

# Mikrodalga Kuvvetlendiricileri için Giriş Çıkış Uydurma Hatlarının ve Taban Malzemesinin Parçacık Sürü Algoritması ile Optimizasyonu

Filiz GÜNEŞ, Ahmet Kenan KESKİN, Salih DEMİREL

Yıldız Teknik Üniversitesi

Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü

İstanbul

[gunes@yildiz.edu.tr](mailto:gunes@yildiz.edu.tr), [kkeskin@yildiz.edu.tr](mailto:kkeskin@yildiz.edu.tr), [salihd@yildiz.edu.tr](mailto:salihd@yildiz.edu.tr)

**Özet:** Bu çalışmada düşük gürültülü bir kuvvetlendiricinin giriş ve çıkış uydurma devrelerinin optimizasyonu yapılmıştır. İlk olarak, tasarlanan kuvvetlendiricinin istenilen kazanç, geri dönüş kaybı ve gürültü değerlerini vermesi için gereken giriş ve çıkış uydurma devrelerinin sonlandırma empedansları  $\{Z_S, Z_L\}$  kullanılan transistörün performans karakterizasyonu kullanılarak çıkarılmıştır. Sonrasında hesaplanan giriş ve çıkış empedans değerlerine bağlı olarak mikroşerit uydurma devrelerinin optimizasyonu parçacık sürü (PSO) algoritmasıyla yapılmıştır. Optimizasyon değişkeni olarak mikroşerit hattın genişliği ( $W$ ) ve uzunluğu ( $L$ ) ve taban malzemesinin bağül dielektrik katsayısı ( $\epsilon_r$ ) ve kalınlığı ( $H$ ) alınmıştır. Tasarlanan kuvvetlendiricinin geniş bir frekans bandında maksimum kazançla ( $G_{Tmax}$ ), minimum gürültü ( $F_{min}$ ) seviyesinde çalışması hedeflenmiştir.

**Anahtar kelimeler**—Performans karakterizasyonu, Ultra-geniş band, Kuvvetlendirici Tasarımı, Parçacık Sürü Optimizasyonu

## 1. Giriş

Kuvvetlendirici tasarımı için en önemli adım tasarım hedef uzayının (THU) elde edilmesi için kullanılan transistörün performans kapasitesinin analiz edilmesidir. Diğer bir deyişle, transistörün potansiyel performansının yani gerçekleştirilebilir tasarım sınırlarının öğrenilmesidir. Tasarım hedef uzayı seçilen transistörün çalışma koşullarına göre uyumluluk çemberlerinin (gürültü ( $F$ ), giriş VSWR ( $V_i$ ), kazanç ( $G_T$ )) ve bu çemberlere uygun kaynak  $Z_S$  ve yük  $Z_L$  sonlandırma empedanslarının belirlenmesi olarak tanımlanabilir [1]-[2]. Transistörün lineer iki kapılı küçük işaret modelinin karakterizasyonu transistörün çalışma bölgesi içinde 2 ana aşamada yapılabilir; ilk olarak, performans denklemleri (gürültü ( $F$ ), giriş VSWR ( $V_i$ ), kazanç ( $G_T$ )), kararlılık koşulları kapsamında giriş empedansı düzleminde ( $Z_{in}$ ) tanımlanılır. Sonrasında giriş empedansı düzleminde tanımlı olan uyumluluk çemberleri kullanılarak istenilen kazanç, gürültü ve giriş yansıması değerlerine karşılık gelen giriş ve çıkış sonlandırmalarının empedans değerleri elde edilir [3]. Burada transistör modeli olarak transistöre ait her  $V_{DS}$ ,  $I_{DS}$  ve frekans değerlerine karşılık gelen gürültü ve  $S$  parametrelerini veren bir kara kutu modeli kullanılmıştır [4]-[5]. Bir aktif elemanın performans karakterizasyonu lineer devre teorisi, gürültü teorisi, mikrodalga teorisi ve bilgisayar yardımlı tasarım araçlarının gibi birçok farklı çalışma alanının kullanımını birleştiren disiplinler arası bir çalışmadır. Günümüzde genetik, karınca kolonisi, parçacık sürüsü gibi türev içermeyen evrimsel global optimizasyon araçları geniş alanda elektromanyetik problemlere uygulanmaktadır. Özellikle parçacık sürü optimizasyonu kolay uygulanması, daha hızlı ve daha verimli olması gibi yönleriyle diğerlerine nazaran daha popülerdir.

