

# BİR MİKRODALGA TRANSİSTÖRÜ POTANSİYEL PERFORMANSI İÇİN UYDURMA DEVRELERİ SAÇILMA PARAMETRELERİ KARAKTERİZASYONU

Filiz GÜNEŞ<sup>1</sup>

Candaş BİLGİN<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü  
Elektrik-Elektronik Fakültesi  
Yıldız Teknik Üniversitesi, 80750, Beşiktaş, İstanbul

<sup>1</sup>e-posta: gunes@yildiz.edu.tr

<sup>2</sup>e-posta: cbilgin@yildiz.edu.tr

Anahtar sözcükler: Saçılma Parametreleri, Güç kazancı, Giriş VSWR, Gürültü faktörü, Resiprosite, Kayıpsızlık

## ABSTRACT

*In this work, in order to realize a given compatible triplet of [ Noise  $F_{req} \geq F_{min}$ , input VSWR  $V_{ireq} \geq 1$  and  $G_{Tmin} \leq G_{Treq} \leq G_{Tmax}$  ] for a microwave transistor, lossless and reciprocal front – end and back – end matching circuits are characterized by the scattering parameters. Scattering parameters are formulated using the Belevitch Canonical Polinomials and the Real Frequency technique is utilized in the determination of the Belevitch Polinomials so that the termination functions  $Z_S(\omega_i)$  and  $Z_L(\omega_i)$ ,  $i = 1 \dots N$  of the performance triplet can be approximated. Two worked examples are given; the front and back – end matching circuits are designed by the ladder type L – C circuits. The resulted performance is compared with the target performance.*

## 1. GİRİŞ

Bir mikrodalga transistörü için konfigürasyon tipi (CT), kutuplama koşulu ( $V_{DS}$ ,  $I_{DS}$ ) ve frekans  $f$  ten oluşan çalışma domeninde kazanç – bandgenişliği sınırlamaları [ 1 ] de verilmektedir. Buna göre çalışma bölgesinde işaret - ki çalışmamızda saçılma [ S ] parametreleridir - ve gürültü [ N ] parametreleri ile belirlenen bir mikrodalga transistörünün uyumlu gürültü  $F(\omega_i)$  giriş VSWR  $V_i$  ve bir kazanç  $G_{Tmin} \leq G_{Treq} \leq G_{Tmax}$  ( $i = 1 \dots N$ ) performansı, potansiyel B çalışma frekans bandı ve kaynak  $Z_S(\omega_i)$  ve yük  $Z_L(\omega_i)$  sonlandırma fonksiyonları ile verilebilmektedir. Bu deterministik bilgi, aktif devre tasarımında şu üstünlükleri sağlar :

( i ) günümüzdeki modern optimizasyon nümerik yöntemlerine, aktif eleman fiziksel limitlerini ve ya da  $F$ ,  $V_i$ ,  $G_T$  performans ölçüleri ara- ilişkileri bilinerek, referans değer takımı tedarik edilebilir. Bu aslında yüksek dereceli nonlinear bir işlem olan optimizasyon işleminin kısa zamanda başarı ile sonuçlanmasını garantiler.

( ii ) Ayrıca, günümüzde  $\omega$  domeninde nokta ve nokta belirlenmiş  $Z_S(\omega)$  ve  $Z_L(\omega)$  sonlandırma fonksiyonlarını kullanarak, sırası ile giriş ve çıkış uydurma devre tasarımı yöntemleri ortaya konmuş ve geliştirilmiştir. Böylece bu yöntemler uygulanarak, bir transistörün optimum  $F$ ,  $V_i$ ,  $G_T$  bileşenlerini potansiyel çalışma bandı boyunca gerçekleştirme olanağı elde edilmiştir.

Bu çalışmada, belirlenen optimum  $F$ ,  $V_i$ ,  $G_T$  performans ölçü bileşenlerini gerçekleyen  $Z_S(\omega_i)$  ve  $Z_L(\omega_i)$  ( $i = 1 \dots N$ ) sonlandırma fonksiyonları, saçılma parametre fonksiyonlarının Belevitch kanonik formları kullanılarak ve ‘Reel Frekans’ tekniği [ 2 ], [ 3 ] ile giriş ve çıkış uydurma devrelerinin karakterizasyonu elde edilmiş ve devre örnekleri verilmiştir.

