=(1+matched_coe)/(1-matched_coe)
```

```
SWR_matched = 2.4804
```

```

title('Matched')
ylabel('Volt [mv]')

figure;
Sine_sum_fit(Length,abs(Open_voltage_mv))

```

```

ans =
General model Sin3:
ans(x) =
    a1*sin(b1*x+c1) + a2*sin(b2*x+c2) + a3*sin(b3*x+c3)
Coefficients (with 95% confidence bounds):
a1 =      -13.36  (-2.434e+06, 2.434e+06)
b1 =       0.1208  (-2020, 2020)
c1 =        3.069  (-2.808e+04, 2.808e+04)
a2 =       -9.736  (-2.434e+06, 2.434e+06)
b2 =       0.1413  (-2383, 2383)
c2 =        5.926  (-3.303e+04, 3.305e+04)
a3 =      -1.138  (-1.231, -1.046)
b3 =        2.09   (2.039, 2.142)
c3 =        7.855  (7.116, 8.595)

```

```
open_coe=9.736/13.36
```

```
open_coe = 0.7287
```

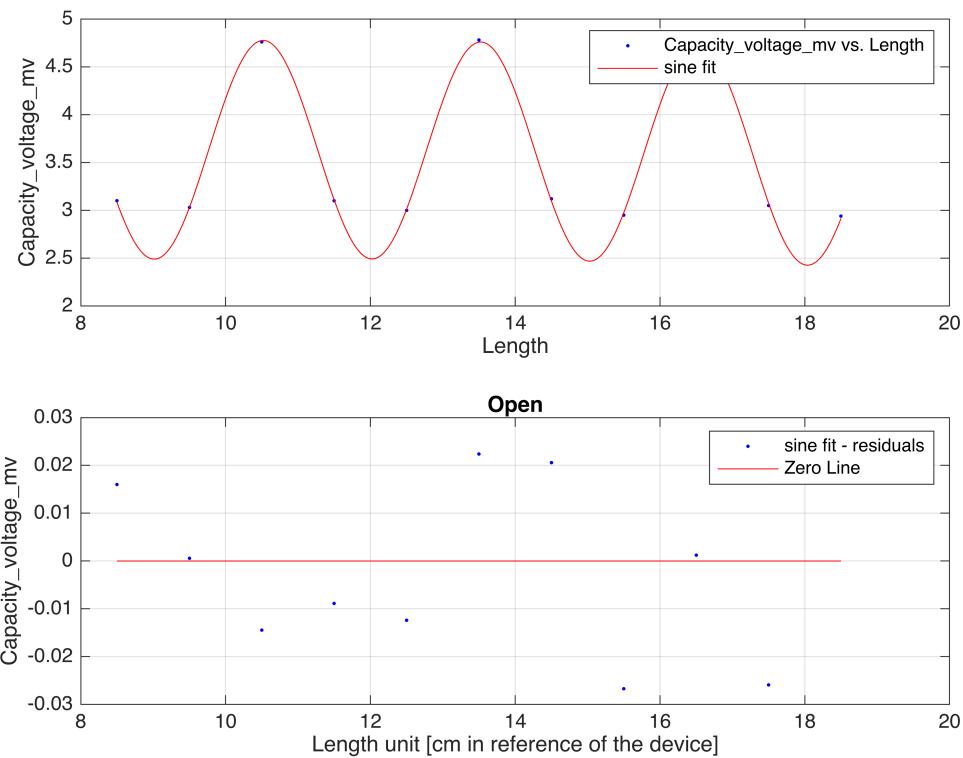
```
SWR_open=(1+open_coe)/(1-open_coe)
```

```
SWR_open = 6.3731
```

```

title('Open')
xlabel('Length unit [cm in reference of the device]')

```



```
figure;
Sine2sum(Length,short_voltage_mv_8Ghz)
```

```
ans =
General model Sin2:
ans(x) = a1*sin(b1*x+c1) + a2*sin(b2*x+c2)
Coefficients (with 95% confidence bounds):
a1 = 10.72 (10.14, 11.29)
b1 = 0.03252 (-0.1153, 0.1803)
c1 = 4.215 (2.431, 5.999)
a2 = 9.523 (8.922, 10.12)
b2 = 1.882 (1.858, 1.906)
c2 = 1.519 (1.185, 1.854)
```

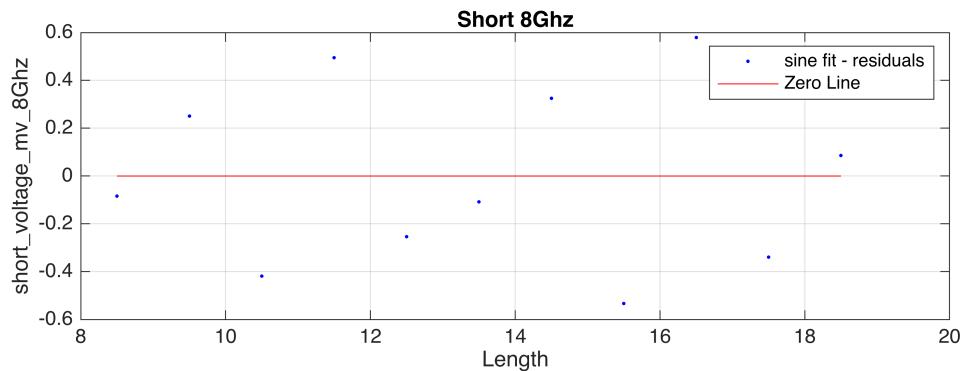
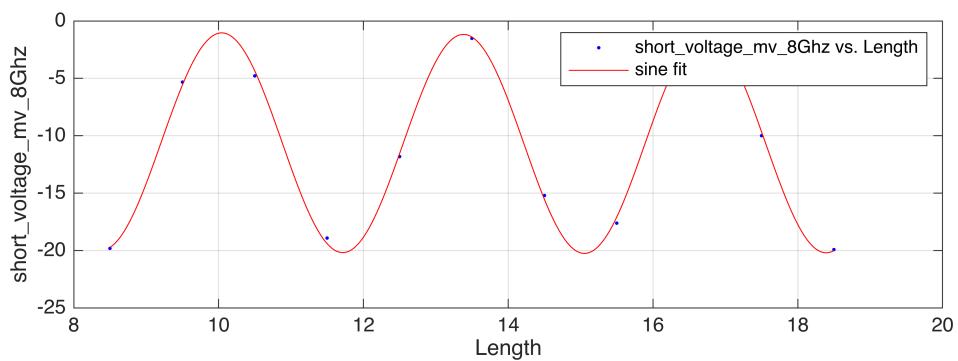
```
short8_coe=9.523/10.72
```

