

טכניקות מעשיות בתכנון מגברי ת"ר ומיקרוגל

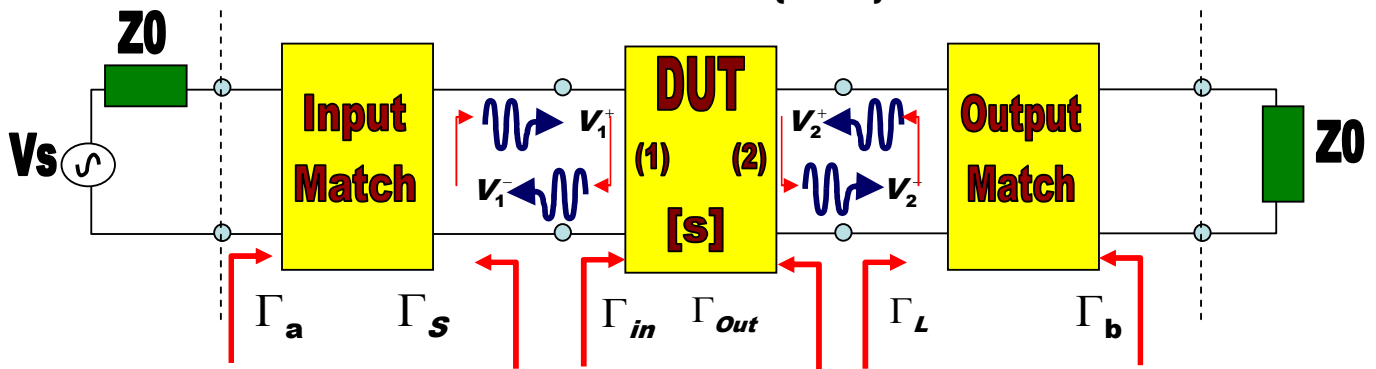
חלק 2 : תכנון מגבר Small Signal

קיימות מספר תכונות היכולות להוות קו מנחה לתכנון מגבר כגון, הגבר, ספרת רעש, **VSWR**, רוחב סרט ועוד. בפרק זה נציג תכנון מגבר אות קטן להגבר מקסימאלי

מאמר זה הוא השני בסדרת המאמרים העוסקת בפיתוח מגברים לתחום הרדיו והמיקרוגל. המאמר יעסוק בטכניקות המעשיות בפיתוח מגברי אות קטן בו נציג גם דוגמא מעשית לתכנון מגבר המבוססת על תוכנת **ADS** של חברת **Agilent**.

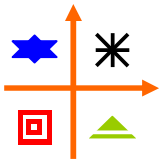
1. מעגלי הגבר **Gp / Ga - Bi-Lateral**

כאשר אנו מנתחים את הקשר שבין הגבר לתיאומי עכבות מבוא/מוצא, עולה כי אם נביא למצב בו מתקיים תיאום עכבות צמוד בו זמנית במוצא ($\Gamma_L = \Gamma_{out}^*$) ובמבוא ($\Gamma_S = \Gamma_{in}^*$), תתקיים העברת הספק מקסימאלית ממבוא המגבר אשר תוביל להגבר מקסימאלי (**Maximum Gain**), [1]. יש לשים לב כי ההגבר המצוין בדפי הנתונים $S_{21[dB]}$ המבטא את ההגבר הקדמי של הרכיב, משקף הגבר אולם עבור מצב בו הוא "רואה" עכבה מתואמת של נתח הרשת (50 אום) ולא עכבות צמודות. שימוש בתכונות סימולציה יכול לאפשר להעריך את מידת תוספת ההגבר שתושג באם נתאם את מבוא ומוצא הטרנזיסטור לעכבות צמודות (איור 1).



איור 1 : מבנה עקרוני של רשת זוגיים המועמסת בעכבת מקור Z_s ועכבת עומס Z_L .