Bu çalışmada, bir transistörün seçilen çalışma koşulları altında performans karakterizasyonu yapılacaktır ve parçacık sürü algoritması kullanılarak uydurma devreleri optimize edilecektir. Çıkan sonuçlar performans karakterizasyonu ile karşılaştırılacaktır. Böylece, düşük gürültülü geniş bantlı bir kuvvetlendiricinin belirlenen çalışma koşulları altında ( $V_{DS}, I_{DS}$ ) kompleks programlara ihtiyaç duymadan basit ve verimli bir tasarımı gerçekleştirecektir.

## 2. Kuvvetlendirici Tasarımı

Aktif eleman olarak FET kullanan bir temel mikrodalga kuvvetlendirici devresinde, aktif eleman çalışma bandı içindeki her bir frekans değerinde uyumlu performans çemberleri olan ( $F$ ,  $V_i$ ,  $GT$ ) ve bu çemberlere uygun sonlandırma empedansları ( $Z_S$ ,  $Z_L$ ) bulunan bir lineer iki kapılı ile temsil edilebilir (Şekil 1). Dahası,  $Z_S$  ve  $Z_L$  sonlandırmaları darlington eşitliklerinin uygulanabildiği giriş ve çıkış uydurma devreleri olarak modellenebilir. Burada ( $Z_S$ ,  $Z_L$ ) sonlandırma çifti aşağıdaki lineer olmayan  $F$ ,  $V_i$ ,  $GT$  denklemlerinin gerekli fiziksel kısıtlamalar altında eş-zamanlı çözümüdür [1, 2].

$$F = \frac{(S/N)_i}{(S/N)_o} = F\{Z_S\} = F_{min} + \frac{R_n}{|Z_{opt}|^2} \frac{|Z_S - Z_{opt}|^2}{R_s} \quad (1)$$

$$V_i = V_i\{R_s, X_s, R_L, X_L\} = \frac{1 + |\rho_{in}|^2}{1 - |\rho_{in}|^2}, |\rho_{in}| = \left| \frac{Z_S - Z_{in}^*}{Z_S + Z_{in}} \right| \quad (2)$$

$$G_T\{Z_S, Z_L\} = \frac{P_L}{P_{AVS}} = \frac{4.R_S.R_L|z_{21}|^2}{|(z_{11} + Z_S)(z_{22} + Z_L) - z_{12}.z_{21}|^2} \quad (3)$$

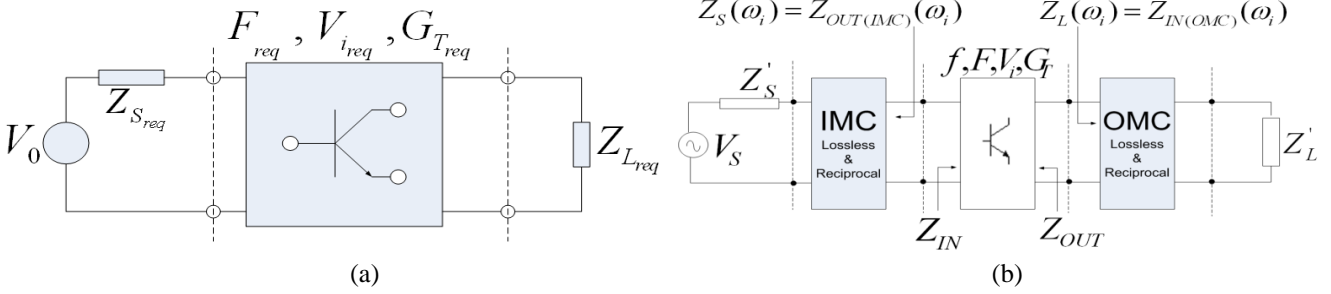
Kuvvetlendiricinin osilasyon yapmaması için gerekli olan fiziksel kısıtlamalar aşağıdaki denklemlerle ifade edilebilir.

