

İLETİM HATTI MATRİS MODELİ İLE MİKROSTRİP HATLARIN ANALİZİ

Ayhan AKBAL

Fırat Üniversitesi
Elektrik-Elektronik Müh. Bölümü
ayhanakbal@gmail.com

Hasan H. BALIK

İstanbul Arel Üniversitesi
Bilgisayar Müh. Bölümü
hasanbalik@gmail.com

ÖZET

Elektronik cihazlarda kullanılan teknolojinin hızla ilerlemesi kompleks yapıları çıkarmıştır ve kompleks yapıların oldukça büyük alanlar kaplaması entegre devreleri ortaya çıkarmıştır. Entegre devrelerde elektromanyetik dalgaların analizi ön plana çıkmaktadır. Mikrostrip hatların küçük olması yüksek frekansların kullanılması analitik ve deneysel yöntemlerin yetersiz kalmasına neden olmuştur. Kompleks yapıların analizinde tam dalga analizin kullanılması zorunlu hale gelmiştir. Mikrostrip hatlar bu gün devre tasarımı, yüksek frekansta antene kadar birçok alanda kullanılmaktadır. Yüksek frekanslarda bu yapıların davranışları oldukça önem kazanmaktadır. Bu nedenle bu çalışmada mikrostrip(şerit) hatların İletim Hattı Matris metoduyla tam dalga analizi yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: TLM, mikrostrip, İletim Hattı,

1. GİRİŞ

Teknoloji ilerlemesi, kullanılan frekans spektrumunun cihaz üreticilerinin isteklerini karşılayamaz hale gelmesine neden olmuştur. Elektronik cihazlarda kullanılan teknolojinin hızla ilerlemesi kompleks yapıları çıkarmıştır ve kompleks yapıların oldukça büyük alanlar kaplaması entegre devreleri ortaya çıkarmıştır. Entegre devrelerde elektromanyetik dalgaların analizi ön plana çıkmaktadır. Mikrostrip hatların küçük olması yüksek frekansların kullanılması analitik ve deneysel yöntemlerin yetersiz kalmasına neden olmuştur. Kompleks yapıların analizinde tam dalga analizin kullanılması zorunlu hale gelmiş ve bu analizler için çeşitli sayısal teknikler geliştirilmiştir. Bu sayısal tekniklerin hepsinin temelinde yatan elektromanyetik dalgaların tam dalga analizlerini gerçekleştirmek fakat uygulamada farklılıklar göstermektedir. Sayısal tekniklerin birbirlerine göre avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. Bu avantaj ve dezavantajlarına göre uygulama alanları bulunmaktadır[1].**Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı..** Günümüzde sayısal tekniklerin geliştirilmesi güçlü hale getirilmesi için çalışmalar sürmektedir.

Bu çalışmada mikrostrip(şerit) hatların İletim Hattı Matris metoduyla tam dalga analizi yapılmıştır.

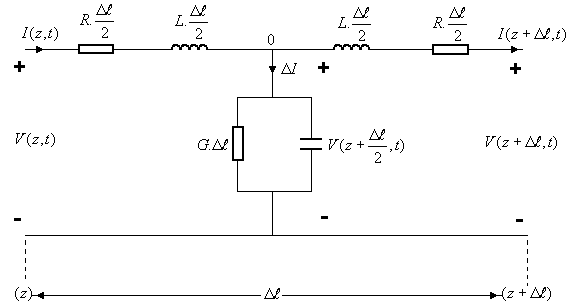
2. İLETİM HATTI MATRİS MODELİ (TLM)

İletim Hattı Modeli (TLM:Transmission Line Matrix), P.B.Johns tarafından 1970 yılında geliştirilmiştir. Bu yöntem alan teorisi-devre teorisi eşdeğerliğine dayanır[1],[3]. İletim Hattı Modellemesi, yapıyı birim hücrelere böler ve her hücre ayrı ayrı çözümlenerek yapı modellemesi yapılır. Bağımsız değişken olarak akım ve gerilim kullanılır. Hücreler, Kirchoff'un gerilim ve akım yasasına göre akım ve gerilim değerleri hesaplanarak hücrenin giriş gerilimi ile çıkış gerilimi arasında

ilişki kurulur. Her hücre zaman domeninde dalga iletimi giden ve yansıyan gerilimlerle temsil edilir.