הגבר מקסימאלי מתקבל כאשר מתאמים עכבות צמודות קומפלקסית במוצא/מבוא המגבר. יחד עם זאת, אנו יכולים לגרום לחוסר תיאום מכון (**Impedance MissMatch**) במוצא או במבוא על מנת להפחית בהגבר (משיקולי רוחב סרט, תיאום לספרת רעש). מצב בו אנו מביאים לחוסר תיאום המוצא ושומרים על תיאום צמוד במבוא מביא למעגלי הגבר מסוג **Gp - Power gain Circles**, בעוד מצב בו אנו מביאים לחוסר תיאום במבוא ושומרים על תיאום צמוד במוצא, מביא למעגלי הגבר מסוג **Ga - Available gain Circles**. המעגלים המתקבלים מייצגים את מקדמי ההחזרה במבוא או במוצא המביאים להגבר הרשת הרצוי. ככל שנדרוש הגבר רשת גבוה יותר, כך רדיוס המעגלים קטן המעיד על מרחב פתרונות קטן יותר.



בעבודה עם מעגלי הגבר G_A ו- G_p או חייבים לזכור מספר כללים. (א) היות וכל מעגל מניח תיאום צמוד בפורט המשלים, לא ניתן להשתמש בשני המעגלים יחד (כלומר חוסר תיאום בשני הפורטים). (ב) כאשר אנו מגדירים חוסר תיאום באחד הפורטים, הדבר יוביל ל- $VSWR$ נחות באותו פורט. לדוגמא, מעגלי G_p המניחים חוסר תיאום במוצא יובילו ל- S_{22} גבוה ובצורה דומה, מעגלי G_A יובילו ל- S_{11} גבוה. (ג) תכנון רשתות התיאום לא משנה את יציבות המגבר. (ד) אם אנו בוחרים ליישם את חוסר התיאום במוצא (מעגלי G_p), נקבע את העומס אליו נתאם את מוצא המגבר - Z_L ולאחר מכן נבחן את מקדם ההחזרה במבוא - S_{11} ונתאם לצמוד הקומפלקסי. ננקוט בצורה הפוכה אם נבחר להשתמש במעגלי G_A . (ה) כאשר אנו מתאמים להגבר מקסימאלי, רדיוס מעגלי G_p ו- G_A שווה לאפס ושני המעגלים יחד מייצגים את העכבות המביאות להגבר זה במבוא ובמוצא.

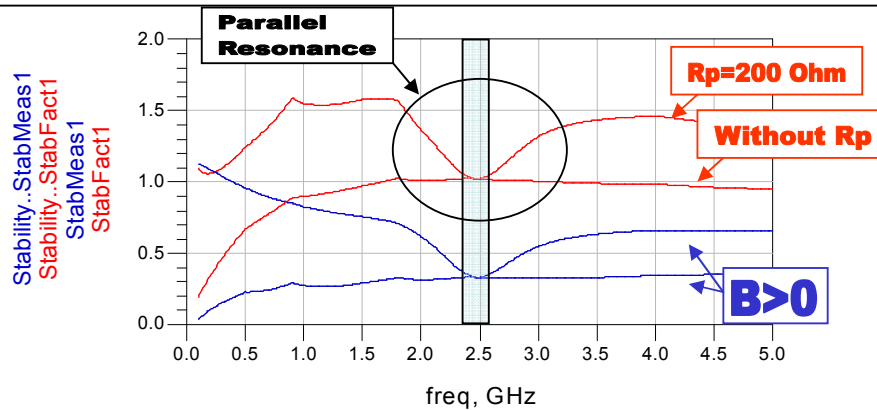
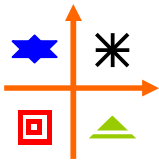
2. פיתוח מגבר לתדר 2.45 GHz

