

# METAMALZEMELERİN İLETİM HATTI İLE ANALİZİ

Cumali SABAH

Selami GÖKPINAR

Savaş UÇKUN

Elektronik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü

Mühendislik Fakültesi

Gaziantep Üniversitesi, 27310, Gaziantep

e-posta: sabah@gantep.edu.tr

e -posta: selamigokpinar@hotmail.com

e-posta: savas@gantep.edu.tr

**Özet:** Bu bildiri, negatif elektrik ve manyetik geçirgenliğe sahip metamalzemeler için iletim hattı analizi sunulmuştur. Bu malzeme ile ilgili yapılan çalışmalar sunulduktan sonra, metamalzemenin karakteristiğini göstermek amacıyla, geleneksel iletim hattı devresi temel alınarak materyal parametreleri bulunmuştur. Ayrıca, S-parametrelerinin kayıpsız iletim hatları için simülasyonu nümerik olarak gösterilmiştir.

## 1. Giriş

Yapay malzemelerin ortaya çıkışı 1898 yılında Chunder'in yaptığı mikrodalga deneyi ile başlamıştır [1]. Bu çalışmayı 1914 yılında Lindman'ın yapay bakımsız ortamlar üzerine yaptığı çalışmalar izlemiştir. 1948 yılında Kock bu çalışmaları daha ileriye götürerek hafif mikrodalga lenslerini ortaya çıkarmıştır [2]. 1967 yılında Veselago düzlemsel dalganın metamalzemede nasıl ilerlediğini incelemiş ve teorik olarak Poynting vektörünün faz hızının yönüyle zıt yönlü olduğunu gözlemlemiştir. Bu çalışmasıyla düzlemsel dalganın bu malzemedeki yayılımının doğal malzemelere göre ters olduğunu da göstermiştir [3]. Bu malzemeler üretilirken, birbiri içine geçirilmiş iki adet ucu açık metal halka ve metal çubuk dizileri kullanılmıştır. Negatif manyetik geçirgenlik birbiri içine geçirilmiş iki adet ucu açık metal halka ile, negatif elektrik geçirgenlik ise metal çubuk dizileri sağlanmıştır. Smith ve grubu 2000 yılında bu malzemeyi deneysel olarak gözlemlemiş ve bu yapıyı realize etmiştir [4]. 2004 yılında ise Caloz metamalzemeler için iletim hattı yaklaşımını önermiş, ideal sol-elli iletim hattının iletim karakteristiğini sunmuş ve eşdeğer sol-elli malzemelerin temel yapı denklemlerini elde etmiştir [5]. Metamalzeme için farklı isim ve terminolojiler kullanılmaktadır. Bunlardan bazıları negatif kırılma indisli malzemeler (negative refractive index - NRI), çift negatif malzemeler (double negative materials - DNM), sol-elli ortamlar (left-handed media), negatif kırılma indeksli ortamlar (media with negative refractive index), ve geriye doğru dalga ortamları (backward wave media - BWM) şeklindedir.

Bu çalışmada, negatif elektrik ve manyetik geçirgenliğe sahip metamalzemeler için iletim hattı yaklaşımı sunulmuş ve bu yaklaşım kullanılarak materyal parametreleri bulunmuştur. Bu parametrelerinin tayini tasarım yöntemlerine ilave bir kolaylık getirmiştir. Bir çok araştırmacı bu parametreleri göz önünde tutarak yeni yapay ortamlar dizayn etmiş ve bu ortamların kullanılmasıyla yeni parça, aygıt ve aletler tasarlanmıştır. Metamalzemelerin iletim hattı yaklaşımında temel olarak alınan devre ise geleneksel iletim hattı ikilisidir. Bu devre, geleneksel iletim hattı eşdeğer devresinin metamalzemeler için yeniden düzenlenmesi ile elde edilmiştir. Ayrıca bu iletim hatları için, kapasitans ve indüktans değerleri değiştirilerek S-parametrelerinin simülasyon sonuçları kayıpsız durum için verilmiştir.