$$\text{Re}\{Z_{in}\} = \text{Re}\left\{z_{11} - \frac{z_{12}z_{21}}{z_{22} + Z_L}\right\} > 0 \quad (4)$$

$$\text{Re}\{Z_{out}\} = \text{Re}\left\{z_{22} - \frac{z_{12}z_{21}}{z_{11} + Z_S}\right\} > 0 \quad (5)$$

$$F_{req} > F_{min}, V_{ireq} > 1, G_{Tmin} \leq G_T \leq G_{Tmax} \quad (6)$$

Burada,  $z_{ij} = r_{ij} + jx_{ij}; i, j = 1, 2$  açık devre parametreleridir. Ayrıca  $F_{min}, R_N, Z_{opt} = R_{opt} + jX_{opt}$  transistörün belirlenen DC çalışma koşulları altındaki gürültü parametreleridir. Denklem (4) ve (5) sistemin kararlılığını sağlayan denklemlerdir. Bu çalışmada, hedef uzayı olarak maksimum kazanç ( $G_{Tmax}$ ) ve minimum gürültü ( $F_{min}$ ) seçilmiştir.



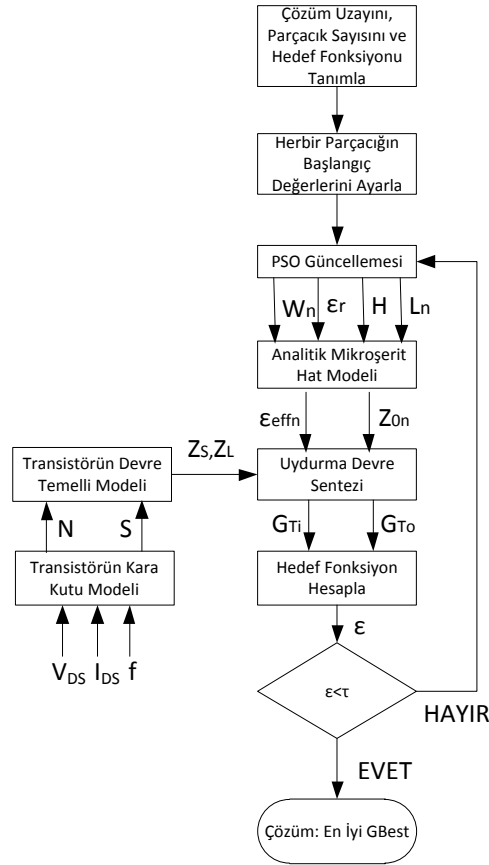
Şekil 1. (a)Uyumlu sonlandırmalarla tansistör (b)  $Z_S(w)$ ,  $Z_L(w)$  sonlandırmaları için transistör darlington eşdeğeri

