

ALÇAK GEÇİREN MİKROŞERİT FİLTRE TASARIMI, FDTD ANALİZİ ve GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

Sibel GÜNDÜZ, Gonca ÇAKIR, Doğan DİBEKÇİ, Levent SEVGİ*

Kocaeli Üniversitesi
Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü –Kocaeli
gunduzsibel@yahoo.com, gonca@kou.edu.tr, ddibekci@kou.edu.tr

*Doğuş Üniversitesi
Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü
Acıbadem-İstanbul
lsevgi@dogus.edu.tr

Özet: Mikrodalga devre tasarımı mikroişerit filtreler önemli bir yer tutar. Mikroişerit filtreler için yüksek performans, uygun boyut ve ucuzluk gibi kriterler tasarım aşamasında göz önünde bulundurulması gereken esaslardır. Bu çalışmada 1.3 GHz kesim frekansına sahip, 2 GHz frekansında 40 dB’lik bastırma sağlayabilecek alçak geçiren iki farklı mikroişerit filtre ampirik/analitik formüller yardımı ile tasarlanmış, MS-STRIP diye adlandırılan ve PML tipi açık bölge sınır koşullarını kullanan FDTD tabanlı yeni bir yazılım paketi geliştirilip bu paket yardımıyla bilgisayar benzetimleri gerçekleştirilmiş ve laboratuvar ölçümleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar tasarlanan filtrelerin istenilen performansı başarıyla gerçekleştiklerini göstermiştir.

1. Giriş

Mikroişerit filtrelerin, mikrodalga devreleri, radarlar, hücresel haberleşme, test ve ölçüm sistemleri gibi çeşitli uygulama alanları vardır. Küçük boyutlu, ucuz ve üretimleri kolay olduklarında mikroişeritler günümüzde filtre uygulamalarında sıkça kullanılmaktadır. Mikroişerit filtre tasarımı istenen filtre karakteristiğini verecek şekilde bilinen filtre modelleri kullanılarak (Butterworth, Chebyshev v.s.) endüktans (L) ve kondansatör (C) elemanlarının sayısı ve değerleri hesaplanır ve elde edilen LC devresi mikroişerit eşleniğine dönüştürülür. Bu çalışmada Butterworth yaklaşımı kullanılarak 1.3 GHz kesim frekansına sahip, 2 GHz frekansında 40 dB bastırma sağlayabilecek iki farklı boyutlu mikroişerit filtre tasarımı gerçekleştirilmiştir. Bilgisayar benzetimleri, PML tipi açık bölge sınır koşullarını kullanan FDTD (Finite Difference Time Domain Method) tabanlı MS-STRIP diye adlandırdığımız yeni bir yazılım paketi ile yapılmıştır. Tasarlanan filtrenin pratik olarak gerçekleştirilmesinde Rogers firmasının bağıl dielektrik katsayısı 2.2, kalınlığı ise 3.175mm olan RT5880 baskı devre kartı kullanılmıştır. Filtrenin S-parametrelerinin ölçümleri ise Agilent-8714ES vektör network analizörü ile gerçekleştirilmiştir.

2. Mikroişerit Alçak Geçiren Filtre Tasarımı

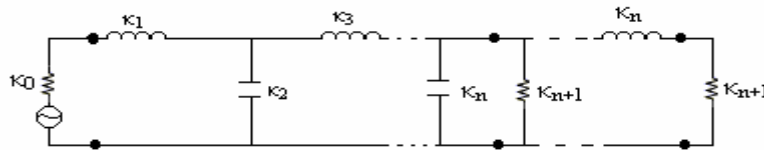
İlk aşamada bağıl dielektrik katsayısı $\epsilon_r=2.2$ ve kalınlığı $h=3.175$ mm olan RT5880 baskı devre kartı kullanılarak, Butterworth yaklaşımı ile 1.3 GHz kesim frekansına sahip, 2 GHz frekansında 40 dB’lik bastırma sağlayabilecek alçak geçiren mikroişerit filtre tasarlanmıştır. Tasarım aşamasının ilk adımı, filtrenin istenilen bastırma oranını sağlayacağı filtre derecesinin belirlenmesidir. Filtre derecesi (n), açısal frekans (ω) olmak üzere olmak üzere

