

ניסוי מס' 6 – תיאום עכבות

יעד לימודי

1. הכרת תופעות חוסר תיאום וגלים עומדים במערכות מפולגות.
2. הבנת הצורך בתיאום עכבות.
3. התנסות בשיטות שונות לתיאום עכבות, ובפרט :
 - א. תיאום בעזרת יתד אחת בעומק ומיקום הניתנים לכיוון (Slide-screw tuner).
 - ב. תיאום בעזרת T-קסם עם שתי סיומות קצר (מראות) הניתנות לכיוון (E-H tuner).
4. שימוש בדיאגרמת סמית.

מבוא

הצורך בתיאום עכבות נובע בין השאר מהסיבות הבאות :

1. העברת הספק מקסימאלי לעומס ומניעת איבוד הספק מוחזר.
2. מניעת החזרת אנרגיה לכיוון המקור שעלולה לגרום לפגיעה בו.
3. מניעת גלים עומדים במערך היכולים לגרום לשיבוש פעולת מערכת ועיוות האות.
4. שימוש מיטבי בפס ספקטראלי רחב.
5. בטיחות קרינה.

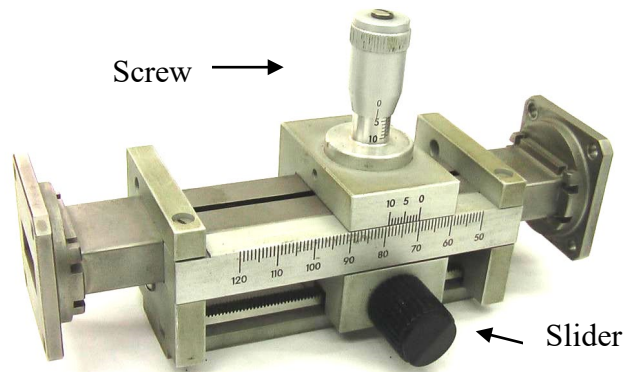
שיטה מוכרת לביצוע תיאום עכבות היא באמצעות יתדות (Stubs). מימוש היתד מותאם לסוג מוליך הגלים (גלבו, כבל קואקסיאלי, מיקרוסטריופ וכיו"ב) כמוראה באיור מס' 6.1, אך עקרון התיאום דומה. מספר היתדות במערך התיאום קובע את מספר דרגות החופש ומכאן את רוחב הסרט המתואם ואת ההחזרה בתחום המתואם. שנאים לתיאום עכבות ממומשים עם אלמנטים מקבילים או טוריים, וכן גם בשינוי רציף (Tapered transmission line).



איור מס' 6.1: דוגמאות להתקני תיאום של שתי יתדות בקו קואקסיאלי ושלוש יתדות בגלבו.

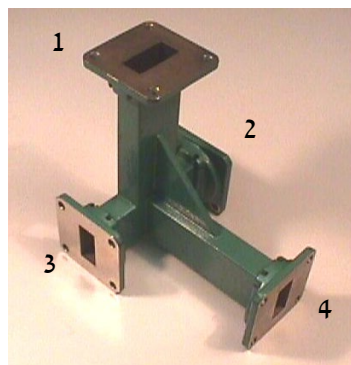
בניסוי זה נשתמש בשני אמצעים לתיאום עכבות, האחד הוא Slide screw tuner (כמוראה באיור מס' 6.2) והשני הוא T-קסם ביישום של E-H tuner.

השימוש ב-Slide-screw tuner שקול לתיאום קו תמסורת על ידי יתד יחיד. גם כאן ננסה למצוא את המרחק מהעומס למיקום היתד ואת עומק היתד שיביאו לתיאום מלא בתדר הרצוי.



איור מס' 6.2: Slide-screw tuner לתיאום עכבות בגלבו מלבני.

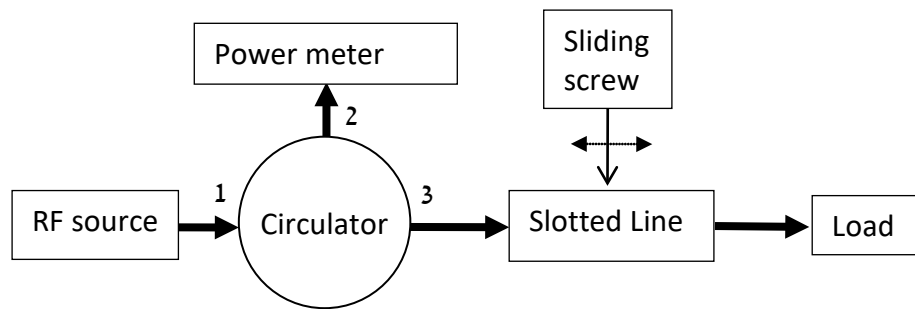
נשתמש ב-T הקסם כמוראה באיור מס' 6.3 כדי לממש מערך תיאום על ידי שני יתדות. לשם כך נתקין בהדקים 2 ו-3 סיומות קצר ניידות, ובהדקים 1 ו-4 יחוברו המקור והעומס בהתאמה.



