

# Yüksek Teknoloji Mikrodalga Transistorları Ve Minimum L – C Elemanlı Uydurma Devreleri

Candaş Bilgin, Filiz Güneş  
Yıldız Teknik Üniversitesi  
Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü  
Beşiktaş, İstanbul  
[cbilgin@yildiz.edu.tr](mailto:cbilgin@yildiz.edu.tr), [gunes@yildiz.edu.tr](mailto:gunes@yildiz.edu.tr),

**Özet:** Bu çalışmada, ileri teknoloji mikrodalga transistorları “performans karakteristikleri “ ile tanıtılmaktadır. Günümüz teknolojisi ile çok düşük gürültü-profiline ile transistorlar üretilmektedir. Aynı zamanda bu düşük gürültü profiline, maksimum bir kazanç profili ile yüksek seviyeli ve oldukça düz bir biçimde eşlik edebilmektedir. Bu aktif elemanlar, yüksek kazançlı, düşük gürültülü ve geniş bantlı mikrodalga kuvvetlendiricilerinin tasarımını olanaklı kılmaktadır. Bu çalışmada, tipik bir ileri teknoloji transistoru olan NE329S01 uygulama örneği olarak seçilmiştir. “Performans Veri Sayfaları” aracı kullanılarak, giriş kapısı uydurulmuş  $V_i = 1$  ve  $F_{req} = 0,46$  dB lik gürültü faktörü talebi için maksimum kazanç  $G_{Tmax}$  profili elde edilmiştir. “Reel Frekans” tekniği kullanılarak bu uyumlu üçlü uydurma devreleri,  $50\Omega$  sonlandırılmalı, merdiven tipi L-C devreleri şeklinde tasarlanmıştır.

## 1. Giriş

Düşük gürültülü kuvvetlendirici tasarımı, mikrodalga elektroniğinin hala en gözde konularından biridir. Bilindiği gibi, aktif ya da pasif bir iki - kapılı gürültü faktörünün ideal değeri oran olarak birdir. Bugünün mikrodalga elektronik endüstrisi, oldukça geniş bir çalışma bandı boyunca bire çok yakın gürültüye sahip transistorlar üretebilmektedir. Ayrıca bu transistorların çalışma bantları boyunca, bu düşük gürültülerine, oldukça düz ve yüksek kazanç karakteristikleri eşlik edebilmektedir.

Bu çalışmada tipik bir yüksek teknoloji mikrodalga transistoru NE329S01 ele alınmıştır ve bu transistorun performans veri sayfaları elde edilerek potansiyel karakteristikleri bulunmuş ve bunlar kullanılarak giriş kapısı uydurulmuş, düşük gürültülü, yüksek kazançlı geniş bantlı kuvvetlendiriciler sentezlenmiştir. Gelecek bölümlerde sırası ile , performans veri sayfaları ve sentez teknikleri kısaca anlatılacaktır. Sonraki bölümlerde, uygulamalar ve sonuçlar verilecektir.

## 2. Performans Veri Sayfaları

Performans Veri Sayfaları, “Veri temelli Soft“ ve “Devre Analizi temelli“ iki modelin kaskad bağlanması ile oluşturulan bir araç ile elde edilmiştir ki blok diyagramı teorisi ile birlikte [1] de verilmiştir. Kısaca “Veri temelli Soft” bloğu, transistorun ya “Yapay Sınır Ağrı” ya da “ Bulanık Mantık “ kara-kutu soft modelinden oluşturulmuştur ve giriş serbest değişkenleri, çalışma bölgesi değişkenleridir ki bunlarda yapılandırma tipi CT, kutuplama koşulları  $V_{DS}$ ,  $I_{DS}$  ve frekans  $f$  dir; buna karşın, çıkışında, Gürültü F, Giriş VSWR, Kazanç  $G_T$  üçlüleri ile kaynak  $Z_S$ , yük  $Z_L$  sonlandırmalarını ve B çalışma bandını vermektedir. Dolayısı ile çıkıştan, bir  $f$  frekansında aşağıdaki veri elde edilebilmektedir:

$$(F_{req}, V_{ireq}, G_{Tmax}) \Leftrightarrow Z_{Smax} = R_{Smax} + jX_{Smax}; Z_{Lmax} = R_{Lmax} + jX_{Lmax}$$

$$(F_{req}, V_{ireq}, G_{Tmin}) \Leftrightarrow Z_{Smin} = R_{Smin} + jX_{Smin}; Z_{Lmin} = R_{Lmin} + jX_{Lmin}$$

$$(F_{req}, V_{ireq}, G_{Treq}) \Leftrightarrow Z_{Sreq} = R_{Sreq} + jX_{Sreq}; Z_{Lreq} = R_{Lreq} + jX_{Lreq}$$

Bu çıkış verisi, bir mikrodalga kuvvetlendiricinin optimizasyonunda hedef uzayı olarak, ya “uyumlu performans üçlüsü“ ya da bu üçlüleri temin eden kaynak ve yük sonlandırmaları biçiminde kullanılabilir. Çalışmamızda “Emetör” konfigürasyonu ,  $V_{DS} = 2$  V ,  $I_{DS} = 10$  mA kutuplama koşulunda, talep edilen  $F = 0,46$  dB,  $V_i = 1$  performans bileşenleri için maksimum kazanç ve 10dB kazanç sonlandırmaları ve çalışma bantları hedef uzayı olarak seçilmiştir.