נציג פיתוח מגבר לתדר 2.45_{GHz} כאשר נדרוש את ההגבר המקסימאלי היציב אשר המגבר מסוגל לספק בתדר זה. נשתמש במרוניסטור ביפולארי NPN 30533 של חברת AVAGO. על פי דפי הנתונים, הרכיב מסוגל לספק הגבר של כ-11dB והספק דחיסה של כ-7dBm+ במוצא עבור נקודת עבודה $VCE=5v$ ו- $Ic=5mA$. בשלב זה בסדרת המאמרים נציג את התכנון תוך ביסוס על מקדמי S ידועים של הרכיב לנקודת העבודה הרצויה. במאמרים מתקדמים יותר, נציג גם את השיקולים בתכנון המעשי של רשתות ה-Bias (הזנת ה-DC) למגבר.

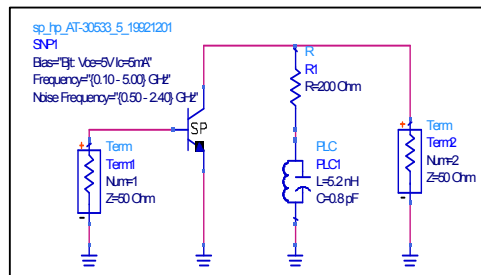
שלב א' – תכנון ליציבות

בשלב הראשון יש לבחון את יציבותו של המגבר בכל תחום התדר אליו הוא מתוכנן ובפרט בתדר העבודה. מניחוח היציבות (מבחן K-B) [2], עולה כי המגבר יציב UnConditionally בתדרים 1.7-3.0 GHz הכולל את תחום התדר העתידי של המגבר. יחד עם זאת, המגבר יציב עם תנאי בכל שארית מרחב התדר (נתוני ה-S נמדדו עד 5_{GHz} בלבד). רשת הייצוב מטרתה לשפר יציבות בתחום התדר הנמוך והגבוה מבלי לפגוע בהגבר בתדר 2.45_{GHz} (תדר זה לא דורש ייצוב).

כפי שהוצג בכתבה הראשונה העוסקת ביציבות המגבר, ניתן לקבוע על פי מעגלי היציבות את מיקום וערך הנגד אשר יביא ליציבות המגבר בכל מרחב התדר והעכבות במבוא ובמוצא. חוסר היציבות של המגבר בתחום התדר הנמוך הוא רב יותר ומסיבה זו נשקיע את עיקר המאמץ בייצוב בתחום זה אשר יביא לשיפור יציבות גם בתחום התדר הגבוה. נמצא כי נגד מקבילי במוצא המגבר של 200 אום מביא לשיפור היציבות הן במובן מוצא והן במובן כניסה. היות ואנו מייצבים באמצעות נגד מקבילי, השאיפה היא להעמיס במידה המועטה ביותר את מוצא המגבר על מנת לא לפגוע בהגבר בתדר הרצוי (נגד גדול ככל שניתן). אף על פי כן, הוספת הנגד פוגעת בהגבר בצורה משמעותית (ירידה מ-11dB לרמה של 7dB בלבד). מכיוון שאין אנו צריכים את הנגד בתדר העבודה (המגבר יציב) הרצוי אלא בסביבתו בלבד, ננתק את הנגד על ידי מעגל תהודה מקבילי של $Cp=0.8pF$ ו- $Lp=5.2nH$ המתוכנן לתדר $2.45GHz$ (איור 2).



