

KUPLAJLI HATLARDAN OLUŞAN MİKROŞERİT BALUN TASARIMI: ANALİTİK HESAPLAMA, BİLGİSAYAR BENZETİMİ ve ÖLÇÜM

Sibel GÜNDÜZ¹, İpek SUADIYE², Gonca ÇAKIR³, Doğan DİBEKÇİ⁴

Kocaeli Üniversitesi

Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü, Veziroğlu Kampüsü, İZMİT.

sibelgunduz@kou.edu.tr, ipeksuadiye@yahoo.com, gonca@kou.edu.tr, ddibekci@kou.edu.tr

Özet: Literatürde yer alan mikroşerit balun yapılarının çoğu iletim hat parçalarından ya da kuplajlanmış hatlardan oluşmaktadır. Kuplajlı mikroşerit hatlar kullanılarak geniş bantlı balunlar tasarlanabilmektedir. Kuplajlı hat balun tasarımında ard arda bağlanan kuplörlerden faydalanılır. Bu çalışmada 5 bölümden oluşan giriş/çıkış empedansları 50Ω , merkez frekansı 1.5 GHz olan kuplajlı mikroşerit balun, ampirik/analitik formüller yardımı ile tasarlanmış, FDTD yöntemiyle bilgisayar benzetimleri gerçekleştirilmiş ve laboratuvar ölçümleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar tasarlanan balunun istenilen performansı başarıyla gerçekleştirdiğini göstermiştir.

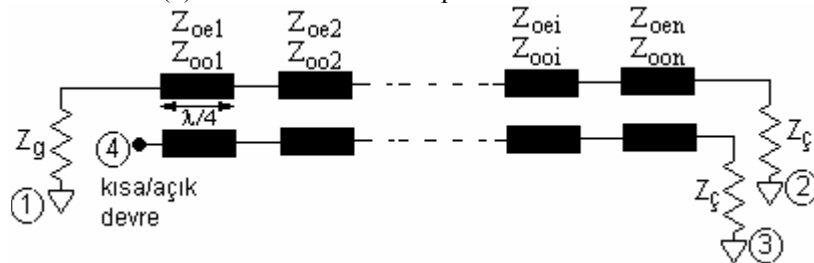
1. Giriş

Mikroşerit balunlar, baskı devre kartı ve mikrodalga entegre devreler üzerinde gerçekleştirilebildikleri için maliyetleri oldukça düşüktür. Bu nedenle balun tasarımında mikroşeritler tercih edilirler. En basit balun yapısı “paralel hat balun” da denilen kuplajlanmış hat parçasından oluşmaktadır. Bu yapı çalışma frekansı için çeyrek dalga boyu uzunluğundadır. Hatlar arasındaki kuplajlanmanın yeterince büyük olması sağlanırsa yüksek bant genişliklerine erişmek mümkün olur. Bunu sağlamak için ise çoklu kuplajlanmış hat yapısı kullanılabilir.

Çeyrek dalga boylu kuplajlı hat parçalarının yardımıyla çok bölümlü kuplajlı mikroşerit balun yapısı oluşturulabilir. Bu yapı, birkaç basit kuplajlanmış ve kuplajlanmamış hat bölümlerinin kaskat bağlanması ile meydana getirilir [1]. Bu şekilde oluşturulan yapı geniş bantlı bir balun olarak çalışır. Bu çalışmada çok bölümlü mikroşerit balun yapısı tasarlanmıştır. Tasarlanan mikroşerit balun yapısı, 5 bölümden oluşup, giriş/çıkış empedansları (Z_g/Z_c) 50Ω dur. Merkez frekansı 1.5 GHz olan bu kuplajlı mikroşerit balun, ampirik/analitik formüller yardımı ile tasarlanmış, FDTD yöntemiyle bilgisayar benzetimleri gerçekleştirilmiş ve laboratuvar ölçümleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar tasarlanan balunun istenilen performansı başarıyla gerçekleştirdiğini göstermiştir. Tasarlanan mikroşerit balunun S-parametrelerinin ölçümleri Agilent-8714ES vektör network analizörü ile gerçekleştirilmiştir.