### 3. Parçacık Sürü Optimizasyonu

PSO algoritması çeşitli alanlarda çok boyutlu optimizasyon problemlerini çözme kapasitesine sahip evrimsel bir algoritmadır. Kennedy and Eberhart [6]'ın 1995'te bu algoritmayı geliştirmesinden bu yana Genetik Algoritma (GA) ve Simulated Annealing (SA) gibi diğer optimizasyon algoritmalarına etkili bir rakip olarak giderek artan bir popülerlik kazanmıştır. PSO çalışma mantığı olarak genetik algoritmaya benzer bir yapıya sahiptir; ilk olarak parçacıklara rastgele ilk değer atanmasıyla başlar ve hedef değeri hesaplar, hedef değerin istenilen değere yaklaşmasını sağlayacak şekilde değişkenlerin güncelleştirmesini yapar ve hedef değerin istenilen değere yaklaşması sonucu optimizasyonu durdurur [6]. Ancak, genetik gibi çaprazlama ve mutasyon kullanmaz, popülasyonu en iyi parçacığı kullanarak güncelleştirir. N-boyutlu bir problem için, parçacıkların pozisyon ve hız matrisleri  $M \times N$  boyutludur. Burada M sürüdeki parçacık sayısıdır. Pozisyon matrisindeki her bir satır olası bir çözümü göstermektedir. Herbir parçacığın hızı o andaki konumunun daha iyi bir hedef değere ait konuma olan uzaklığına bağlıdır. Herbir iterasyonda hız matrisini güncelleyebilmek için bütün parçacıkların global ve kişisel en iyi değerlerinin yer vektörleri bilinmelidir. Kişisel en iyi  $P_{besti} = (P_{besti1}, P_{besti2}, \dots, P_{bestiN})$  olarak gösterilir. Global en iyi pozisyon vektörü tüm çözüm uzayındaki başarılı en iyi hedef değerlerin yer vektörlerini tanımlar ve  $G_{besti} = (G_{best1}, G_{best2}, \dots, G_{bestN})$  olarak gösterilir. Böylece, PSO'nun ihtiyacı olan tüm bilgi  $X, P, P_{best}$  and  $G_{best}$  matrislerinde mevcuttur. PSO algoritması her iterasyonda bu matrislerin bir çekirdek denkleme bağlı olarak güncellenmesine bağlı bir yöntemdir. Bu çalışmada PSO çekirdek denklemi aşağıdaki gibi verilmiştir.

$$v_{mn}^t = wv_{mn}^{t-1} + c_1 U_{n1}^t (p_{mn}^t - x_{mn}^{t-1}) + c_2 U_{n2}^t (g_t - x_{mn}^{t-1}) \quad (7)$$

Burada, t ve t1 şimdiki ve önceki iterasyonu temsil edenzaman indeksidir,  $U_{n1}$  ve  $U_{n2}$  [0,1] aralığında düzgün dağılımlı rastgele sayılardır ve bu sayılar herbir parçacık için farklı değere sahiptir.  $c_1$  ve  $c_2$  öğrenme faktörüdür ve genellikle  $c_1 = c_2 = 2$  olarak alınır. w eylemsizlik katsayısı denilen [0,1] aralığında değişen global aramalar için büyük değer alan yerel aramalar için küçük değerler alan bir sayıdır. Eylemsizlik katsayısı w başlangıçta 1 e yakın alınır sonra giderek azalır. Şekil 2' te PSO'nun akış diyagramı verilmiştir. İlk aşamada fiziksel ve yakınsama parametreleri atanmıştır. 2. aşamada pozisyon, hız kişisel ve global en iyi matrisleri random olarak başlatılmaktadır. Her bir iterasyonda hedef değeri hesaplanıp kişisel ve global en iyilere göre yeniden güncellemeler yapılmaktadır. Algoritma istenilen hedef değere ulaşılması veya maksimum iterasyon sayısına ulaşılması optimizasyonu sonlandırılır.