$$L = 10 \log_{10} \left(1 + \left(\frac{\omega}{\omega_1} \right)^{2n} \right) dB \quad (1)$$

denkleminde desibel olarak bastırma oranı (BO) elde edilir [1]. BO = 40 dB için filtre derecesi,

$$n = \frac{1}{2 \log_{10} 1.3} \times \log_{10} (10^{L/10} - 1) \approx 11 \quad (2)$$

olarak hesaplanır. LC tipi toplu elemanlı ve n-parçalı alçak geçiren filtre prototipi Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1. LC tipi n-parçalı alçak geçiren filtre prototipi

Derecesi verilen bir LC tipi filtrenin eleman değerleri prototip devrenin eleman değerlerinden

$$\kappa_k = 2 \sin \left\{ \frac{(2k-1)\pi}{2n} \right\}, \quad k=1, \dots, n \quad (3)$$

kullanılarak elde edilebilir. Tablo 1’de (3) kullanılarak elde edilen 11 dereceli filtrenin prototip eleman değerleri verilmiştir.

Tablo1. Prototip Eleman Değerleri

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
κ_n	0.285	0.83	1.309	1.682	1.92	2	1.92	1.682	1.309	0.83	0.285

Bulunan bu prototip eleman değerleri

$$L_k = \frac{\kappa_k Z_0}{\omega} \text{ H}, \quad C_k = \frac{\kappa_k}{\omega Z_0} \text{ F} \quad (4)$$

Denklemlerine taşınarak gerçek LC değerleri hesaplanabilir [1]. Şekil 1’deki gibi tasarlanan filtrede seri endüktans, paralel kondansatör seçilmiştir. Karakteristik empedans $Z_0=50 \Omega$ ve açısal frekans $\omega=2\pi \times 10^9 \text{ radian.s}^{-1}$ alınarak hesaplanan değerler Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo2: Devre elemanlarının değerleri

κ_k	0.285	0.83	1.309	1.682	1.92	2	1.92	1.682	1.309	0.83	0.285
$L_k(\text{nH})$	2.27		10.4		15.3		15.3		10.4		2.27
$C_k(\text{pF})$		2.64		5.35		6.36		5.35		2.64	

İstenen endüktans ve kondansatör değerleri hattın w/h (w:mikroşerit hat genişliği, h: dielektrik tabakanın kalınlığı) oranı ayarlanarak ve

$$\varepsilon_e = \frac{\varepsilon_r + 1}{2} + \frac{\varepsilon_r - 1}{2} \left(1 + 10 \frac{h}{w} \right)^{-a} \quad a = 0.564 \left(\frac{\varepsilon_r - 0.9}{\varepsilon_r + 3} \right)^{0.053} \quad \dots w/h \leq 1 \quad (5)$$

$$Z_0 = \begin{cases} \frac{60}{\sqrt{\varepsilon_e}} \ln \left(8 \frac{h}{w} + \frac{w}{4h} \right) & \dots w/h \geq 1 \\ \frac{120 \pi}{\sqrt{\varepsilon_e} \left[\frac{w}{h} + 1.393 + 0.667 \ln \left(\frac{w}{h} + 1.444 \right) \right]} & \end{cases} \quad (6)$$

