

TEL YAPILARIN KAPALI ZAMAN ALANI TEKNİĞİ KULLANILARAK GEÇİCİ TEPKİ ANALİZİ

Arzu Keskin, Adnan Köksal
Hacettepe Üniversitesi
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
Beytepe, Ankara
keskin@ee.hacettepe.edu.tr, koksals@hacettepe.edu.tr

Özet: Bu çalışmada, düğüm noktaları ve ince teller kullanılarak modellenmiş gelişigüzel tel yapıların zamanda geçici tepkilerini incelemek amacıyla bir yazılım geliştirilmiştir. Tel yapıların elektromanyetik saçılım ve yayılımları için elektrik alan integral denklemi, zaman uzamında kapalı çözüm yöntemi kullanılarak analitik ve nümerik olarak analiz edilmiştir. İlk olarak tek bir tel yapı analiz edilmiş, ikinci olarak ise bu analiz gelişigüzel tel yapılar için genişletilmiştir. Geliştirilen yazılım sayesinde gelişigüzel tel yapının üzerinde indüklenen akım, uzak ve yakın elektrik ve manyetik alanlar, empedans parametreleri hesaplanmaktadır. Elde edilen sonuçlar, ince tellerle modellenmiş yapıların analizini herhangi bir zaman adımı kısıtlaması olmadan gerçekleştirilen kapalı çözüm yönteminin kararlı ve doğru sonuçlar sağladığını göstermektedir.

1. Giriş

Bilgisayar çağıyla birlikte hesaplamalı elektromanyetik yöntemler önem kazanmıştır. Bu yöntemler pratik elektromanyetik problemlerin geçici tepkilerinin incelemesinde önemli yer teşkil eder. Bu çalışmada saçıcı ve anten yapılarını modellemek için gelişigüzel ince tel yapılar kullanılmıştır. Elektromanyetik darbe ile aydınlatılan tel yapıların zaman uzamında analizini gerçekleştirebilmek için bir yazılım geliştirilmiştir. Bu yazılımda birbirine bağlı ince tellerle modellenen yapıların elektromanyetik saçılma ve yayılma problemlerinin incelenmesi için Zaman Uzamında Elektrik Alan İntegral denklemi MM (Moment Metodu) ve Zamanda Adımlama (MoT) yöntemleri kullanılarak çözülmüştür [1]. Zaman adımı sınırlandırmalarını ortadan kaldırmak için kapalı çözüm yöntemi kullanılmıştır.

2. Analiz Yöntemi

Zamana bağlı integral denklemi çözmek için değişik yöntemler vardır. Bu yaklaşımlardan biri zamana bağlı Maxwell eşitliklerinden yararlanarak, ilgilenilen eşitliğin zaman uzamında çözümlenmesidir. Bu çalışmada ilgilenilen eşitlik ince tel yapılar için elde edilmiş olan zamana bağlı vektör potansiyel integral denklemleridir.

Gelişigüzel tel yapıların analizi için kullanılan yöntemlerden biri açık çözüm yöntemi diğeri ise kapalı çözüm yöntemidir. Açık çözüm yöntemi, $c \cdot \Delta t$ çarpımının farklı iki gözlem noktası arasındaki en düşük mesafe olan R_{min} 'den küçük olma koşulunu sağlamak zorundadır. Bu yöntem zaman adımı süresine bağlı olduğu için birçok uygulama için kısıtlayıcıdır, ayrıca kararsız sonuçlara neden olabilir. Kapalı çözüm yöntemi ise zaman adımı sınırlamalarını ortadan kaldırarak, geçici alan değişimlerini modellemeye yetecek kadar geniş zaman adımları kullanabileceğimiz kararlı çözümler sağlar. Bu çözüm yöntemi ele alınan problemdeki bilinmeyen sayısı kadar bağımsız denklem kurup problemi matris sistemi şeklinde ele almaya dayanır. Sistemin solunda bilinmeyenler vektörü, sağ tarafında ise katsayılar matrisi ve bilinen (kaynak fonksiyonları) bulunur. Katsayılar matrisinin tersi alınarak denklem sistemi çözülür. Bu çalışmada ikinci yaklaşım seçilmiştir.

Çalışmada ilk olarak Maxwell eşitliklerinden yararlanarak manyetik vektör potansiyelini içeren ikinci mertebeden bir integro-diferensiyel eşitlik elde edilir. Bu eşitliği çözmek için tel yapı doğrusal parçalara ayrılır. Açılım fonksiyonları doğrusal parça üzerindeki olağan darbe fonksiyonları şeklindedir. Bu açılım fonksiyonları kullanılarak ince tel yapı üzerindeki I akımı aşağıdaki şekilde seçilir.

$$I \approx \sum_{k=1}^N I_k(t) f_k(\vec{r}) \quad (1)$$

Aynı açılım fonksiyonları, test fonksiyonları olarak da kullanılmaktadır. Ancak test işlemi tek noktali numerik integrasyon kullanılarak yaklaşırlır. Böylelikle kullanılan test işlemi ağırlıklı nokta uyumlandırma haline gelmiştir.