2. Kuplajlı Mikroşerit Balun Tasarımı

Tasarlanmış olan beş bölümlü mikroşerit balunda, her bir bölüm kuplör tasarımında izlenen yol ile tasarlanır. Tek numaralı bölümlerde kuplajlanmanın olduğu, çift numaralı bölümlerde ise kuplajlanmanın olmadığı varsayılarak bu koşulu sağlayabilecek uygun hat genişlikleri hesaplanır. Genellikle balun tasarımlarında, daha iyi faz karakteristiği sağladığı için tek sayıda bölümler kullanılır. Şekil 1.’den de görüldüğü üzere çok bölümlü kuplajlı hatlardan oluşan mikroşerit balun, tek ve çift mod empedanslı hatlardan meydana gelir. Tek ve çift mod empedansları, 4 no’lu kapının kısa/açık devre olmasına göre farklı yaklaşımlar ile hesaplanır. Tasarımlarda, çift mod empedansı (Z_{oe}) mümkün olduğunca büyük tutulmaya çalışılır. Tek mod empedansı (Z_{oo}) ise 4 no’lu kapının kısa devre olduğu kabul edilirse (1) no’lu denklem ile hesaplanabilir.



Şekil 1. Çok bölümlü kuplajlı hat balunun şematik gösterimi.

$$Z_{oo} = \sqrt{\frac{Z_g Z_c}{2}} \quad (1)$$

$Z_g=Z_c=50 \Omega$ iken tek mod empedansı $Z_{oo}=35.35 \Omega$ olarak elde edilir. Ayrıca balunun yapısında bulunan her bir bölümünün tek ve çift mod empedanslarının da bulunması gereklidir. Bu amaçla (2) ve (3) no'lu denklemler kullanılır. n 'in tek olduğu durumlar için;

$$Z_{oo} = \frac{Z_{oo1} \cdot Z_{oo3} \cdots Z_{oon}}{Z_{oo2} \cdot Z_{oo4} \cdots Z_{oo(n-1)}} \quad (2)$$

$$Z_{oe} = \frac{Z_{oe1} \cdot Z_{oe3} \cdots Z_{oen}}{Z_{oe2} \cdot Z_{oe4} \cdots Z_{oe(n-1)}} \quad (3)$$

Çift mod empedansının (Z_{oe})'nin değerinin yüksek olması gerektiği göz önünde bulundurulursa Z_{oei} 'lerin tek numaralı bölümlerdeki değerinin yüksek, çift numaralı bölümlerdeki değerinin düşük olması gerektiği görülür. Z_{ooi} 'lerin değerleri ise $Z_{oo}=35.35 \Omega$ değerini sağlayacak şekilde seçilmelidir. Ayrıca ikinci ve dördüncü bölümlerde $Z_{oe}=Z_{oo}$ olmalıdır.

Tasarıma uygun Z_{oei} ve Z_{ooi} değerlerinin seçilmesiyle başlanır. İlk iki bölüm için belirlenen empedans değerleri sonraki bölümlerde ardışık olarak birbirini tekrar eder ($Z_{oe1}=Z_{oe3}=Z_{oe5}$ ve $Z_{oe2}=Z_{oe4}$). Bu durum tek mod empedansları (Z_{oo}) için de geçerlidir. Tek bölümlerin Z_{ooi} değeri 35Ω olarak seçilirse (2) no'lu denklemin yardımıyla çift bölümlerin Z_{ooi} değeri 35Ω olarak elde edilir. Bölümlerin çift mod empedansının hesabı biraz daha karışıktır. Z_{oei} değerleri için dielektrik tabakanın kalınlığı h , şeritlerin genişliği w , kuplajlı hatlar arasındaki mesafe s gibi parametrelerin yardımına ihtiyaç duyulur.

Birinci bölüm için u ve g değerlerini; $u=w/h=2\text{mm}/1.5\text{mm}=1.33$ ve $g=s/h=0.3\text{mm}/1.5\text{mm}=0.2$ şeklinde seçelim. Bu aşamada kuplör tasarımında kullanılan formüllerden yararlanılır [2]. Bu formüllerin yardımı ile çift ve tek mod empedansları elde edilir. Elde edilen bu empedanslar balun tasarımı için gerekli kuplajlamayı sağlayıp sağlamadığı kontrol edilir. İstenilen kuplajlama etkisini verebilen u ve g parametreleri tasarım için kullanılır.