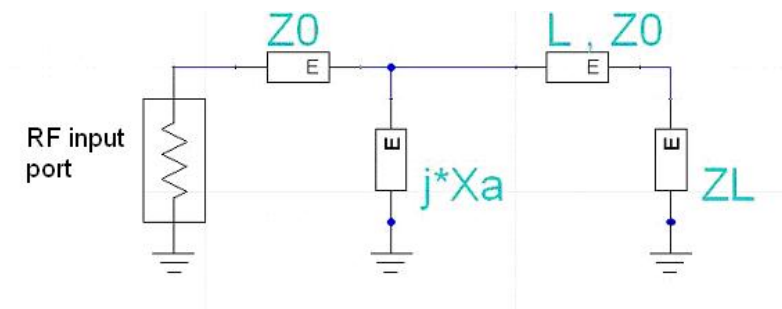
איור מס' 6.3: סימוני ההדקים בהתקן T קסם לצורך תיאום עכבות.

שאלות הכנה

1. בניסוי זה נשתמש בהתקן Slide-screw tuner כמוראה באיור מס' 6.2 לצורך תיאום עומס שיותקן בקצהו. התיאום מתבצע על ידי שינוי מיקום ועומק הבורג (היתד) בגלבו. בהתייחס לסכמה המוצגת באיור מס' 6.4:
 - א. יש לפתח ביטוי לעכבה המשוקפת לכניסה בתלות בעכבת העומס ובמיקום וריאקטנס הבורג, בהתאם לתרשים התמורה שבאיור מס' 6.5.
 - ב. האם ניתן לתאם כל עכבת עומס לגלבו באמצעות התקן זה?

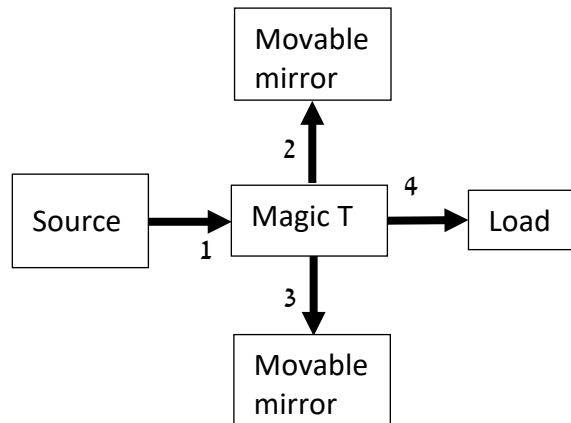


איור מס' 6.4: מערך לתאום עכבות באמצעות יתד אחת הניתנת להזזה.



איור מס' 6.5: מעגל תמורה ל-Slide-screw tuner.

2. בשיטה אחרת לתיאום עכבות נעשה שימוש בשתי יתדות קבועות המרוחקות מרחק קבוע z_0 מזו (Double-stub tuner) כך שניתן לשלוט באורכן בלבד ולא במיקומן (להבדיל מהשימוש ביתד יחיד משתנה במיקום ובאורך). האם ניתן לתאם בשיטה זו כל עומס בתדר יחיד? אם כן, באילו תנאים?
3. מערך לתיאום באמצעות T-קסם ושתי סיומות קצר (מראות) הניתנות להזזה (E-H tuner) מוצג באיור מס' 6.6:
- א. האם שיטה זו שקולה לתיאום באמצעות שני יתדות?
- ב. פתח ביטוי לעכבה המשוקפת לכניסה בהדק 1 בתלות בעכבת העומס בהדק 4 ובמיקומי המראות ביחס להדקים 2 ו-3, כלומר האורכים l_2 ו- l_3 . בסס את הפיתוח על מטריצת הפיזור (S-matrix) של T-קסם אידיאלי, שבו מותקנים קצרים בהדקים 2 ו-3 במרחקים שונים l_2 ו- l_3 מההדקים.
- ג. מצא ערכי l_2 ו- l_3 הנדרשים לתיאום עומסים שונים לבחירתך על גבי דיאגרמת סמית.
- ד. האם ניתן לתאם כל עומס באמצעות התקן זה?
4. השווה את שיטות התיאום שלעיל לשיטת התיאום באמצעות שלוש יתדות (Triple-stub tuner).