Zaman eksenini de eşit aralıklara ayırılır, Zaman adımı seçimi için herhangi bir kısıtlama yoktur. Gelen alanın darbe genişliğine uygun istenilen büyüklükte zaman adımı seçilir.

Darbe tepkisi bilindiği takdirde aynı yönden gelen herhangi bir düzlem dalganın gelişigüzel bir zamandaki tepkisi evrişim işlemi kullanılarak elde edilebilir. Bu yüzden uyarım fonksiyonu olarak Gauss geçici değişimine sahip olan darbe biçimi kullanılmıştır.

İncelenen her gelişigüzel tel yapı anten veya saçıcı şeklinde modellenebilmektedir. Saıcı durumu için uyarım kaynağı tel yapının uzak alanında ve düzlem dalga şeklinde seçilmiştir. Anten durumu için ise kaynak ince tel yapı üzerinde yön ve polarizasyondan bağımsız, zamana bağılı voltaj kaynağıdır. Herhangi bir saçıcı veya antenin frekans tepkisini, Gauss darbenin bantı ile belirlenen sabit bir frekans değerine kadar belirlemek mümkündür.

3. Sonuçlar ve Tartışma

Birinci örnek olarak 2 metre uzunluğunda, yarıçapı 10^{-6} metre olan, x eksenini boyunca yerleştirilen düz tel yapı ele alınmıştır. Bu yapı \hat{a}_z yönünde ilerleyen, \hat{a}_x kutuplanmış Gauss düzlem dalga ile uyarılmış, darbe genişliği 20 LM seçilerek geniş bir darbenin, bir başka deyişle dar frekans bandı içeren bir darbenin etkisi incelenmiştir. Şekil 1’de kapalı çözüm yöntemi kullanılarak hesaplanan, saçıcının orta noktasındaki akım değeri zamana karşı verilmiştir. Ancak açık çözüm yöntemi kullanılarak bu problemin çözülmesi için zaman adımı kısıtlaması olan $\Delta t \leq R_{\min}/c$ koşulu sağlanması gerekmektedir, bu yüzden zaman adım değerinin, bu koşulu sağlayan en büyük değer olan 0.05LM seçilmesi gerekmektedir. Dolayısıyla, 20 LM’lik bir darbenin saçıcı üzerinde indüklediği akımın, 70LM’lik bir zaman dilimi içerisinde tepkisini gözlemleyebilmek için 1400 zaman adımı gerekmektedir. 1400 zaman adımı bu örnek için açık çözüm yöntemi ile elde edilebilecek minimum zaman adımı sayısıdır. Kapalı çözüm yöntemi içinse herhangi bir zaman adımı kısıtlaması olmadığı için Şekil 1’de Δt 0.6 LM seçilmiştir. Dolayısıyla aynı zaman dilimi içinde akımın değişimini gözlemleyebilmek için 117 zaman adımı kullanılmıştır. Kapalı çözüm yöntemi, incelen örneklerde görüldüğü gibi zaman adımı ne kadar arttırılırsa arttırılsın, üstel olarak artan hata oranlarına neden olmamış, dolayısıyla kararlı çözümler sağlamıştır.

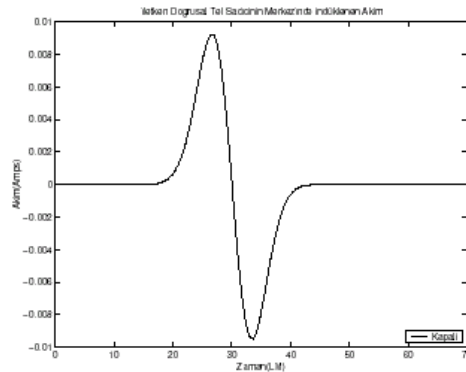
İkinci olarak Şekil 2’de üç boyutlu saçıcılara örnek olan bir uçağın “çubuk modeli” seçilmiştir. Burada $l_1=24m$, $l_2=l_3=l_4=36m$, $l_7=6m$, $l_6=l_5=l_8=12m$, tüm tellerin yarıçapı 0.5m, $\gamma=56.22^\circ$, $\beta=70.51^\circ$, $\alpha=68.22^\circ$ alınmıştır. Darbe genişliği 100 LM seçilmiştir. Şekil 3(a)’da \hat{a}_x polarize olmuş $-\hat{a}_z$ yönünde ilerleyen, Şekil 3(b)’de $-\hat{a}_u$ polarize olmuş ve geliş açısı l_3 teline dik olan ($\phi_{inc}=33.78^\circ$) Gauss darbe için birinci tel l_1 üzerinde bulunan düğüm noktasından 9m uzaklıkta indüklenen akımın zamana karşı değişimi $\Delta t=2.4736LM$ için verilmiştir. Bu sonuçlar literatürde bulunanlarla [2] ile uyum göstermektedir.