איור (א-2) : בחינת יציבות הרכיב 30533 בכל מרחב התדר לפני ולאחר הוספת נגד ייצוב

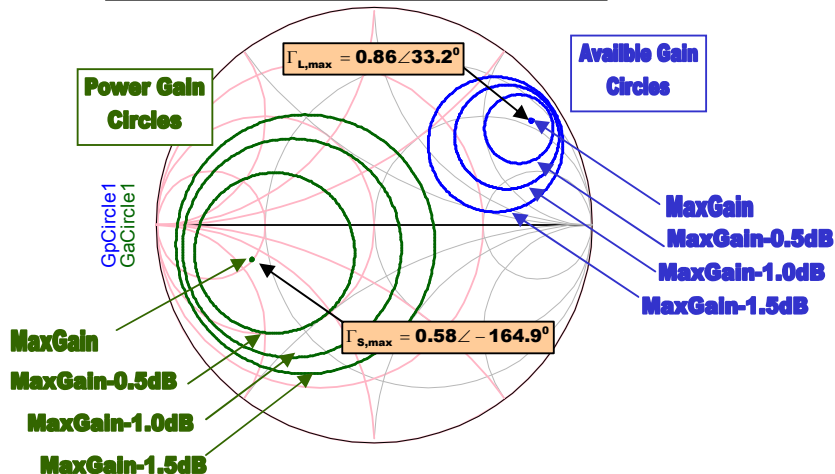


איור (ב-2) : המעגל החשמלי

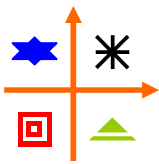
שלב ב' – תכנון להגבר מקסימאלי

מכיוון שהדרישה המרכזית ממגבר זה היא הגבר גבוה ככל שניתן, נתכנן את עכבות המבוא והמוצא (Γ_L ו- Γ_S) אשר יביאו לתיאום צמוד עם עכבות המרניזיסטור (Γ_{in} ו- Γ_{out} בהתאמה). לשם מציאת העכבות המקיימות הגבר מקסימאלי, נציג את מעגלי ההגבר השונים G_p ו- G_A על גבי דיאגרמת סמית (איור 3).

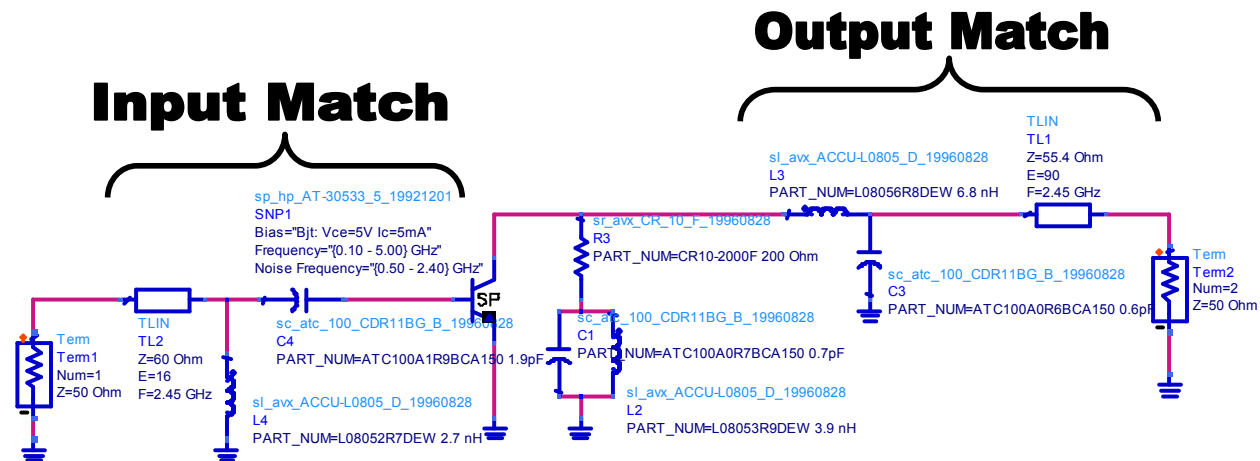
freq	MaxGain1	S(2,1)
2.450 GHz	11.134	7.851 / 61.483