Uydurma devrelerinin iki -kapılı olarak karakterize edilmesinde, transistör kazanç -band genişliği karakteristikleri kullanıldığına göre, gelecek bölümde  $\omega$  domeninde kazanç – bandgenişliği teorisinin temelleri ele alınacaktır.

## 2. TRANSİSTÖR

### KAZANÇ – BANDGENİŞLİĞİ KARAKTERİSTİKLERİ

Transistör kazanç – bandgenişliği karakteristikleri, ( konfigürasyon tipi CT,  $V_{DS}$ ,  $I_{DS}$ ,  $f$  ) çalışma domeninde, tesbit edilmiş bir  $V_{ireq} \geq 1$ ,  $F_{req} \geq F_{min}$  ve  $G_{Tmin} \leq G_{Treq} \leq G_{Tmax}$  üçlüsü için kaynak  $Z_S(\omega_i) = R_S(\omega_i) + j X_S(\omega_i)$  ve yük  $Z_L(\omega_i) = R_L(\omega_i) + j X_L(\omega_i)$  ( $i = 1 \dots N$ ) sonlandırma fonksiyonları elde edilebilmesi olarak tanımlanır.. Bu amaç için  $F = F\{R_S, X_S\} = F_{req}$ ,  
 $V_i = V_i\{R_S, X_S, R_L, X_L\} = V_{ireq}$  ve  
 $G_T = G_T\{R_S, X_S, R_L, X_L\} = G_{Treq}$  nonlinear

performans denklemlerinin eş- zamanlı çözülmesini gerektirir.

Burada not edilmesi gereken önemli nokta,  $Z_S(\omega_i)$  ve  $Z_L(\omega_i)$  sonlandırma fonksiyonlarının, transistörün kararlı çalışmasını sağlayan pasif empedansları vermesidir. :

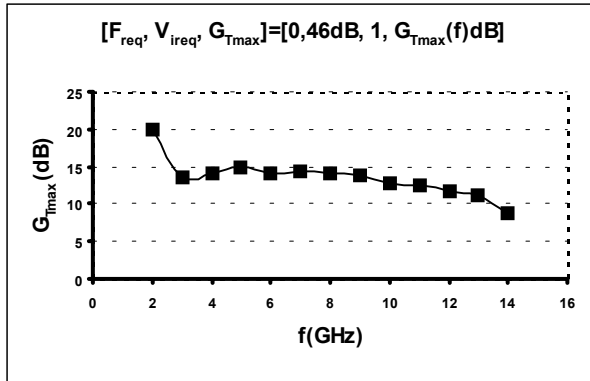
$$\Re\{Z_i\} > 0 \text{ ve } \Re\{Z_o\} > 0 \quad (4)$$

Burada  $Z_i$  ve  $Z_o$  sırası ile transistör iki - kapılışının giriş ve çıkış empedansları olup  $Z_L$  ve  $Z_S$  in fonksiyonlarıdır.

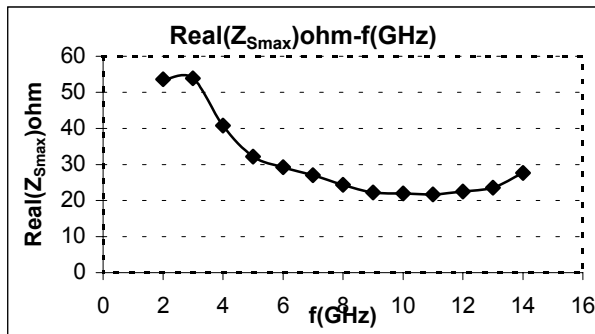
Burada transistörün [ Z ] parametreleri ile karakterize edildiği varsayılmıştır.

