

Sol-Elli Metamateryal Tabakanın Eşdeğer Devre Modeli

Adnan Sondaş ve Yunus E. Erdemli
Kocaeli Üniversitesi
Elektronik ve Bilgisayar Eğitimi Bölümü
Umuttepe, 41380 Kocaeli
asondas@kou.edu.tr, yunusee@kou.edu.tr

Özet: *Bildiride, yarık-halka rezonatörü ve metal şeritleri temel alan metamateryal yapıları için basit bir eşdeğer devre modeli önerilmektedir. Bu çalışmada, periyodik bir dizi simülatörü ile ilgili yapının geometrik parametreleri için bir dizi simülasyon gerçekleştirilmekte ve bu analiz sonuçları bir eğri uydurma algoritmasında kullanılarak, yapının fiziki boyutlarını, önerilen devre modelindeki eleman değerlerine bağlayan tasarım karakteristikleri elde edilmektedir.*

1. Giriş

Metamateryal yapılar, ϵ -negatif (ENG) ve/veya μ -negatif (MNG) özellikleriyle mikrodalga uygulamalarının ilgi odağı haline gelmişlerdir [1], [2]. ENG özellik gösteren metal şerit dizisi, MNG özellik gösteren yarık halka rezonatör (split-ring resonator: SRR) dizisi ve bu iki dizinin bir araya getirilmesiyle oluşturulan, ENG/MNG özelliğe sahip sol-elli malzemeler (left-handed metamaterial: LHM) bu yapılara iyi birer örnekler [3].

Metamateryal yapılarının tasarımında; temelde deneme-yanılma yöntemini benimseyen bir yaklaşım kullanılabilir. Bu yöntemde; yapının önemli görülen her bir parametresine bağlı olarak bir dizi simülasyon gerçekleştirilmekte ve bu sonuçlara göre de optimum performansı sağlayacak tasarım belirlenmektedir [4]. Böyle bir yaklaşım yerine; metamateryal geometrisine ait bir eşdeğer devre modeli kullanıldığında, tasarım daha sistematik ve hızlı bir şekilde gerçekleştirilebilir.

Bu çalışmada; şerit, SRR ve şerit/SRR dizilerinin eşdeğer devre modellenmesine yer verilecektir. Önerilen modeldeki endüktans ve kapasitans (L/C) değerlerinin tespitinde, Şekil 1’de blok diyagramı verilen algoritma kullanılmaktadır. Bu yöntemde; öncelikle ilgili yapının iletim karakteristiği periyodik bir dizi simülatörü [5] aracılığıyla elde edilmekte, daha sonra eğri uydurma algoritması ile devre modelindeki eleman değerleri tespit edilmektedir. İşlem farklı boyuttaki yapılar için tekrarlandığında, L/C elemanlarını ilgili parametrelere bağlayan tasarım karakteristikleri elde edilmektedir.

2. Eşdeğer Devre Modeli

Bu bölümde, sırasıyla metal şerit, SRR ve şerit/SRR dizileri için eşdeğer devre modelleri incelenecektir. İlgili devre modellerindeki L/C eleman değerlerinin tespitinde Şekil 1’deki algoritma kullanılmıştır. İncelenen metamateryal yapıların tam-dalga analizi, hibrit sonlu eleman/sınır integrali metodunu temel alan, hızlandırılmış periyodik bir dizi simülatörü ile gerçekleştirilmektedir [5]. Simülatörde, x - y düzleminde sonsuz-periyodik ve z doğrultusunda sonlu-periyodik yapıların analizi için tek bir birim hücre geometrisini modellemek yeterli olmaktadır. Her bir yapının simülasyon sonucunda elde edilen frekansa (f) bağlı iletim karakteristiği ($|T(f)|$) ile önerilen iki kapılı eşdeğer devrenin $|S_{21}(f)|$ karakteristiği eğri uydurma algoritması içinde uygunlaştırılmakta ve farklı fiziksel parametrelere bağlı L/C değerleri tespit edilmektedir. Prototip devre modelleri, EM dalganın ilerleme yönünde tek katlı metamateryal yapıları için elde edilmektedir. Çok katlı yapılara ait eşdeğer devreler ise tek katlı prototip devrelerin seri bağlanmasıyla sağlanabilir. Eşdeğer devre modellerindeki eleman değerleri, incelenen şerit/SRR yapısının iletim bandının yer aldığı 4–8 GHz frekans aralığı göz önüne alınarak optimize edilmiştir.