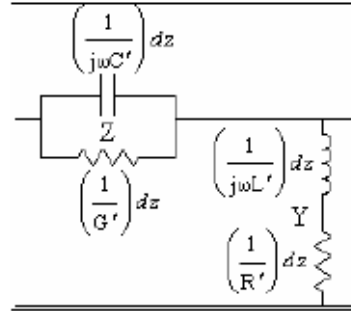
## 2. İletim Hattı Yaklaşımı

Bu bölümde negatif elektrik ve manyetik geçirgenliğe sahip metamalzemeler için iletim hattı yaklaşımı sunulmuştur. Metamalzemelerin iletim hattı yaklaşımında temel olarak alınan devre ise geleneksel iletim hattı ikilisidir. Bu devre, geleneksel iletim hattı eşdeğer devresinin indüktans/kapasitansın yerlerinin değiştirilmesi ve seri/paralel düzeninin tersine çevrilmesi ile elde edilmiştir. Eşdeğer devre ise Şekil 1'de gösterilmiştir.

İletim hattı için dalga sayısı  $\gamma(\omega)$ , birim uzunluktaki empedans ve admitans kullanılarak bulunur. Bunlar denklem (1) ve (2)'de verilmiştir.

$$Z' = \frac{Z}{d} = (G' + j\omega C')^{-1} \quad (1)$$

$$Y' = \frac{Y}{d_z} = (R' + j\omega L')^{-1} \quad (2)$$



Şekil 1. İletim hattının sonsuz küçük devre modeli.

(1) ve (2) numaralı denklemler kullanılarak dalga sayısı aşağıdaki şekilde bulunur.

$$\gamma(\omega) = \alpha(\omega) + j\beta(\omega) = \sqrt{Z'Y'} = \sqrt{(G' + j\omega C')^{-1} \cdot (R' + j\omega L')^{-1}} \quad (3)$$

Kayıpsız durum için ise,  $R' = G' = 0$ , dalga sayısı

$$\gamma(\omega) = \sqrt{(j\omega C')^{-1} \cdot (j\omega L')^{-1}} = \frac{1}{j\omega\sqrt{L'C'}} \quad (4)$$

şeklini alır. Yukarıdaki denklemden anlaşılacağı gibi zayıflama ve yayılım faktörleri aşağıdaki şekilde elde edilir.

$$\alpha(\omega) = 0 \quad (5)$$

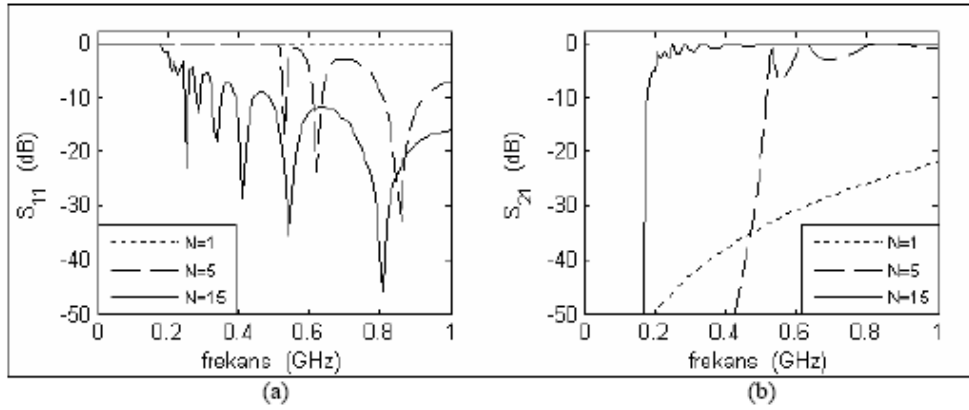
$$\beta(\omega) = -\frac{1}{\omega\sqrt{L'C'}} \quad (6)$$

### 3. Simülasyon Sonuçları

p uzunluğundaki  $R'$ ,  $G'$ ,  $L'$  ve  $C'$  parametrelerine sahip olan yapay iletim hattının simülasyonu için Tablo 1'deki indüktans ve kapasitans değerleri kullanılmıştır. Tablo 1'deki N değeri art arda seri olarak bağlanan sonsuz küçük devre sayısını, p iletim hattının uzunluğunu,  $L_u$  ve  $C_u$  ise birim uzunluktaki devrenin indüktans ve kapasitans değerlerini göstermektedir. Kayıpsız iletim hattının simülasyonu için  $R'=G'=0$ ,  $L=10$  nH,  $C=10$  pF ve  $p=10$  m olarak seçilmiştir.