### UYGULAMA

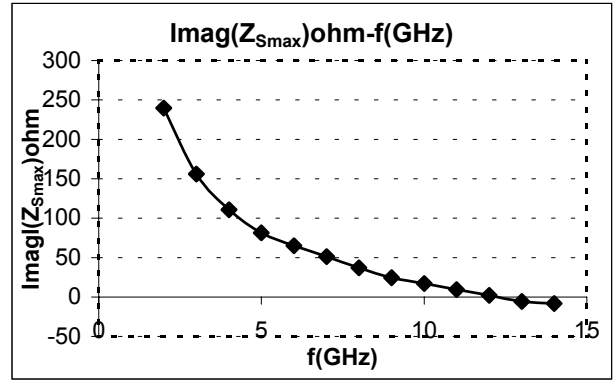
Kuvvetlendirici tasarımında kullandığımız NE329SO1 transistörü kazanç – bantgenişliği karakteristikleri Şekil – 2 ve 3’de görülmektedir. Bu transistör 2 – 18 GHz de S ve N parametreleri ile verilmiştir. Şekil – 2 a, b, c, d, e ‘de sırasıyla  $F_{req} = 0.46$  dB,  $V_{ireq} = 1$  için  $G_{Tmax}$ ,  $\Re\{Z_{Smax}\}$ ,  $\Im\{Z_{Smax}\}$ ,  $\Re\{Z_{Lmax}\}$ ,  $\Im\{Z_{Lmax}\}$  -- frekans karakteristikleri verilmektedir.