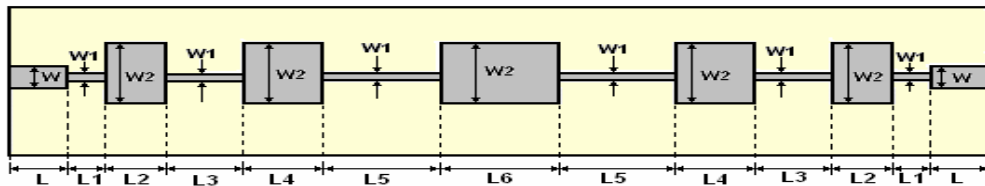
denklemleri kullanılarak mikroşerit yapılar da doğrudan gerçekleştirilebilir [2]. $Z_0 = 50 \Omega$ ’lık hat için ($h=3.175\text{mm}$) mikroşerit hattın genişliği $w=9.525\text{mm}$ bulunur. Gerçekleştirilecek mikroşerit filtre devresinde endüktans elemanları için 101.63Ω ’luk hat ($w_1=3.175\text{mm}$), kondansatör elemanları için 24Ω luk hat ($w_2=25.4\text{mm}$) elde edilir. Yüksek empedanstaki hat için uzunluk ve kapasite değeri (λ_H ve Z_H , sırasıyla yüksek empedanslı mikroşerit hattın dalga boyu ve empedans değeri olmak üzere)

$$l = \frac{\lambda_H}{2\pi} \sin^{-1}(\omega L / Z_H), \quad C_L = \frac{1}{\omega Z_H} \tan \left(\frac{\pi l}{\lambda_H} \right) \quad (7)$$

denklemlerinden hesaplanabilir [1]. Benzer şekilde düşük empedanslı hat için değerler (λ_L ve Z_L sırasıyla yüksek empedanslı mikroşerit hattın dalga boyu ve empedans değeri olmak üzere)

$$l = \frac{\lambda_L}{2\pi} \sin^{-1}(\omega C Z_L), \quad L_C = \frac{Z_L}{\omega} \tan \left(\frac{\pi l}{\lambda_L} \right) \quad (8)$$

kullanılarak elde edilebilir. Devrenin endüktans ve kondansatör değerleri komşu hattaki düzeltme terimleri ile azaltılır [1] ve yeni elde edilen bu eleman değerleri ile hat uzunlukları tekrar hesaplanır. İkinci tasarımda dielektrik tabakanın kalınlığı 1.575 mm alınarak aynı karakteristiği elde etmek için filtre yeniden boyutlandırıldı. Hesaplanan değerler Tablo 3’de, mikroşerit filtrenin yapısı ise Şekil 2’de verilmiştir.



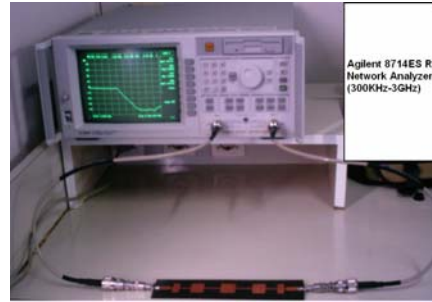
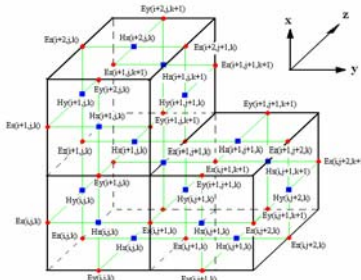
Şekil 2. Tasarlanan alçak geçiren filtre yapısı

Tablo 3. Tasarlanan filtrelerin boyutları

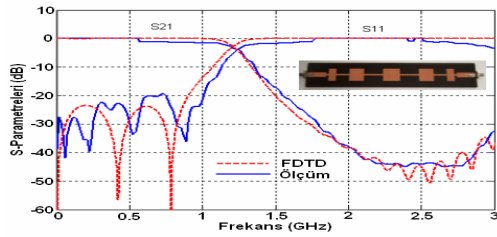
	h	W	W1	W2	L	L1	L2	L3	L4	L5	L6	
Tasarım1	3.175	9.52	3.17	25.4	22.60	3.30	10.14	17.80	19.70	25.47	22.67	(mm)
Tasarım2	1.575	4.72	0.50	31.5	20.00	3.26	5.39	15.79	10.98	24.24	13.09	(mm)