TLM iletim hattı modellemesidir. TLM üç boyutlu fiziksel problem uzayı çok sayıda küçük hücrelerin toplamı gibi düşünür. Bu küçük hücrelere "Birim Hücre" adı verilir ve yapısal özdeşliğe sahiptir. TLM ise birim hücre mantığı iletim hattı modeline dayandığından bağımsız değişken olarak gerilim ve akım kullanılır[1],[3].

TLM hücresi T tipi iletim hattı elektriksel devresidir. Bu elektriksel devreler daha sonra bir bütün haline getirilerek sistem çözümüne gidilir. T tipi iletim hattı elektriksel devresi Şekil 1 deki gibidir.



Şekil 1: Tek Boyutlu TLM Birim Hücresi T Tipi Elektriksel Devresi

Şekil 1 deki devrede Kirchoff'un gerilim yasasına göre, gerilim eşitliği yazılırsa,

$$V(z,t) = R \cdot \frac{\Delta \ell}{2} \cdot I(z,t) + L \cdot \frac{\Delta \ell}{2} \cdot \frac{\partial I}{\partial t}(z,t) + V(z + \frac{\Delta \ell}{2}, t) \quad (1)$$

(1) denklemini düzenlenirse;

$$V(z + \frac{\Delta \ell}{2}, t) - V(z,t) - \frac{\Delta \ell}{2} = R \cdot I(z,t) + L \cdot \frac{\partial I}{\partial t}(z,t) \quad (2)$$

Limit

(2) denkleminde $\Delta \ell \rightarrow 0$ olursa;

$$-\frac{\partial V(z,t)}{\partial z} = R \cdot I(z,t) + L \cdot \frac{\partial I}{\partial t}(z,t) \quad (3)$$

(3) denklemini elde edilir. Şekil 4.4 deki devre ye Kirchoff'un akım yasası uygulanırsa

$$I(z,t) = I(z + \Delta \ell, t) + \Delta I \quad (4)$$

(4) denklemini tekrar düzenlenirse,

$$I(z,t) = I(z + \Delta \ell, t) + G \cdot \Delta \ell \cdot v(z + \frac{\Delta \ell}{2}, t) + C \cdot \Delta \ell \cdot \frac{\partial V}{\partial t}(z + \frac{\Delta \ell}{2}, t) \quad (5)$$

(5) denklemini düzenlenirse,(4.32) denklemini elde edilir.

$$-\frac{I(z + \Delta\ell, t) - I(z, t)}{\Delta\ell} = G.V(z + \frac{\Delta\ell}{2}, t) + C.\frac{\partial V}{\partial t}(z + \frac{\Delta\ell}{2}, t) \quad (6)$$

(6) denkleminde $\lim_{\Delta\ell \rightarrow 0}$ olursa;

$$-\frac{\partial I}{\partial z}(z, t) = G.V(z, t) + C.\frac{\partial V}{\partial t}(z, t) \quad (7)$$

(7) denkleminde elde edilir. (3) denkleminde ve (7) denkleminde arada düzenlenirse,

$$-\frac{\partial^2 V}{\partial z^2} = R.\frac{\partial I}{\partial z} + L.\frac{\partial^2 I}{\partial z \partial t} \quad (8)$$

$$-\frac{\partial^2 I}{\partial t \partial z} = G.\frac{\partial V}{\partial t} + C.\frac{\partial^2 V}{\partial t^2} \quad (9)$$

elde edilir. Bu denklemler dalga denklemlerine

TLM dezavantajlarından olan eşlenik bir devrenin gerçekleştirilmemesi nedeniyle, bilgisayar modellemesi en uygun çözümdür fakat burada dikkat edilmesi gereken bir nokta bulunmaktadır.

Bilgisayar simülasyonunda, $\Delta\ell$ seçimi çok önemlidir. $\Delta\ell$ 'nin çok küçük olması analiz sırasında çok yüksek Bellek(Memory) ve hızlı bir CPU gerektirir. $\Delta\ell$ 'nin küçülmesi işlem adedinin artmasına, hata oranını azaltmasına bilgisayar işleminin çok fazla uzamasına neden olur. $\Delta\ell$ büyük seçilmesi hassasiyeti azaltır. Doğrudan o kadar uzaklaşır. Bu nedenle $\Delta\ell$ 'nin seçiminde optimum bir değer seçilmesi gerekir.