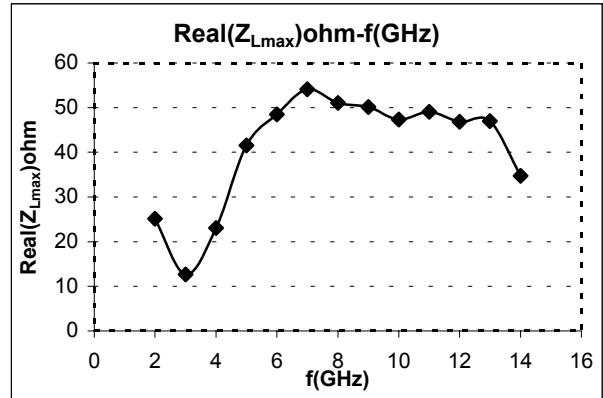
Şekil - 2 a



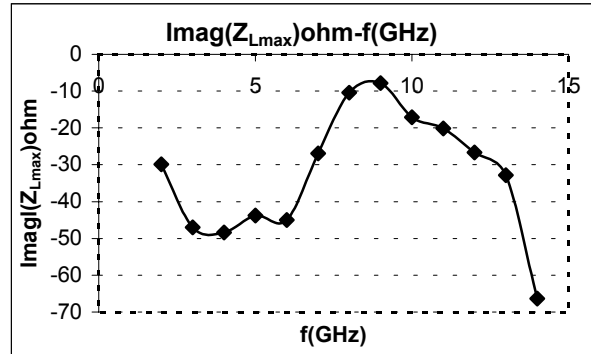
Şekil - 2 b



Şekil - 2 c

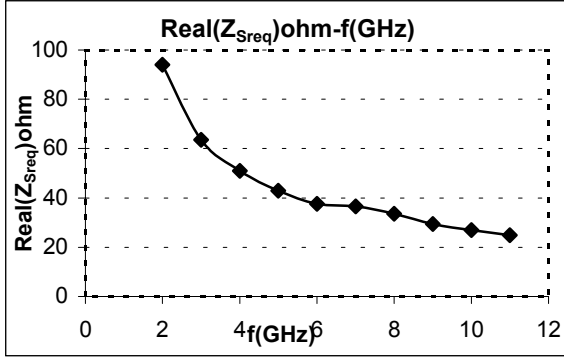


Şekil - 2 d

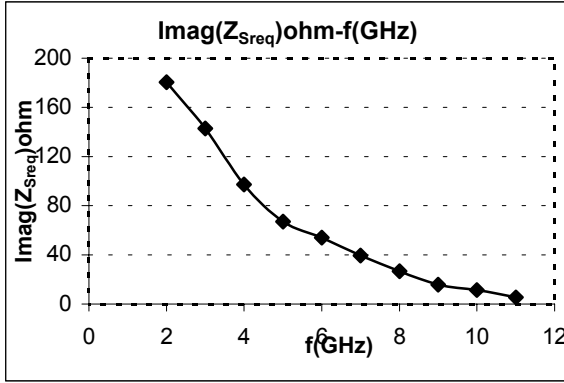


Şekil - 2 e

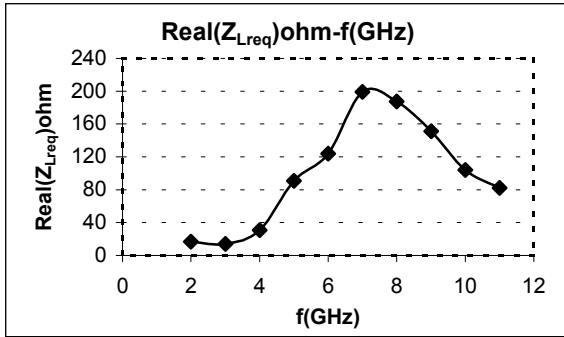
Benzer şekilde, [ 0.46 dB, 1, 12 dB ] uyumlu performans üçlüsü kaynak ve yük sonlandırmaları sırası ile Şekil – 3 a, b, c, d’ de verilmektedir. Bu ilgili performans üçlülerinin gerçekleştirilmesi için  $Z_S(\omega)$  ve  $Z_L(\omega)$  sürülme empedans fonksiyonları, sırasıyla giriş ve çıkış uydurma iki - kapılışlarının karakterize edilmesinde kullanılacaktır.



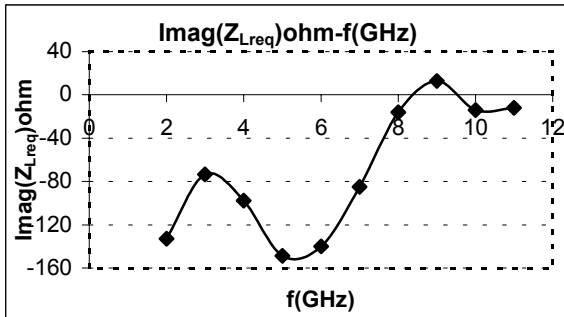
Şekil - 3 a



Şekil - 3 b



Şekil 3 - c



Şekil - 3 d

### 3. KAYIPSIZ VE RESİPROK UYDURMA DEVRELERİ

Sürülme empedans fonksiyonlarının  $\omega$  - domeninde tanımlanması, “ Reel Frekans Tekniği “ kullanılarak kayıpsız ve resiprok uydurma devrelerinin saçılma parametreleri ile iki - kapılı olarak modellenebilmesini sağlar [ 2 ], [ 3 ]. Reel Frekans Tekniği için saçılma matrisinin kanonik polinom formları (= Belevitch Formları) kullanılacaktır. :

$$S_{11} = \frac{h(p)}{g(p)} \quad S_{12} = \sigma \frac{f(-p)}{g(p)} \quad (5.1)$$

$$S_{21} = \frac{f(p)}{g(p)} \quad S_{22} = -\sigma \frac{h(-p)}{g(p)} \quad (5.2)$$

Burada  $g(p)$  kesin Hurwitz polinomu,  $f$  ya tek ya da çift bir polinom ve  $\sigma = f(-p) / f(p)$ . Ayrıca  $\{ f, g, h \}$  ‘ kayıpsızlık ‘ nedeni ile aşağıdaki ilişkiyi sağlar :

$$g(p)g(-p) = h(p)h(-p) + f(p)f(-p) \quad (6)$$

bu bağıntı polinomların derecelerini de aşağıdaki şekilde ilişkilendirir. :

$$\deg h \leq n, \deg f \leq n, \text{ burada } n = \deg g.$$

( 6 ) ilişkisi  $g(p)$  kesin Hurwitz polinomunu  $h(p)$  ve  $f(p)$  cinsinden vermektedir. Buna göre, uydurma devresinin eleman sayısı ve transmision sıfır sayısı ve yerlerine karar verildikten sonra,  $h(p)$  polinomu katsayıları, başlangıç değerleri verilerek sürülme empedansını sağlayacak biçimde optimize edilerek tayin edilir. ( 6 ) İlişkisinden  $g(p)$  elde edilip, ( 5 ) bağıntıları saçılma parametrelerinin bulunmasında kullanılır.

Gelecek bölümde ‘ Reel Frekans ‘ tekniği ile seçilen optimum  $(F, V_i, G_T)$  üçlülerinin  $Z_S(\omega_i)$  ve  $Z_L(\omega_i)$  ( $i = 1 \dots N$ ) sonlandırma fonksiyonları kullanarak, sırası ile giriş ve çıkış uydurma devreleri iki - kapılı saçılma parametreleri tayin edilecektir.