## 3. Uydurma Devrelerinin Sentezi

Performans Veri sayfalarından “Reel Frekans bölgesinde ayrıık olarak elde edilen  $Z_S$ ,  $Z_L$  sonlandırma fonksiyonları, sırası ile giriş ve çıkış uydurma devrelerinin çıkış ve giriş empedanslarına karşı gelmektedir. Bu empedans verisine

sınırlı reel bir kesirsel fonksiyon yaklaşıklığı yapılabilirse ( $\Leftrightarrow$  uydurulabilirse), “Darlington“ teoremi kullanılarak, pozitif bir direnç ile sonlandırılmış bir kayıpsız ve resiprok bir-kapılı ile gerçekleştirilebilir.

Reel frekans domeninde verilmiş bu sonlandırma verilerine “kesirsel” fonksiyon yaklaşıklığı, ”Reel Frekans” tekniği ile saçılma parametrelerinin Belevitch formları kullanılarak yapılmıştır [2]. Çalışmada, minimum faz yapıları varsayımı altında transmisyon sıfırları  $\omega = 0$ ,  $\omega = \infty$  seçilerek kuplajlı endüktans kullanılmamıştır. Ayrıca uydurma devreleri, empedans seviye transformatörüne gereksinim duyulmaksızın  $50\Omega$  luk sonlandırmalara sahiptir. Buna göre bir uydurma devresinin saçılma parametreleri h, g, f Belevitch kanonik polinomları ile aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

$$S_{11}(s) = \frac{h(s)}{g(s)} = \frac{h_0 + h_1s + h_2s^2 + \dots + h_ns^n}{g_0 + g_1s + g_2h^2 + \dots + g_ns^n} \quad (1)$$

$$S_{12}(s) = S_{21}(s) = \frac{f(s)}{g(s)} = \pm \frac{s^k}{g(s)} \quad (2)$$

$$S_{22}(s) = -\frac{f(s)}{f(-s)} \frac{h(-s)}{g(s)} = -(-1)^k \frac{h(-s)}{g(s)} \quad (3)$$

olarak verilmiştir. Burada  $k \geq 0$  dır ve iletim sıfırlarının katını, f(s) polinomu ise devre topolojisini belirlemektedir. h(s) in derecesi n ise devredeki eleman sayısını vermektedir.

Seçilen bu topoloji için kayıpsız olma koşulu, payda polinomu g(s) ve pay polinomu h(s) arasında aşağıdaki ilişkiyi gerektirir.

$$g(s)g(-s) = h(s)h(-s) + (-1)^k s^{2k} \quad (4)$$

Buna göre uydurma devresinin normalize giriş ve çıkış empedansları sırasıyla

$$Z_{in} = \frac{1 + S_{11}}{1 - S_{11}}, \quad Z_{out} = \frac{1 + S_{22}}{1 - S_{22}} \quad (5)$$

Uydurma devrelerinin  $50\Omega$  ile sonlandırma koşulu (1), (4) ve (5) kullanılarak, giriş ya da çıkış normalize empedanslarının DC frekansta ( $s=0$ ) birim olması gerektiğinden çıkarılabilir:

$$h_0=0, \quad g_0 = 1 \quad (6)$$

(4) teki kayıpsızlık ve resiprosite koşulunun  $j\omega$  eksenine uyarlanmasıyla g ve h Belevitch polinomları modülleri arasında aşağıdaki ilişki bulunabilir.

$$|g(j\omega)|^2 = |h(j\omega)|^2 + \omega^{2k} > 0 \quad (7)$$

$$|g(j\omega)|^2 \geq |h(j\omega)|^2 \quad (8)$$

(7) ve (8) g ve h nin sınırlı reel olma koşulunu ve dolayısıyla g nin Hurwitz kesinliğini garantiler. Sınırlı reel olma koşulu da g(s) payda polinomunun bütün köklerinin sol yarı düzlemde olmasını gerektirir.

Aşağıda verilecek olan iteratif yaklaşımda pay fonksiyonu h(s) nin katsayıları bilinmeyen olarak alınır ve bütün saçılma parametreleri h(s) ten inşa edilebilir.