Şekil 2. PSO Algoritması

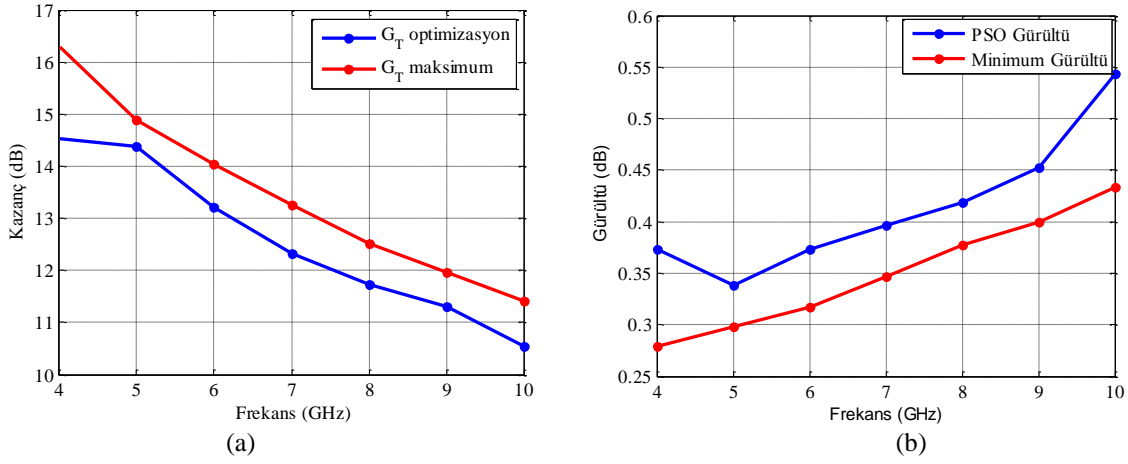
Bu çalışmada, çalışma bandı boyunca maksimum kazanç, minimum gürültü ve istenilen bir giriş VSWR'si için performans karakterizasyonundan elde edilen  $Z_S$  ve  $Z_L$  uydurma sonlandırma empedanslarının mikroşerit pasif hatlar ile tasarımı yapılmıştır. Transistör olarak düşük gürültülü NE3503M04 kullanılmıştır. Transistöre ait DC besleme koşulları  $V_{DS}=2$  V  $I_{DS}=20$  mA olarak seçilmiştir. Transistörün bu DC koşul altındaki minimum noise figüre değerleri hedeflenen band boyunca 0.25 ile 0.45 dB arasında kalmaktadır. Giriş ve çıkış uydurma devreleri T şekilli mikro şerit hatlardan oluşmaktadır. Toplam da 6 hat mevcuttur. Her bir mikroşerit hat genişlik ( $W_n$ ) ve uzunluk ( $L_n$ ) değişkenlerine sahiptir, ayrıca taban malzemesinin dielektrik katsayısı ( $\epsilon_r$ ) ve kalınlığı ( $H$ ) değişken olarak alınmıştır. Yani 14 tane optimizasyon değişkeni vardır.  $c1=c2=2$ , maksimum iterasyon sayısı 500, parçacık sayısı 20 olarak alınmıştır. Hedef fonksiyon olarak;

$$\mathcal{E} = \sum_i (1 - G_{TIMC}(f_i))^2 + \sum_i (1 - G_{TOMC}(f_i))^2 \quad (8)$$

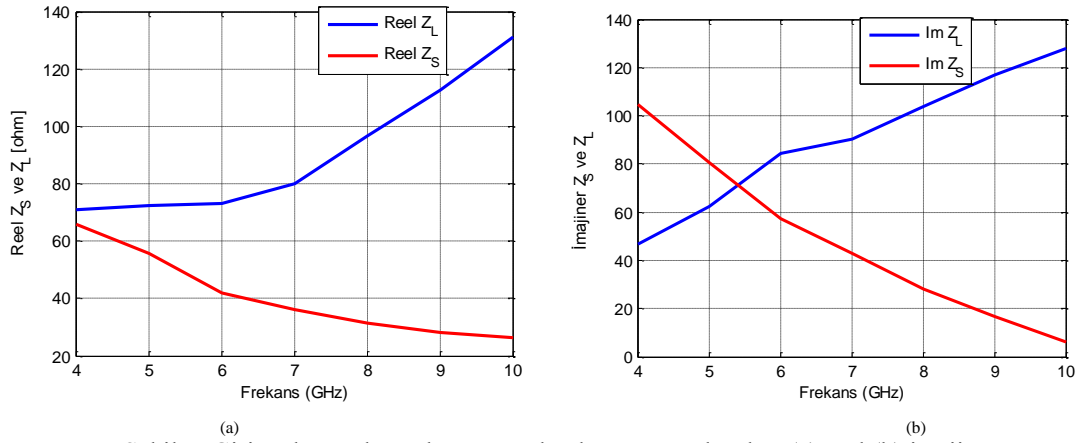
kullanılmıştır. Burada  $G_{TIMC}$  ve  $G_{TOMC}$  giriş ve çıkış uydurma devrelerinin kazancıdır. Tasarım hedefleri olarak 4-10 GHz frekans bandında maksimum kazanç  $G_{Treq} = G_{Tmax}$ , minimum gürültü  $F_{req}(f) = F_{min}(f)$  ve 1.5 VSWR seçilmiştir. Optimizasyon sonucu elde edilen giriş ve çıkış uydurma parametreleri ve taban malzemesi özelliği Tablo 2 de verilmiştir. İlk 3 hat giriş uydurma devresine sonraki 3 hat çıkış uydurma devresine aittir. Şekil 3'te optimizasyondan elde edilen kuvvetlendirici kazancının ve gürültüsünün performans karakterizasyonu ile karşılaştırmalı sonucu verilmiştir. Şekil 4'de giriş çıkış sonlandırma empedansları  $Z_S$ ,  $Z_L$  verilmiştir. Ayrıca optimizasyon sonucundan çıkan taban malzemesi parametrelerinde küçük değişiklikler yapılarak yeniden optimizasyon yapılmış ve bu optimizasyonlara ait elde edilen hedef fonksiyon değeri yani hata değeri ( $\mathcal{E}$ ) Tablo 1 de gösterilmiştir.