### 4. OPTİMUM PERFORMANSI İLE MİKRODALGA KUVVETLENDİRİCİ TASARIMI

Kuvvetlendirici tasarımı için, potansiyel performans karakteristikleri elde edilen NE329S01 transistörü kullanılacaktır.

#### UYGULAMA 1

[  $F_{req} = 0.46$  dB,  $V_{ireq} = 1$ ,  $G_{Treq} = G_{Tmax}$  ] Performans Kuvvetlendiricisi Tasarımı : Şekil - 2 a ‘da,  $F_{req} = 0.46$  dB,  $V_{ireq} = 1$  için,  $G_{Tmax}$  - frekans karakteristiği verilmektedir. Şekil - 2 b, c, d, e ‘de ki  $Z_{Smax}(\omega_i)$  ve  $Z_{Lmax}(\omega_i)$  ( $i = 1 \dots 10$ ) fonksiyonlarını kullanarak

‘ Reel Frekans ‘ tekniği ile giriş ve çıkış uydurma devrelerinin Belevitch katsayıları aşağıdaki gibi bulunmuştur. :

$$h_g = \begin{bmatrix} 0.6749 & 2.2607 & 1.9809 \\ 1.3908 & 0.5661 & -0.1679 \end{bmatrix}$$

$$g_g = \begin{bmatrix} 0.6749 & 2.9174 & 4.5003 \\ 4.2333 & 2.1097 & 0 \end{bmatrix}$$

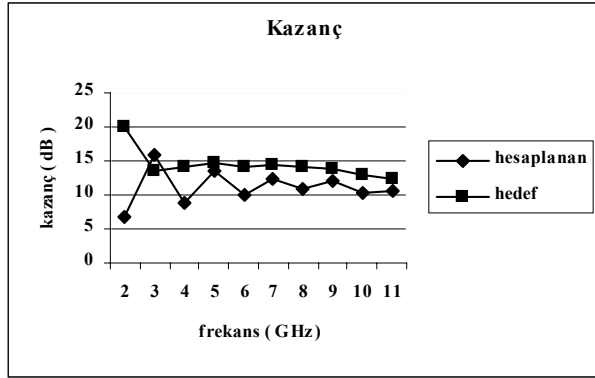
$$f_g = [1.9140 \quad 0]$$

$$h_\zeta = \begin{bmatrix} 1.8048 & -1.3795 & -1.9887 \\ -0.4132 & 0.1409 & 0.3062 \end{bmatrix}$$

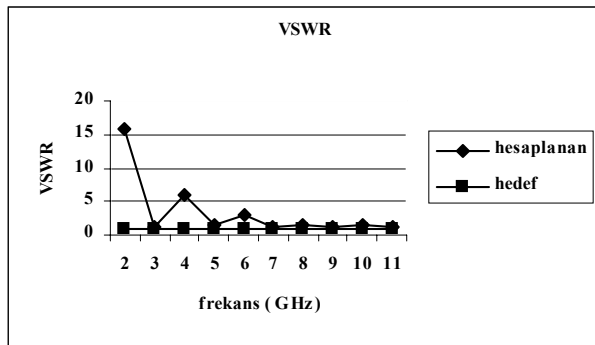
$$g_\zeta = \begin{bmatrix} 1.8048 & 4.4611 & 6.9749 \\ 6.5031 & 3.2356 & 0.3062 \end{bmatrix}$$

$$f_\zeta = [2.4928 \quad 0]$$

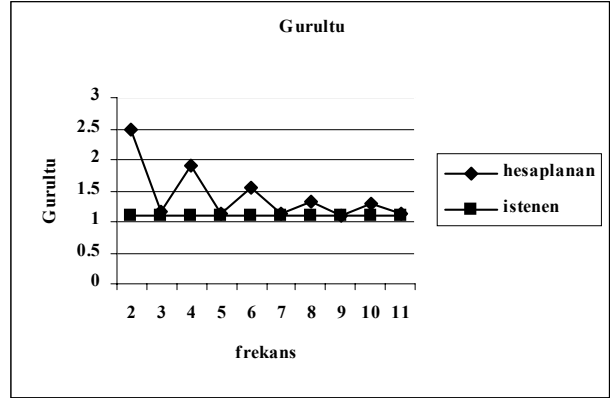
Buna göre, Şekil - 4 a, b, c ‘de sırasıyla hedeflenen performans ile gerçekleştirilen performans ölçü bileşenlerinin frekans ile değişimleri verilmektedir.