Şekil 2’de birim hücresi verilen metal şerit dizisi, yüksek-geçiren filtre karakteristiği göstermektedir [4]. Dolayısıyla, 1-katlı (2-şeritli) dizinin devre modelinde, yüksek-geçiren basit LC prototipi kullanılmıştır (Şekil 2). Modelde belirtilen L_1 , C_1 , C_2 eleman değerlerinin, şerit genişliği w ve şeritler arası mesafe s ’ye bağlı değişimleri Şekil 2’de verilmiştir. Görüldüğü üzere; s ’deki artışın, L_1 ve C_1 değerlerini etkilemediği, ancak C_2 ’de artışa neden olduğu gözlenmektedir. w değerindeki artış ise, C_1 ve C_2 değerlerinde azalmaya ve L_1 ’de artışa sebep olmaktadır.

Şekil 3’te birim hücresi verilen SRR dizisi, bant-durduran filtre karakteristiği göstermektedir [4]. Dolayısıyla, 1-katlı SRR dizisinin devre modeli için bant-durduran basit LC prototipi seçilmiştir (Şekil 3). Modelde belirtilen L/C eleman değerlerinin, halka genişliği w , yarık aralığı g ve SRR elemanları arasındaki yatay mesafe t ’ye bağlı değişimleri Şekil 3’te verilmiştir. Görüldüğü üzere; bu boyutlardaki artışın, L_1 , L_2 ve C_3 değerlerini çok fazla etkilemediği gözlenmektedir. Fakat t ’deki artış L_3 değerinde nispeten artışa neden olurken, g ’deki artış ise L_3 değerinde azalmaya

sebeptir. Modelde yer alan C_1 ve C_2 elemanlarının ise, ilgili frekans bandında iletim karakteristiğini etkilemediği tespit edilmiştir.

Metal şerit ve SRR dizilerinin bir araya getirilmesi sonucunda oluşturulan LHM yapısı bant-geçiren filtre karakteristiği göstermektedir [4]. 1-katlı LHM yapısının eşdeğer devre modeli için SRR ve şerit dizileri için önerilen devre modelleri bir araya getirilmiştir (Şekil 1). Bu modelde “p” ve “s” ile indislenmiş elemanlar, sırasıyla SRR ve metal şerit dizilerinin devre modellerine ait elemanlardır. LHM yapısı için tanımlanan ve eleman değerleri optimize edilmiş hibrit model ve ilgili LHM yapısının iletim karakteristikleri Şekil 4’te verilmiştir. Görüldüğü üzere, simülasyon ve önerilen eşdeğer devre modeline ait karakteristikler oldukça uyumaktadır. Ancak önerilen devre modeli, 1. dereceden basit bir prototip yaklaşımı olması sebebiyle, beklendiği üzere yüksek frekans değerlerinde doğruluk derecesi azalmaktadır.

Şimdiye kadar incelenen yapılar ve prototipleri tek katlı elemanlar için tanımlanmıştır. Çok katlı yapılar için eşdeğer devre modeli, kat sayısına tek katlı yapıya ait modelin tekrarlanmasıyla (seri bağlantı) elde edilebilir. Bu şekilde oluşturulmuş 2-katlı LHM yapısının eşdeğer devre modeli ile ilgili yapının iletim karakteristikleri Şekil 5’te verilmektedir. Görüldüğü üzere; önerilen basit LC prototip yaklaşımı, çok katlı metamaterial yapılar için de oldukça iyi sonuçlar sağlamaktadır.