#### 4. Bilgisayar Sonuçları

Giriş ve çıkış uydurma devreleri için  $k=0$  seçilmesiyle,  $\omega=\infty$  da iletim sıfırları seçilerek L-C tipi kayıpsız merdiven devreleri topolojisi kullanılmıştır. Ayrıca giriş ve çıkış uydurma devreleri tasarımında aşağıdaki fonksiyon

$$\delta_{mc} = \sum_i^m |1 - G_T(\omega_i)| \quad (9)$$

amaç fonksiyonu olarak kullanılmıştır.

Girişler :

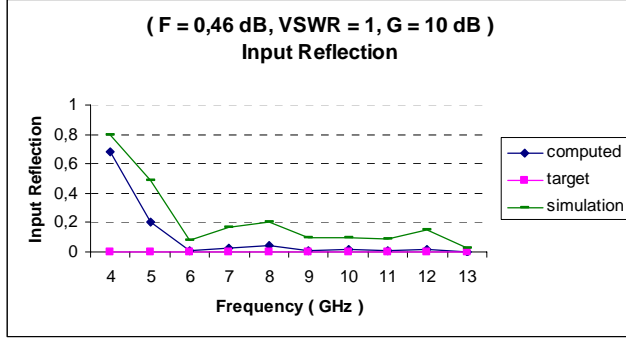
$n$ ,  $h(s)$  polinomunun derecesi,

$k=0$ ,  $S_{12}=S_{21}$  pay polinomunun derecesi,

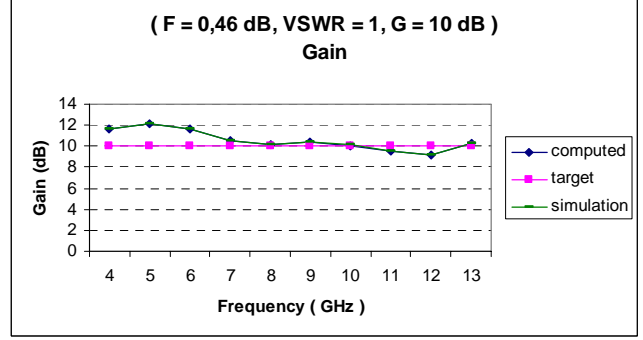
$h_0, h_1, \dots, h_n$   $h(s)$  polinomunun reel katsayıları,

$S_G$ , kaynak yansımaya katsayısı,

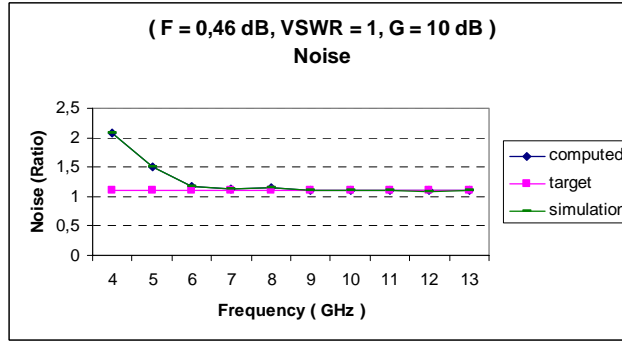
$S_L$ , yük yansımaya katsayısıdır.



Şekil 1. Giriş Yansımaya Katsayısı.



Şekil 2. Kazanç.



Şekil 3. Gürültü.

Yapılması gereken iş empedans değerleri kullanılarak oluşturulacak bir hata fonksiyonunu,  $h(s)$  başlangıç değerleri verilerek optimizasyon işlemine sokmak ve elde edilecek empedans fonksiyonuyla devre sentezini gerçekleştirmektir.

Burada giriş ve çıkış uydurma devrelerinde, pratik değerli  $L - C$  elemanı bulunmaktadır. Ayrıca sonuçlanan devre, bir referans mikrodalga devre program paketi ile analiz edilmiştir ve sonuçları "benzetim" olarak performans grafiklerine ilave edilmiştir. Tasarlanan mikrodalga kuvvetlendiricisinin, hedef, sonuçlanan ve simüle edilen kazanç, giriş yansımaya katsayısı ve gürültü sonuçları kıyaslanarak şekil 1, 2, 3 de verilmiştir.

Sonuç olarak çalışmada "Performans Veri Sayfa" aracı ile, kuvvetlendirici "tasarım hedef uzayı" teşkil edilerek ve minimum sayıda  $L - C$  merdiven yapılandırması kullanılarak, potansiyel karakteristiklerini yaklaşık %80 başarımla gerçekleştiren (düşük gürültülü) mikrodalga kuvvetlendiricisi tasarımı gerçekleştirilmiştir.

## Kaynaklar

[1]. F. Güneş and C. Tepe "Gain – Bandwidth limitations of Microwave Transistors "

Int. Journal of RF and Micorwave Computer – Aided Engineering 483 – 495. volume 12. no 4. 2002

[2]. B. S. Yarman and H. J. Carlin, 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