```
short8_coe = 0.8883
```

```
SWR_short8=(1+short8_coe)/(1-short8_coe)
```

```
SWR_short8 = 16.9114
```

```
title('Short 8Ghz')
```



Section 2 - Cutoff freq

```
Max_values_mv=[-20.4,-9.69,-15.8,-28,-70,-32.7,-1.12,-31.2,-1,-0.322,-0.400]
```

```
Max_values_mv = 1×11
-20.4000   -9.6900   -15.8000   -28.0000   -70.0000   -32.7000   -1.1200   -31.2000 ...
```

```
freq_Ghz = [8,7.5,7,6.9,6.8,6.6,6.5,6.4,6,5.8,5.5]
```

```
freq_Ghz = 1×11
8.0000    7.5000    7.0000    6.9000    6.8000    6.6000    6.5000    6.4000 ...
```

```
T4 = table(freq_Ghz', Max_values_mv', 'VariableNames', {'freq_Ghz', 'Max_values_mv'})
```

```
T4 = 11×2 table
```

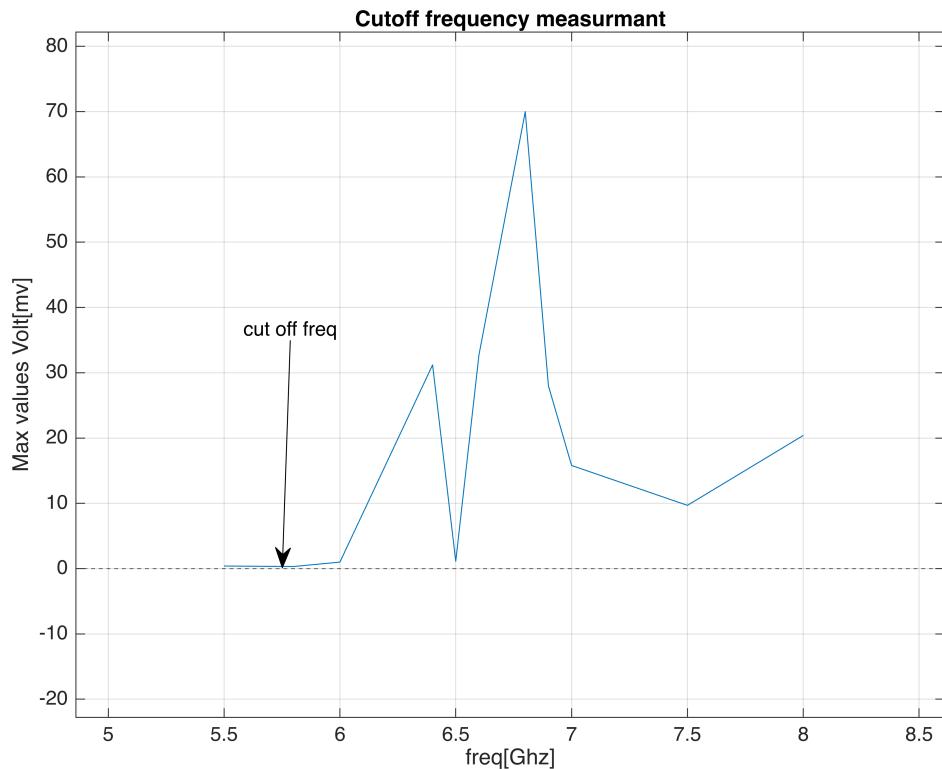
	freq_Ghz	Max_values_mv
1	8	-20.4000
2	7.5000	-9.6900
3	7	-15.8000
4	6.9000	-28
5	6.8000	-70
6	6.6000	-32.7000
7	6.5000	-1.1200
8	6.4000	-31.2000

	freq_Ghz	Max_values_mv
9	6	-1
10	5.8000	-0.3220
11	5.5000	-0.4000

```

figure;
plot(freq_Ghz,abs(Max_values_mv))
title('Cutoff frequency measurmant')
xlabel('freq[Ghz]')
ylabel('Max values Volt[mv]')
hold on
yline(0,'--')
grid on
annotation("textarrow", [0.3214 0.3143], [0.5585 0.2881], "String", "cut off freq")
xlim([4.86 8.61])
ylim([-22.8 82.2])

```



Functions

```

function P = Volt_to_power(Volt)
a = 30.78;b=0.2316;
P = a*exp(Volt*b);
end

```