3. Sonuçlar

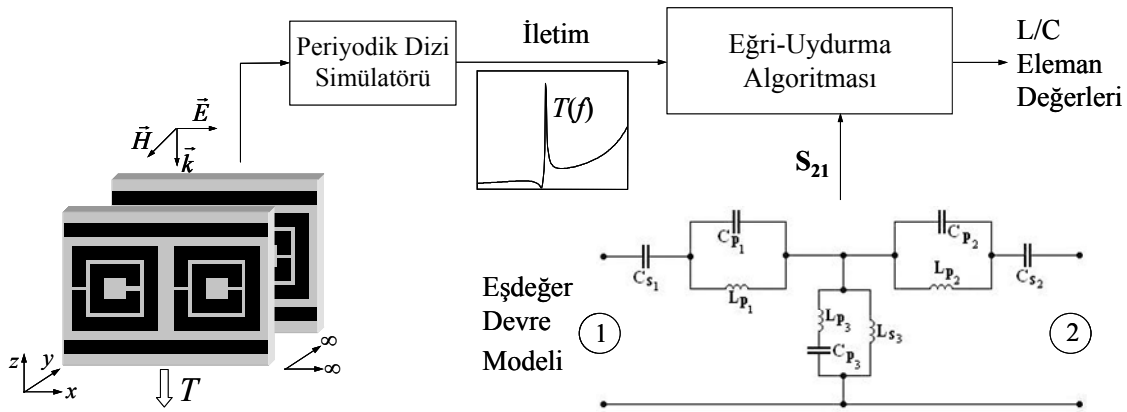
Bu çalışmada, şerit, SRR ve şerit/SRR (LHM) yapıları için LC eşdeğer devre modelleri önerilmiştir. Öncelikle, periyodik dizi simülatörü ile ilgili yapıların farklı parametreleri için simülasyonlar gerçekleştirilmiş ve bu simülasyon sonuçları bir eğri uydurma algoritmasında kullanılarak yapının boyutları ile önerilen devre modellerindeki eleman değerlerini birbirine bağlayan tasarım eğrileri elde edilmiştir. Tek katlı yapılar için önerilen devre modelleri, çok katlı yapılar için de doğrulanmıştır. Tasarlanacak metamaterial yapıların performans analizi için, hesaplama bakımından daha az masraflı devre modelleri kullanılabilir ve istenilen iletim performansına sahip yapıların fiziksel parametreleri ilgili tasarım eğrileri aracılığıyla tespit edilebilir. Böylece, tasarım daha sistematik ve hızlı bir şekilde gerçekleştirilebilir.

Teşekkür

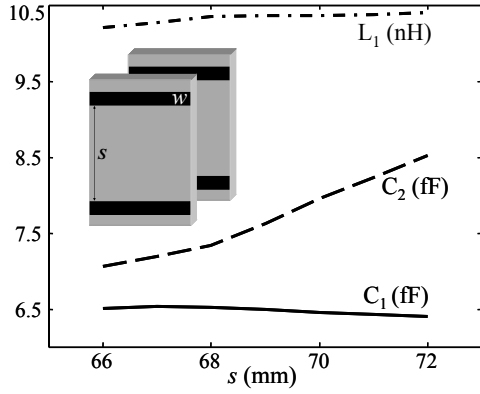
Bu çalışma, Kocaeli Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından desteklenmektedir (No:2005/15).