Verilen örnekler, düğüm noktaları ve ince teller kullanarak modellenmiş gelişigüzel iletken tel yapıların geçici tepkilerini zaman uzamında elde edebileceğimizi göstermektedir.

Kaynaklar

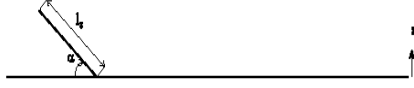
[1] S.M. Rao, “Time Domain Electromagnetics”, New York Willey, 1997.

[2] A. R. Bretones, R. G. Martin and A. Salinas, “DOTIG1, A Time-Domain Numerical Code for the Study of the Interaction of Electromagnetic Pulses with Thin Wire Structures,” *Compel* cilt 8, s 39-61, 1989.

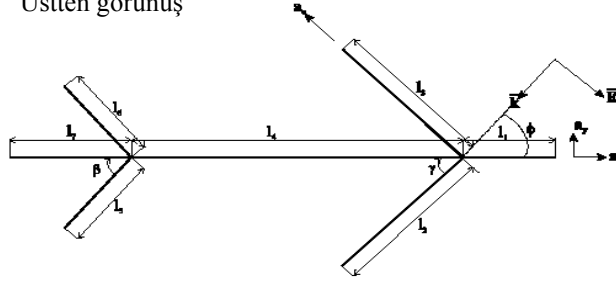


Şekil 1. Gauss düzlem dalga ile uyarılan iletken doğrusal tel saçıcının merkezinde indüklenen akım.

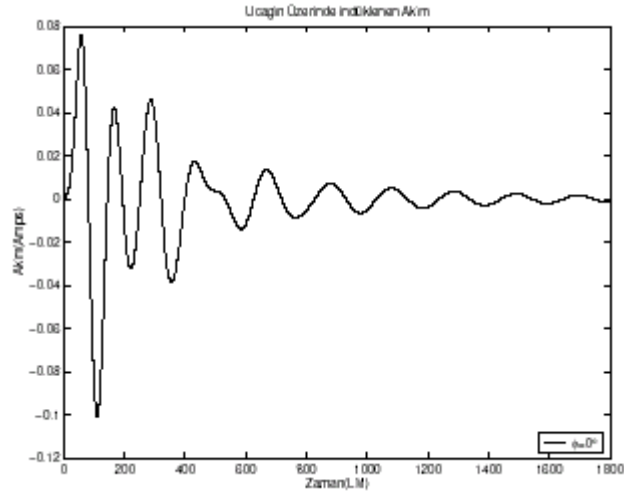
Yandan görünüş



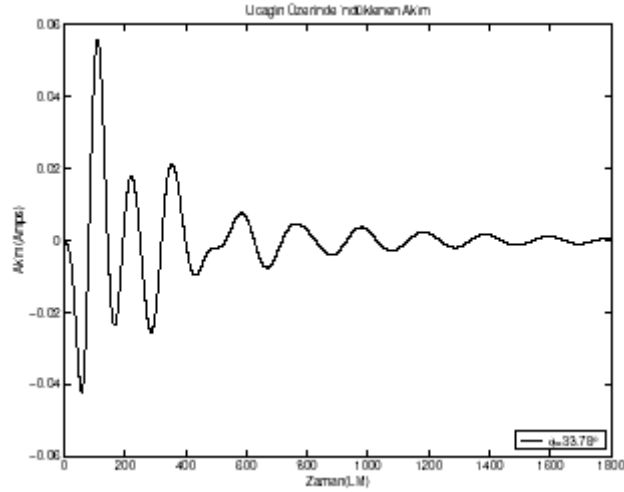
Üstten görünüş



Şekil 2. Tel yapılarla modellenmiş uçak



Şekil 3(a). Gauss düzlem dalga ile uyarılan iletken çubuk uçak modeli üzerinde indüklenen akım, $\phi_{inc}=0^\circ$



Şekil 3(b). Gauss düzlem dalga ile uyarılan iletken çubuk uçak modeli üzerinde indüklenen akım, $\phi_{inc}=33.78^\circ$