TLM 'de dikkat edilmesi gereken en önemli bir diğer nokta hücre sayısı ve Δt zaman adıdır. Hücre sayısı çok fazla seçilmesi işlemlerin uzaması ve gereken bilgisayarın hafıza ve CPU sunun yüksek olması demektir. Δt nin ise optimum seçilmesi gerekir. Δt büyük seçilirse daha işlem bitmeden elektromanyetik dalga diğer hücreye geçer ve bu durumda hatalı sonuç elde edilir. Bu nedenle,

$\Delta i = \Delta j = \Delta k = \Delta \ell$ olduğunda Δt_{max} elde edilir.

$$\Delta t_{max} = \frac{\Delta \ell}{2c} \quad (c: \text{ışık hızı}) \quad (10)$$

İki boyutlu TLM hücresinde ;

$$\Delta t_{max} = \frac{1}{c} \sqrt{\frac{\epsilon_{ry}}{[\frac{1}{(\Delta x)^2} \cdot \mu_{ry}] + [\frac{1}{(\Delta z)^2} \cdot \mu_{rx}]}} \quad (11)$$

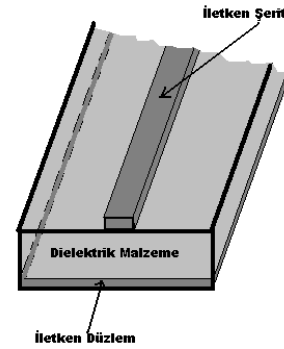
elde edilir[3].

Bu çalışmada mikrodalga devre analizinde İletim Hattı Matris Modeli kullanılarak tam dalga analiz gerçekleştirilmiştir.

3. MİKROSTRİP HATLAR

Mikrostrip hatlar, iletken (bakır, altın v.b) malzemenin üzerine yerleştirilmiş dielektrik bir malzeme ve bu dielektrik malzemenin üzerinde de iletken bir şerit bulunan ve yüksek frekanslarda kullanılan iletim yoludur. İletken malzemenin kalınlığı ihmal edilir ve düzlemsel düşünülür ve yüksek frekanslardaki enerji bu iki iletken yapının arasında iletilir.

Esasen yapı basit bir kapasiteye benzemektedir fakat burada enerji iletimi söz konusudur. Mikrostrip hatlar iletim hattı dışında Monolitik Mikrodalga Entegre Devreler (MMIC) devre olarak ta kullanılmaktadır. Bu işlem için iletken uygun formda yerleştirilmesi gerekmektedir[6]. **Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı..** Devre tasarımında karakteristik empedansın önemi oldukça büyüktür. Elektromanyetik dalga farklı karakteristik empedanslı bir mikrostrip hat ile karşılaştığında dalganın ilerleme hareketinde farklılıklar gösterir. Elektromanyetik dalganın bir kısmı ilerlemeye devam ederken bir kısmı geri yansiyacaktır. Elektromanyetik dalganın bu özelliğinden yararlanılarak alçak geçiren filtre, osilatör gibi mikrodalga devreler oluşturulabilmektedir. TLM yönteminin temel prensibi de ilerleyen ve yansıyan gerilim darbe mantığına dayandığı için mikrodalga devrelerin analizinde oldukça avantaj sağlamaktadır[3],[6]. TLM yöntemi ile MMIC devrelerin analizinde yapıya frekans ve zaman cevabını elde etmek için gauss darbesi uygulanır, mikrodalga devre üzerinde belirlenen belirli problemlerden bilgi alınarak sistem hakkında bilgi edinilir. Basit bir mikrostrip hat Şekil 2 de görülmektedir.



Şekil 2 : Mikrostrip Hat Kesiti

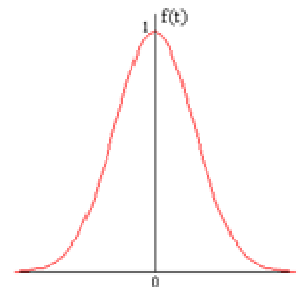
Dielektrik malzemenin kalınlığı h , iletken şeridin kalınlığı t , iletken şeridin genişliği a ile gösterilirse bir mikrostrip hattın karakteristik empedansı olmak üzere;

$$Z_0 = \left(\frac{87}{\sqrt{\epsilon_r + 1.41}} \right) \ln(5.98h / (0.8a + t)) \quad (12)$$

şeklinde yazılır.