3. FDTD analizi ve Ölçüm Sonuçları

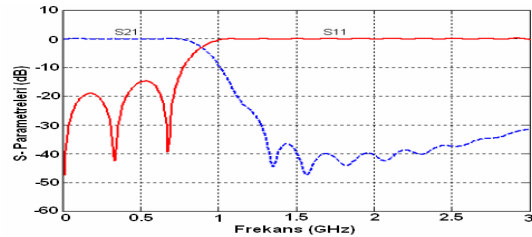
FDTD yöntemi Maxwell denklemlerindeki kısmi türev operatörlerinin sonlu farklar karşılıkları ile değiştirilip doğrudan zaman ve konum düzlemlerinde sayısallaştırılmasına dayanır. Üç boyutlu (3D) problemlerde uzaydaki ayrıklaştırma, Şekil-3’de gösterildiği gibi, Yee tarafından önerilen birim hücre kullanılarak gerçekleştirilmektedir [4]. Filtrelerin S-parametrelerinin frekansla değişimlerinin elde edilmesi için mikroşerit yapıların devre parametrelerini hesaplamak üzere çalışma grubumuzca geliştirilen FDTD tabanlı MS-STRIP paket programı kullanıldı [5]. Tasarlanan birinci filtre yapısının gerçekleştirilmesinde Rogers firmasının bağıl dielektrik katsayısı 2.2, kalınlığı ise 3.175mm olan RT5880 baskı devre kartı kullanılmıştır. S-parametrelerinin ölçümü Agilent-8714ES vektör network analizörü ile gerçekleştirilmiştir (ölçüm düzeneği Şekil 4’de, ölçüm sonuçları ise Şekil 5’te verilmiştir).



Şekil 3. 3D bir yapıda Yee birim hücrelerinin yerleşimi [5] Şekil 4. Ölçüm Düzeneği



(a)



(b)

Şekil-5. Tasarlanan (a) birinci filtrenin FDTD ve ölçüm sonuçları, (b) İkinci filtrenin FDTD analizi.

4. Sonuç

Bu çalışmada Butterworth yaklaşımı kullanılarak 1.3 GHz kesim frekansına sahip, 2 GHz frekansında 40 dB’lik bastırma sağlayabilecek alçak geçiren mikroşerit filtre tasarımı yapılmıştır. Yapılan tasarımın istenilen karakteristiği sağlayıp sağlamadığını test etmek için FDTD tabanlı MS-STRIP programıyla S-parametreleri, benzetim yoluyla elde edilmiş, ardından gerçekleştirilen filtrenin S-parametreleri ölçülmüştür. Gerek analiz gerekse ölçüm sonuçları tasarlanan filtrenin istenilen performansı başarıyla gerçekleştirdiğini göstermiştir.

Kaynaklar

- [1] E.H.Fooks, R.A.Zakarevičius, *Microwave Engineering Using Microstrip Circuits*, Prentice Hall, New York, 1990.
- [2] M. Schneider, “Microstrip Lines for Microwave Integrated Circuits”, *Bell Syst. Tech. J.*, 48, pp.1421-1444, 1969.
- [3] Sevgi L., *Complex Electromagnetic Problems and Numerical Simulation Approaches*, IEEE Press, Piscataway, New Jersey, USA, 2003.
- [4] K. S. Yee, “Numerical Solution of Initial Boundary Value Problems Involving Maxwell’s Equations in Isotropic Media”, *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, AP-14, pp. 302 – 307, 1966
- [5] Çakır G., *Gezgin İletişim Sistemleri İçin Hızlı Yönlendirmeli Mikroşerit Dizi Anten Tasarımı: Analitik Hesaplama, Bilgisayar Benzetimleri Ve Ölçmeler*, Doktora Tezi, Kocaeli Üniv. Fen Bilimleri Enstitüsü, Ocak, 2004.