$$Q_1 = 0.8695 \times u^{0.194}, \quad Q_2 = 1 + (0.7519 \times g) + (0.189 \times g^{2.31}) \quad (4)$$

$$Q_3 = 0.1975 + \left[16.6 + (8.4 / g)^6 \right]^{0.387} + \ln \left[\frac{g^{10}}{1 + (g / 3.4)^{10}} \right] \frac{1}{241} \quad (5)$$

$$Q_4 = 2 \frac{Q_1}{Q_2} \left[(e^{-g} \times u^{-3}) + (2 - e^{-g}) \times u^{-Q_3} \right]^{-1}, \quad Q_5 = 1.794 + 1.14 \ln \left[1 + \frac{0.638}{g + 0.517 g^{2.43}} \right] \quad (6)$$

$$Q_6 = 0.2305 + \ln \left[\frac{g^{10}}{1 + (g / 5.8)^{10}} \right] \frac{1}{281.3} + \ln(1 + 0.598 g^{1.154}) \frac{1}{5.1} \quad (7)$$

$$Q_7 = (10 + 190 g^2) / (1 + 82.3 g^3), \quad Q_8 = e^{-6.5 - 0.95 \ln(g) - (g / 0.15)^5} \quad (8)$$

$$Q_9 = \ln(Q_7) \times (Q_8 + \frac{1}{16.5}), \quad Q_{10} = \frac{Q_2 Q_4 - Q_5 e^{\ln(u) Q_6 u^{-Q_9}}}{Q_2} \quad (9)$$

Q_n değerleri hesaplandıktan sonra çift ve tek mod için efektif dielektrik sabitlerinin değerlerinin de yardımıyla Z_{oei} 'lerin hesabına geçilir:

$$Z_{oe1} = Z_c \sqrt{\frac{\epsilon_{eff}}{\epsilon_{effe}}} \left[1 - \left(\frac{Z_o}{377} \right) \sqrt{\epsilon_{eff}} Q_4 \right]^{-1} = 60.50 \Omega \quad (10)$$

$$Z_{oo1} = Z_c \sqrt{\frac{\epsilon_{eff}}{\epsilon_{effo}}} \left[1 - \left(\frac{Z_o}{377} \right) \sqrt{\epsilon_{eff}} Q_{10} \right]^{-1} = 34.23 \Omega \quad (11)$$

Elde edilen bu empedans değerlerinin tasarımın başlangıç koşullarını sağlayıp sağlamadığı kontrol edilmelidir. (10) no'lu denklemin yardımıyla Z_{oe2} ve Z_{oe4} 'ün 34.23Ω olması durumunda; $Z_{oe}=189 \Omega$ olur ki bu değer de çift mod empedansının yüksek olma koşulunu sağlar. İkinci ve dördüncü bölüm için elde edilen bu empedans değerleri için mikroşerit hattın genişliği, bağıl dielektrik katsayısı $\epsilon_r=4.9$, dielektrik tabaka yüksekliği $h=1.5 \text{ mm}$ olan mikroşerit için $w=4.5 \text{ mm}$ olarak bulunur. Ayrıca çift numaralı olan bu bölümler için hatlar arasındaki mesafenin belirlenmesi de oldukça önemlidir. Bu bölümlerde hatlar arasında kuplajlamanın olmaması gerekli idi. $s/h > 1$ oranı için kuplajlama olmaz [3]. $h=1.5 \text{ mm}$ için hatlar arasındaki boşluğun $s > 1.5 \text{ mm}$ olması gereklidir. Tasarımı yapılan balun yapısında hatlar arasındaki mesafe $s=5.3 \text{ mm}$ olarak alınabilir. Sonuç itibari ile tek sayılı bölümlerde hatlar arasındaki mesafe $s=0.3 \text{ mm}$, çift sayılı bölümlerde ise $s=5.3 \text{ mm}$ olarak bulunur.

Buraya kadar her bir bölümdaki hatların genişlikleri ve hatlar arasındaki mesafe belirlenmiştir. Bu aşamadan sonra ise her bir bölümde kullanılan hatların uzunlukları belirlenmelidir. Kuplörlerden yararlanarak tasarlanan bu yapıda her bir bölüm $\lambda/4$ uzunluğunda olmalıdır. Mikroşerit hatta yayılan dalganın dalga boyu:

$$\lambda = \frac{c}{f \times \sqrt{\epsilon_{eff}}} \quad (12)$$

İle hesaplanır. (12) no'lu formül yardımıyla tek ve çift numaralı bölümlerin dalga boyları sırası ile 26.5 mm ve 25.5 mm olarak elde edilir. Ampirik formüllerin yardımıyla yapılan bu tasarımda elde edilen boyutlar Tablo 1'de yer aldığı gibidir.