4. GAUSS DARBESİ

Gauss darbesi düşük frekansları ve çok yüksek frekansları içeren frekans bandına sahiptir. Bu nedenle , düşük frekanslardan yüksek frekanslara kadar yapıların analizlerde Gauss darbesi kullanmak yapı hakkında oldukça fazla bilgi elde edilmesini sağlamaktadır[5]. Şekil 3 de Gauss Darbesinin zaman bağımlı değişimi görülmektedir.



Şekil 3: Gauss Darbesi

$$f(t) = e^{-\frac{(t-t_0)^2}{T^2}} \quad (13)$$

(13) de verilen denklem Gauss Darbesinin matematiksel formunu göstermektedir[3],[5]. Bu denklemde; t_0 , darbenin oluşma sırasındaki gecikme süresini belirler. t_0 büyüdükçe Gauss Darbesi o kadar geç oluşur. T, darbenin genişliği ile ilgilidir. T büyüdükçe Gauss Darbesinin genişliği de büyür. T, küçüldükçe Gauss Darbesinin genişliği de T ye bağlı olarak küçülür.

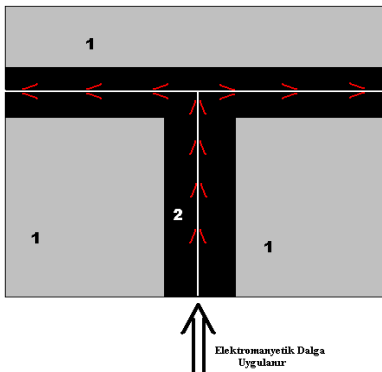
$$f(t) = e^{-\frac{t^2}{T^2}} \quad F(w) = T \cdot \sqrt{\pi} \cdot e^{-\frac{T^2 \cdot w^2}{4}} \quad (14)$$

(14) ifadesinde Gauss Darbesinin Fourier dönüşümü hali verilmiştir. Görüldüğü gibi Gauss Fonksiyonunun Fourier dönüşümü de bir Gauss Darbesini vermektedir ve Zaman - bant genişliği çarpımı sabit olduğundan, zamanda daralan Gauss darbesinin frekans band genişliği artar[5].

5. SİMULASYON SONUÇLARI

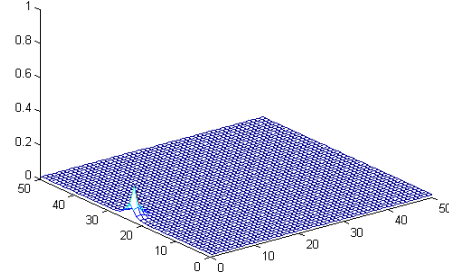
Şekil 4 deki gibi bir yapı problem olarak ele alınmıştır. Şekil 4 de 1 ile gösterilen kısımlar dielektrik malzeme ve 2 ile gösterilen kısımlar ise iletken ortamdır. İletken yapıya gauss darbesi uygulanmış ve sonuçlar gözlemlenmiştir. $\epsilon_r=5000$, $\mu_r=100$ olarak alınmış, Simülasyonuna ait parametreler; Gauss darbesinin genişliği 66 ps, $\Delta x=\Delta y=0,3309$ mm, $\Delta t=0,7667$ ps ve simülasyon süresi $10000\Delta t$, kaynağın uygulandığı hücre $(x,y)=(25,5)$, gözlem noktası $(x,y)=(25,40)$ dür.

Elde edilen sonuçlara göre uygulana gauss darbesi yapı içerisinde bulunan iletken yolu takip ettiği ve dielektrik malzemede ilerlemediği görülmüştür. Bunun nedeni dielektrik malzemenin dielektrik katsayısı oldukça büyük seçilmesinden kaynaklanmıştır.