Kaynaklar

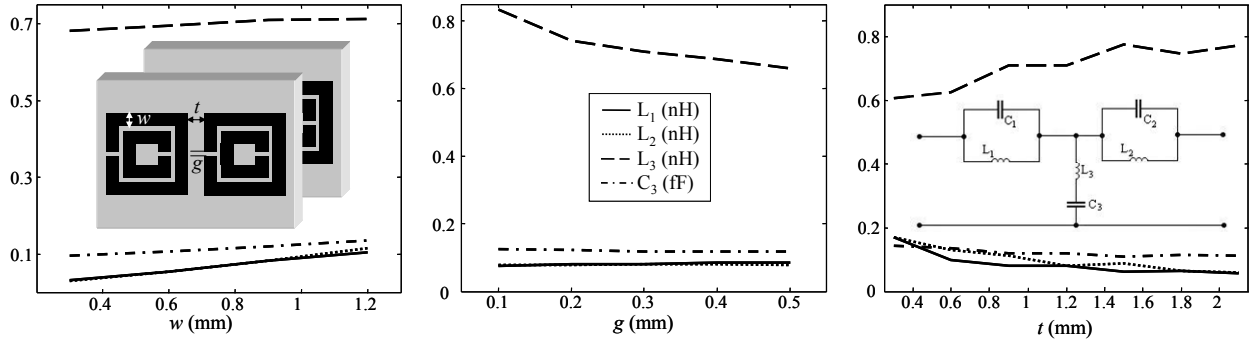
- [1]. “Special issue on metamaterials”, IEEE Trans. Antennas Propag., 51(10), 2003.
- [2]. “Special issue on metamaterial structures, phenomena, and applications”, IEEE Trans. Microwave Theory Tech., 53(4), 2005.
- [3]. Smith D. R., Padilla W. J., Vier D. C., Nemat-Nasser S. C. ve Schultz S., “Composite medium with simultaneously negative permeability and permittivity”, Phys. Rev. Lett., 84(18), s. 4184–4187, 2000.
- [4]. Sondaş A. ve Erdemli Y. E., “Numerical analysis of a composite left-handed slab using the finite element method”, IEEE Antennas Propagat. Int. Symp., 3A, s. 778–781, Washington D.C., 2005.
- [5]. Eibert T. F., Erdemli Y. E. ve Volakis J. L., “Hybrid finite element-fast spectral domain multilayer boundary integral modeling of doubly periodic structures”, IEEE Trans. Antennas Propag., 51(9), s. 2517–2520, 2003.



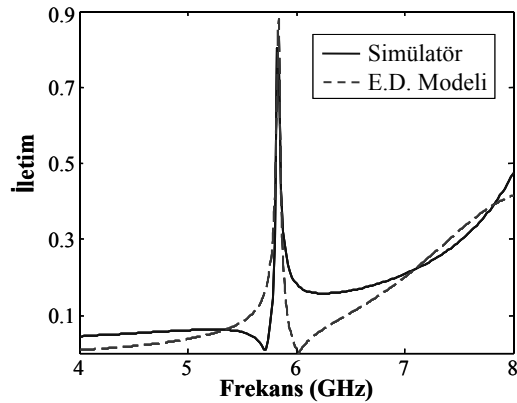
Şekil 1. Eşdeğer devre modeli parametrelerinin tespiti için kullanılan algoritmanın blok diyagramı.



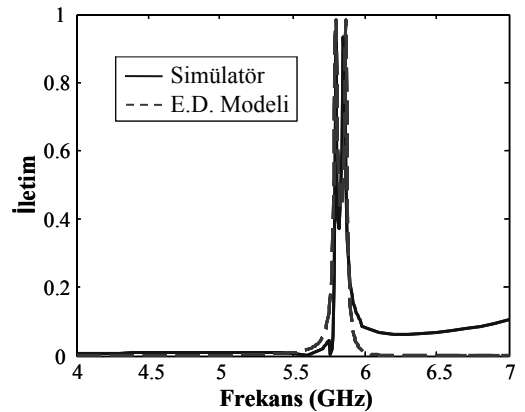
Şekil 2. 1-katlı şerit dizisinin eşdeğer LC devre modelindeki eleman değerlerinin (L_1 , C_1 , C_2) şerit genişliği w ve şeritler arasındaki mesafe s 'ye bağlı değişim karakteristikleri.



Şekil 3. 1-katlı SRR dizisinin eşdeğer LC devre modelindeki eleman değerlerinin (L_1 , L_2 , L_3 , C_3) halka genişliği w , yarı açıklığı g ve SRR'lar arası yatay mesafe t 'ye bağlı değişim karakteristikleri.



Şekil 4. 1-katlı LHM yapısı ve eşdeğer devre modelinin iletim karakteristikleri.



Şekil 5. 2-katlı LHM yapısı ve eşdeğer devre modelinin iletim karakteristikleri.