Şekil - 4 a



Şekil - 4 b



Şekil - 4 c

## UYGULAMA 2

[  $F_{req} = 0.46$  dB,  $V_{ireq} = 1$ ,  $G_{Treq} = 12$  dB ]  
Kuvvetlendiricisi Tasarımı : Verilmiş  $F_{req}$  ve  $V_{ireq}$  için  $G_{Tmax}$  - frekans karakteristiğinden, aynı koşullarda  $G_{Treq} = 12$  dB  $\leq G_{Tmax}$  için potansiyel çalışma bandının 2 GHz - 11 GHz arasında olduğu tesbit edilmiştir. Buna göre  $F_{req} = 0.46$  dB,  $V_{ireq} = 1$  ve  $G_{Treq} = 12$  dB için gerçekleştirilebilen 3 elemanlı, giriş ve çıkış uydurma devreleri Belevitch katsayıları aşağıdadır.

$$h_g = [0.4301 \quad -1.0471 \quad 1.5645 \quad -0.1129]$$

$$g_g = [0.4301 \quad 1.0471 \quad 1.5645 \quad 0.1129]$$

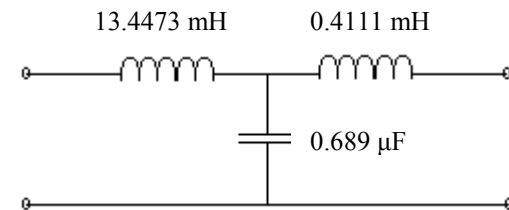
$$f_g = 2.5204s$$

$$h_\zeta = [1.6837 \quad -1.218 \quad 1.499 \quad -0.9317]$$

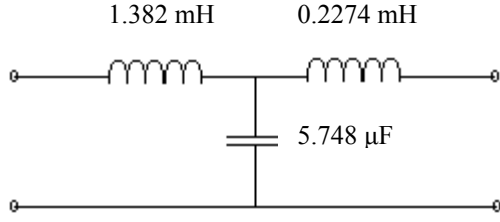
$$g_\zeta = [1.6837 \quad 1.218 \quad 1.499 \quad 0.9317]$$

$$f_\zeta = 2.4729s$$

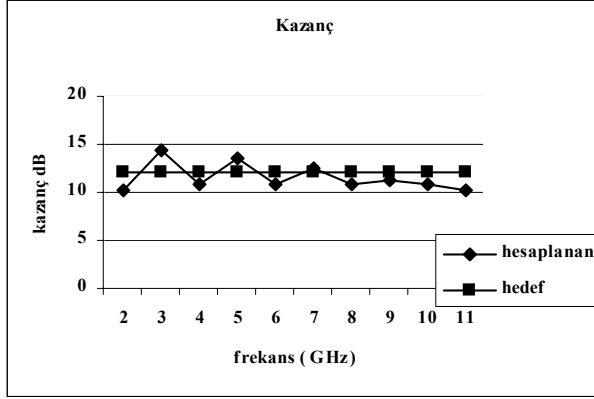
İlgili devre toplu parametrelili basamak L - C ile gerçekleştirilmiş ve Şekil - 5 a ve b ‘de verilmiştir. Ayrıca hedef ve hesaplanmış performans bileşenleri Şekil - 6 a, b ,c ‘de verilmiştir.