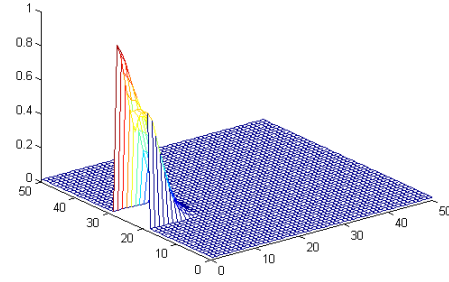


Şekil 4: Örnek yapı

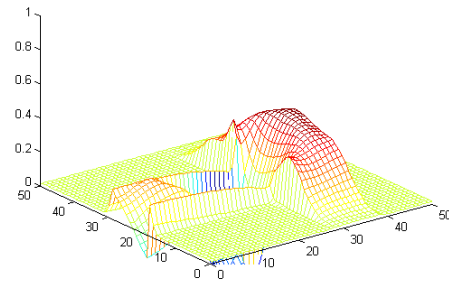
Aşağıdaki şekillerde simülasyon sonucu uygulanan gauss darbesinin yapı içerisinde yayılımı görülmektedir. Şekil 5 de simülasyonun 5 zaman adımıdaki durumu, Şekil 6 da 20 zaman adımıdaki durumu, Şekil 7 da 100 zaman adımı sonraki durumu, Şekil 8 de 120 zaman adımı sonraki yayılımı ve Şekil 9 de 150 zaman adımı sonraki yayılım görülmektedir.



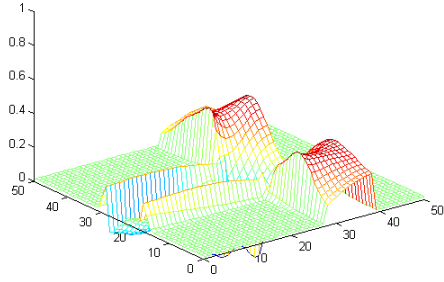
Şekil 5: 5 zaman adımı sonra



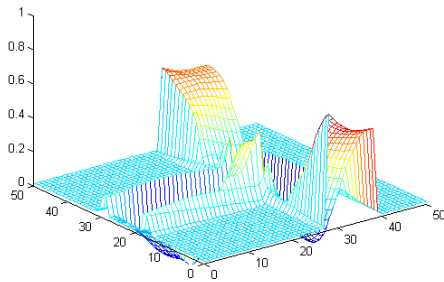
Şekil 6: 20 zaman adımı sonra



Şekil 7: 100 zaman adımı sonra

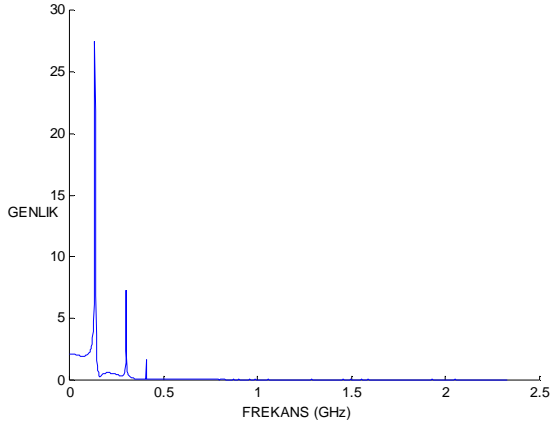


Şekil 8: 130 zaman adımı sonra



Şekil 9: 150 zaman adımı sonra

Simülasyon sonunda furier dönüşümü yapılarak frekans cevabı elde edilmiştir. Şekil 10 da yapının frekans cevabı görülmektedir.



Şekil 10: Frekans Cevabı

6. SONUÇ

TLM yöntemi ile elektromanyetik dalgalar modellenmiş ve elektromanyetik dalgaların mikrostrip yapılar içindeki hareketi incelenmiş, zaman ve frekans cevabı elde edilmiştir. TLM yöntemi ile yapılan analizlerde sınır şartlarının kolayca uygulandığı, hata oranının oldukça düşük olduğu ve tüm frekanslara rahatlıkla uygulanabileceği gösterilmiştir.

7. KAYNAKLAR

- [1]. Sevgi L.,1999, Elektromanyetik Problemler ve Sayısal Yöntemler, İstanbul
- [2]. W.H.A. Schilders, E.J.W. T. Maten, Numerical Methods in Electromagnetics, Volume 13: Special Volume (Handbook of Numerical Analysis, North Holland, 2005
- [3]. Christos Christopoulos, The Transmission-Line Modeling Method: Tlm, Oxford Univ Press,1995
- [4]. Balık,H.,1997, Passive Open Planar Microwave Circuit Analysis by Enhanced Spectral Domain Method.PhD.Thesis, University of Bristol.
- [5]. Matthew N.O.Sadıku, Numerical Techniques in Electromagnetics, Florida
- [6]. Ceyhun Bulutay, Sheila Prasad, 1993, Analysis of Millimeter Waveguides on Anisotropic Substrates Using the Three-Dimensional Transmission Line Matrix Method, IEEE Trans. Microwave Theory and Techniques, vol.41, no.6/7, 1119-1125