Tablo 1. Farklı Taban Malzemesi Değerleri için Optimizasyon Sonuçları

	$\epsilon_r=5.42$ $h=1.12$	$\epsilon_r=5.42$ $h=1.5$	$\epsilon_r=5.42$ $h=0.6$	$\epsilon_r=5$ $h=1.12$	$\epsilon_r=6$ $h=1.12$
Hata ( $\mathcal{E}$ )	0.18	0.317	0.68	0.28	0.26



Şekil 3. (a) Kuvvetlendirici Kazanç (b) gürültü



Şekil 4. Giriş-çıkış uydurmalarının sonlandırma empedansları (a) reel (b) imajiner

Tablo 2. Uydurma Devreleri Optimizasyon Sonucu

	1.Hat	2.Hat	3.Hat	4.Hat	5.Hat	6.Hat
Genişlik (W-mm)	2.2176	2.3372	1.6381	2.68	2.1111	2.9729
Uzunluk (L-mm)	3.0523	4.4079	2.3340	3.4268	4.1363	3.9708
Taban Malzemesi	$\epsilon_r = 5.42$ h=1.12 mm					

#### 4. Sonuç

Bu çalışmada ultra-geniş bantlı düşük gürültülü bir mikroserit kuvvetlendiricinin PSO algoritması ile optimizasyonu yapılmıştır. Optimizasyonda mikroserit genişlik ve uzunluk parametrelerinin yanı sıra taban malzemesi optimizasyonu da gerçekleştirilmiştir. Sonuçlara göre transistörün performans karakterizasyonundan elde edilen maksimum kazancına ve minimum gürültüsüne 4-10 GHz çok yakın sonuçlar elde edilmiştir. Optimizasyondan elde edilen taban malzemesi değerlerinde oynama yapılarak bu değerin en uygun sonucu verdiği gözlemlenmiştir.

#### Kaynaklar

- [1]. F. Gunes, M. Gunes, ve M. Fidan, Performance characterisation of a microwave transistor, IEE Proc Circ Dev Sys 141 1994, s.337–344.
- [2]. F. Gunes ve B.A. Cetiner, A novel smith chart formulation of performance characterisation for a microwave transistor, IEE ProcCirc Devices Syst 145, 1998, s. 419–428.
- [3]. F.Gunes, U.Ozkaya, ve S. Demirel, Performance data sheets for use in the low-noise amplifier design, Int. J RF Microwave Comput-Aided Eng.
- [4]. F. Gunes, H. Torpi, ve F. Gurgun, A multidimensional signal-noiseneural network model for microwave transistors, IEE Proc Circ devicesSyst 145, 1998, s.111–117.
- [5]. F. Gunes, N. Turker, ve F. Gurgun, Signal-noise support vector model of a microwave transistor, Int J RF Microwave Comput-Aided Eng 17 2007, s. 404–415.
- [6]. J. Kennedy ve R.C. Eberhart, Particle swarm optimization, In Proceedings of the IEEE Conference Neural Networks IV, Piscataway, NJ, 1995.