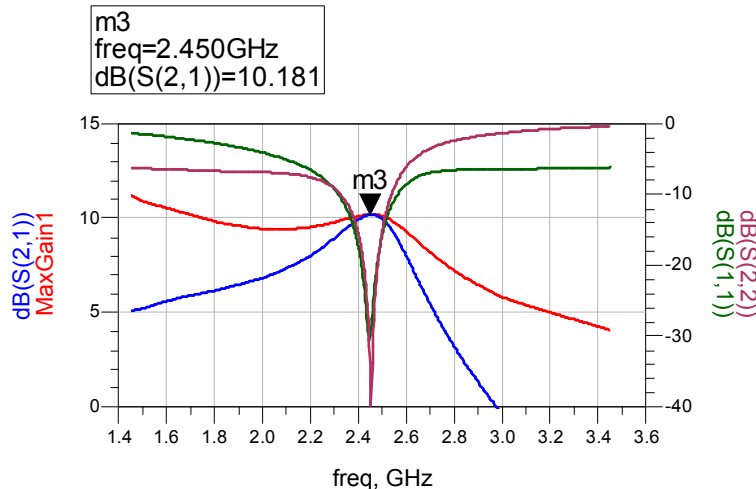
איור 3 : מעגלי ההגבר G_p ו- G_A עבור הגברים שונים. ההגבר המקסימאלי מתקבל כאשר מתקיים תיאום צמוד בנקודות עכבה $\Gamma_{L,max}$ ו- $\Gamma_{S,max}$.



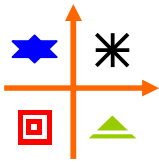
מעגלי הגבר בעלי רדיוס של אפס מייצגים את העכבות המביאות להגבר מקסימאלי. על כן נתאם את מבוא המגבר לעכבה $\Gamma_{S,max}$ ואת מוצא המגבר ל- $\Gamma_{L,max}$ בכל אחת ממכניקות התיאום הידועות. את תיאומי העכבות וייצוב המגבר נעשה תוך שימוש ברכיבים אידיאליים. אולם, על מנת לקרב את הסימולציה לביצועים המעשיים, נדרש להחליף את הרכיבים שבשימוש עם קבצי S של רכיבים מסחריים על מנת לקחת בחשבון הפסדים וסמיות בתדר. בסיום תכנון המעגל אנו מצפים כי ההגבר בפועל של הרשת $S_{21}_{[dB]}$ יהיה המקסימאלי שהרשת מסוגלת לספק (איור 4).



איור (א-4) : סכימה סופית של המגבר לתדר **2.45 GHz** עבורה תואמו עכבות מבוא ומוצא של הרכיב למקדמים $\Gamma_{S,max}$ ו- $\Gamma_{L,max}$. כמו כן, כל הרכיבים הוחלפו בקבצי S מקוריים של יצרני רכיבים.



איור (ב-4) : היענות המגבר – ההגבר הסופי משיק להגבר המקסימאלי בתדר **2.45GHz**, מקדמי החזרה **S11** ו-**S22** מינימאליים (בזכות התיאום הצמוד).



3 סיכום

הדוגמא המובאת לעייל מתארת תכנון מגבר כאשר ההגבר מהווה את התכונה העיקרית. לאחר ייצוב המגבר, רשת היציבות מהווה חלק אינטגרלי מהמגבר ועבודה מחושבים מקדמי ההחזרה האופטימאליים לתיאום צמוד קומפלקסי. תיאום מבוא או מוצא לעכבה הממוקמת על מעגל הגבר לא מקסימאלי, יביא להגבר המתאים אך חוסר תיאום במבוא ו/או במוצא, דבר אשר יוביל לירידה משמעותית ברמת S11 ו-S22. בסיום התכנון בוצעה החלפה של רכיבים דיסקרטיים מעשיים ברכיבים האידיאליים על מנת לאפשר הערכה מדויקת ככל שניתן לביצועיו הסופיים של המגבר.

4. מראי מקום

- [1] **Guillermo Gonzalez, Microwave Transistor Amplifiers Analysis and Design, Second Edition, Prentice –Hall, 1997, pp 247-260.**
- [2] **Less Besser, Practical RF Circuit Design For Modern WireLess Systems, Volume II, Active Circuits and Systems, Artech House, 2003, pp 30-35.**