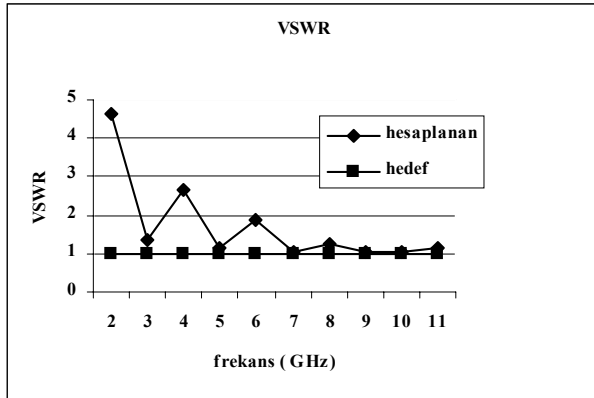
Şekil - 5 a Giriş Uyumlaştırma Devresi



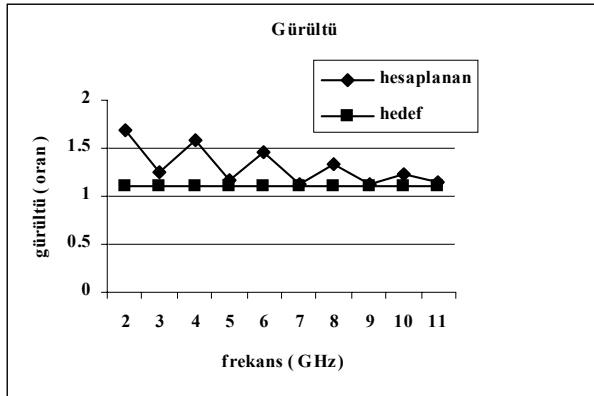
Şekil – 5 b Çıkış Uyumlaştırma Devresi



Şekil – 6 a



Şekil – 6 b



Şekil – 6 c

## 5. SONUÇLAR

Bir mikrodalga kuvvetlendiricisi performans kalitesini ‘ kazanç ’ faktörü  $G_T$  kadar, maksimum kaynak gücünün büyük bir oranda girişe verilebilmesi de tayin eder ki bu giriş yansıtma katsayısı modül karesi  $|\rho_{in}|^2$  ya da giriş VSWR büyüklükleri ile karakterize edilir. Ayrıca gürültü faktörü de kuvvetlendiricinin dizilimindeki yerine bağlı olarak önemlidir. Buna göre bu çalışmanın önemi aşağıdaki özelliklerle vurgulanabilir. :

( i ) Mikrodalga kuvvetlendiricisinin  $F$ ,  $V_i$ ,  $G_T$  gibi performans kalite faktörleri, tamamen kullanılan aktif eleman potansiyel performans karakteristikleri kullanılarak elde edilmiştir. Diğer bir anlatımla, tesbit edilen bir  $V_{ireq} \geq 1$ ,  $F_{req} \geq F_{min}$  çifti için  $G_T$  nin maksimum  $G_{Tmax}$  ve minimum  $G_{Tmin}$  sınırları tayin edildiği gibi, bir uyumlu  $F$ ,  $V_i$ ,  $G_{Tmin} \leq G_{Treq} \leq G_{Tmax}$  üçlüsü için,  $Z_S(\omega)$  ve  $Z_L(\omega)$  sonlandırma fonksiyonları ile beraber potansiyel çalışma bandı  $B$  de belirlenmiştir.

( ii ) Uydurma devreleri kara – kutu karakterizasyonu için günümüzde geliştirilmiş birçok modern mikrodalga devre tasarım yöntemleri mevcuttur; dağılmış ve toplu karışık parametrelili devrelerine de başarı ile uygulanmaktadır.

Bu yöntemlerin transistör potansiyel performans karakteristikleri ile birleştirilerek optimum performanslı kuvvetlendirici tasarımı yapılması ‘ Devre Teorisi ’ için bir geliştirme ve hala bir sanat olarak ele alınan ‘ Mikrodalga Devresi ’ gerçekleştirilmesi ve MMIC teknolojisi için önemli bir aşamadır.

## KAYNAKLAR

- [1] Güneş F., Tepe C., Grain – Bandwidth Limitations of a Microwave Transistor , to be published in International of RF and Microwave Computer Aided Engineering, Oct. 2002
- [2] Yarman B. S., A Simplified real frequency technique for broadband matching complex loads , RCA Review, vol. 43, pp. 529 – 541, sept. 1982
- [3] Yarman B. S. and Carlin H. J., A simplified real frequency technique applied to broadband multi – stage Microwave amplifiers , IEEE Trans. Microwave Theory and Tech., vol. 27, pp. 93 – 99, Feb. 1979