איור מס' 6.6: מערך לתאום עכבות באמצעות T-קסם ושתי מראות הניתנות להזזה (E-H tuner).

רשימת ציוד

1. מערך גלבו מחורץ.
2. מד הספק.
3. עומסים שונים.
4. נתח רשת ווקטורי.
5. יתדות לתיאום, Slide-screw tuner.
6. צומת T-קסם ושתי מראות מתכוונות.
7. מחברים ומתאמים.
8. כבלים קואקסיאליים.

תכולת הניסוי

1. תיאום עכבות של עומסים שונים.
2. תיאום באמצעות יתד אחת (Slide-screw tuner).
3. תיאום באמצעות T קסם ושתי מראות הניתנות להזזה (E-H tuner).

מהלך הניסוי

1. בניסוי זה נתאם את העומסים הבאים :

- גלבו פתוח בקצה.
- צמצם השראי ולאחריו עומס מתואם.
- צמצם קיבולי ולאחריו עומס מתואם.

2. תאום עכבות בעזרת בורג מתכוונן:

א. יש לחבר את מערך הניסוי לפי איור מס' 6.4 עבור כל אחד מהעומסים, או לחלופין לחבר לנתח הרשת. עיי שינוי מיקום הבורג ועומקו יש להגיע למצב של תיאום. במקום מקור ה-RF הנפרד והסירקולטור

ניתן להשתמש בנתח רשת ווקטורי. בתצוגת דיאגרמת סמית יש לקבוע span של 10 MHz סביב תדר כלשהו ב-X-Band לבחירתכם.

- ב. רשמו את מקדם ההחזרה כאשר הבורג מחוץ להתקן (ללא תיאום) וחלצו את עכבת העומס.
- ג. עיי שינוי מיקום הבורג ועומקו נסו לתאם את העומס בתדר העבודה הרצוי.
- ד. עיי שינוי תדר העבודה, מצאו את רוחב הסרט עבור מקדם החזרה קטן מ-1.0.
- ה. אחרי שהגעתם למצב של תיאום מיטבי, מדדו את מקדם ההחזרה (שמרו את התוצאות) כפונקציה של מיקום הבורג (לפחות 5 מדידות) ועומקו (לפחות 5 מדידות).
- ו. מצאו נקודות תיאום נוספות בהן מתקבל מינימום הספק חוזר. האם ניתן להצביע על קשר בין המרחק ביניהן לבין פרמטרי הגלבו ?

3. תאום עכבות בעזרת E-H tuner :

- א. חברו את מערך הניסוי כמוראה באיור מס' 6.6. השתמשו במצמד ודיודת גילוי בין המקור לבין כניסת T-קסם, או בנתח הרשת.
- ב. נסו להשיג תיאום על ידי שינוי מיקומי המראות.
- ג. אחרי שהגעתם למצב של תיאום מיטבי, מדדו את מקדם ההחזרה (שמרו את התוצאות) כפונקציה של מיקום המראות (לפחות 5 מדידות).
- ד. עיי שינוי תדר העבודה, מצאו את רוחב הסרט עבור מקדם החזרה קטן מ-1.0.
- ה. מצאו נקודות תיאום נוספות בהן מתקבל מינימום הספק חוזר.

עיבוד וניתוח התוצאות

1. עבור כל ניסיון תיאום, יש להתוות גרף של מקדם ההחזרה בתלות במיקום האלמנטים המשמשים לתיאום (בורג, מראה וכיו"ב) עבור שלושה מיקומים לבחירתך (ש אחד מהם מיטבי).
2. חשב את עכבת העומס לפני ואחרי התיאום.
3. בכמה גדל ההספק הנמסר לעומס עם תיאום עכבות לעומת המצב ללא תיאום עבור כ"א מהעומסים ?
4. במקרים בהם הצלחתם לתאם, מהו רוחב הסרט עבורו מתקבל תיאום סביר ? (לדוגמא, החזרה קטנה מ-10 dB). הסבירו כיצד חשבתם פרמטר זה מהמדידות, וציינו חריגות אם התקבלו במדידות.
5. תאר את מהלך התיאום בעזרת Slide-screw tuner במונחים של תאום בעזרת יתד אחת. על מה משפיע עומק הבורג ועל מה משפיע מיקומו?
6. בניסויים בהם התקבלו כמה נקודות תיאום, כיצד קשורים המרחקים ביניהן לפרמטרי הגלבו ?
7. הסבר את מהלך התיאום בעזרת E-H tuner בהסתמך על הביטוי למקדם ההחזרה שפתחת בדו"ח המכין, והשווה את תוצאות הניסוי לחישובים.
8. השווה בין שיטות התיאום מבחינת טיב התיאום, מורכבותו ומגבלותיו.