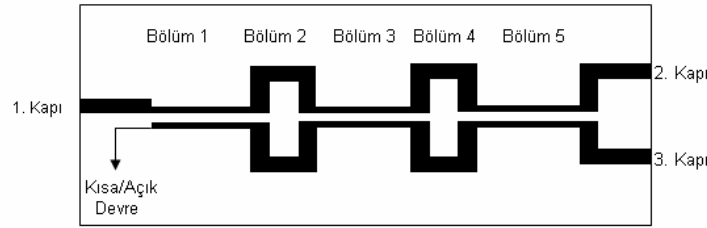
Tablo1. Kuplajlı hatlardan oluşan mikroşerit balun yapısının boyutları.

	1. Bölüm	2. Bölüm	3. Bölüm	4. Bölüm	5. Bölüm
Z_{oei} (Ohm)	60.50	34.23	60.50	34.23	60.50
Z_{ooi} (Ohm)	34.23	34.23	34.23	34.23	34.23
Hat genişliği (mm)	2	4.5	2	4.5	2
Boşluk (mm)	0.3	5.3	0.3	5.3	0.3
Hat uzunluğu (mm)	26.5	25.5	26.5	25.5	26.5

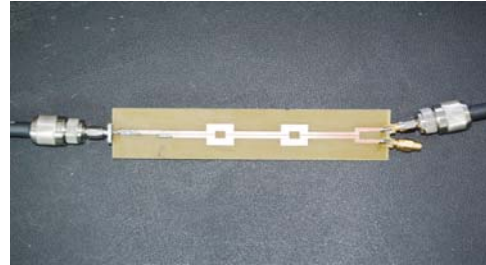
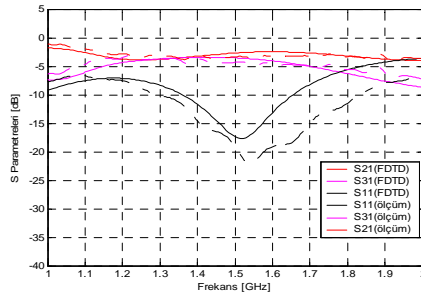
Bu boyutlar ile pratik gerçekleştirilmesi yapılan mikroşerit balunun genel yapısı Şekil 2'de yer aldığı gibidir.

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. Balunun S-parametrelerinin frekansla değişimlerinin elde edilmesi için mikroşerit yapıların devre parametrelerini hesaplamak üzere çalışma grubumuzca geliştirilen FDTD tabanlı MSTRIP paket programı kullanıldı [4]. Tasarlanan balun yapısının gerçekleştirilmesinde bağlı dielektrik katsayısı 4.9, kalınlığı ise 1.5mm olan baskı devre kartı kullanılmıştır. S-parametrelerinin ölçümü Agilent-8714ES vektör network analizörü ile gerçekleştirilmiştir. Mikroşerit balun yapısının pratik gerçekleştirilmesi ve analiz/ölçüm sonuçları Şekil 3'de verilmiştir.



Şekil 2. Tasarlanan Mikroşerit balun yapısı.



Şekil 3. FDTD analizi ve ölçüm sonuçları (solda), pratik gerçekleştirme (sağda).

4. Sonuç

Bu çalışmada mikroşerit kuplörlerin amprik formüllerinden yola çıkarak, çok bölümlü kuplajlı mikroşerit balun yapısı tasarlanmıştır. Tasarlanan balun yapısının giriş ve çıkış kapıları 50Ω olup, 1.5 GHz 'de çalışmaktadır. Yapılan tasarımın istenilen karakteristiği sağlayıp sağlamadığını test etmek için FDTD tabanlı MSTRIP programıyla S-parametreleri, benzetim yoluyla elde edilmiş, ardından gerçekleştirilen balunun S-parametreleri ölçülmüştür. Yapılan analiz ve ölçüm sonuçları tasarlanan balunun istenilen performansı başarıyla gerçekleştirdiğini göstermiştir.

Kaynaklar

- [1] K. Ang, Y. Leong ve C. Lee, February 2003, "Multisection Impedance-Transforming Coupled-Line Baluns", IEEE Transactions On Microwave Theory And Techniques, Vol.51, No.2.
- [2] Kinayman, Noyan, Aksun, M.I., 2005, Modern Microwave Circuits, Artech House, Norwood, USA.
- [3] Pozar, D. M., 2005, Microwave Engineering, John Wiley and Sons, New York.
- [4] Sevgi L. Complex Electromagnetic Problems and Numerical Simulation Approaches, IEEE Pres, 2003.