N	$L_u=L$ (N/p).(nH)	$C_u=C$ (N/p).(pF)
1	1	1
5	5	5
15	15	15

Tablo 1. Simülasyon sonuçlarında kullanılan kapasitans ve indüktans değerleri



Şekil 2. S-parametrelerinin frekansa göre değişimi

Şekil 2, S-parametrelerinin farklı N değerleri için frekansa bağlı değişimini göstermektedir. Şekil 2(a)'ya göre N=1 için  $S_{11}$  sıfır olmaktadır. N değeri artırıldığında  $S_{11}$ 'in sıfırdan farklı olduğu ve frekans arttıkça sıfırdan uzaklaştığı gözlemlenmektedir. Buna karşılık Şekil 2(b)'ye göre;  $S_{21}$  değeri, N'in küçük değerleri için sıfırdan farklı olurken, N'in büyük değerleri için özellikle frekans arttıkça sıfır değerine yaklaşmaktadır.  $S_{11}$ 'in yansımaya ve  $S_{21}$ 'in iletim katsayısına eşdeğer olduğu göz önüne alınırsa; N'in büyük olduğu ve özellikle frekansın arttığı durumlarda, yansımaya katsayısının sıfırdan farklı, iletim katsayısının ise sıfır değerine yaklaştığı gözlemlenmektedir. Bu sonuçlar farklı indüktans ve kapasitans değerleri ve kayıplı ortamlar için genişletilebilir.

#### 4. Sonuç

Bu çalışmada metamalzemelerin iletim hattı yaklaşımıyla analizi sunulmuştur. Materyal parametreleri bulunduğundan sonra, S-parametrelerinin faklı kapasitans ve indüktans değerleri için simülasyonu yapılmıştır. Simülasyon kayıpsız durum için uygulanmıştır. Bu uygulama kayıplı durum için de genişletilebilir. Metamalzemeler, geleneksel malzemelerin yapısal olarak sınırlı kaldığı özellikleri genişletmiş ve bu malzemelerin bir çok alanda daha kullanışlı olduğunu göstermiştir. Bunun sebebi ise metamalzemelerin belirli bir frekans bandı aralığında elektrik ve manyetik geçirgenliklerinin negatif olmasıdır. Bu özelliğin ve sonuçlarının yardımı ile metamalzemelerin yapısal olarak kullanım ve uygulama alanları artmaktadır. Faz kompanzatorları, faz konjüktörleri, ince/yoğun/alt-dalga-boyulu kovuk ve dalga kılavuzları, farklı mod bağlaştırıcı, başlık ve anten kapakları bunlardan bazılarıdır. Potansiyel uygulama alanlarının çok olmasından dolayı metamalzemeler ile ilgili çalışmalar hızla devam etmektedir.

#### Kaynaklar

- [1] Bose L. C., "On the Rotation of Plane of Polarisation of Electric Waves by a Twisted Structure," *Proceedings of the Royal Society*, cilt. 63, s. 146-152, 1898.
- [2] Lindell L. V., Sihvola A. H., ve Kurkijarvi J., "Karl F. Lindman: The Last Hertzian, and a Harbinger of Electromagnetic Chirality," *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, cilt. 34, no. 3, s. 24-30, 1992.
- [3] Veselago V. G., "The electrodynamics of substances with simultaneously negative values of  $\epsilon$  and  $\mu$ ," *Soviet Phys. Uspekhi*, cilt. 10, s. 509-514, 1967.
- [4] 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.*, cilt. 84, s. 4184-4187, 2000.
- [5] Caloz C., Itoh T., "Transmission Line Approach of Left-Handed (LH) Materials and Microstrip Implementation of an Artificial LH Transmission Line," cilt. 52, s. 1159-1165, 2004.