

Üç Boyutlu Parabolik Yansıtıcı Anten Sisteminin Kırınımın Fiziksel Teorisiyle Analizi

Numan ÜNALDI^{1,2}, Taner OĞUZER¹

¹Dokuz Eylül Üniversitesi
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
Buca, İZMİR taner.oguzer@eee.deu.edu.tr

²Hv.Snf.Ok.ve Tek.Eğt.Mrk.K.lığı, Gaziemir, İZMİR
nunaldi@hsotem.edu.tr,

Özet: Bu çalışmada simetrik parabolik yansıtıcı anten analizinde, Fiziksel Optik(FO) integralinin kenar eşdeğer akımları ile düzeltilmesi Kırınım Fiziksel Teorisi(KFT) olarak ele alınmış, yansıtıcı antenin ön bölgesinde bile belirli bir iyileşme elde edilmiştir. Aynı yaklaşımı radyasyon örgüsünün diğer bölgeleri içinde kullanmak uygun olsa da FO integrali hesabı oldukça yavaşlatmaktadır. Onun için özellikle büyük çanaklarda integrali asimptotik olarak almak yoluyla (kaustik bölgesi dışında) hızlı bir FO çözümü elde edilmiştir.

1. Giriş

Yansıtıcı antenler noktadan noktaya kullanılan haberleşme sistemlerinin önemli bir parçasıdır. Dolayısıyla radyasyon karakteristiklerinin belirlenmesi önem taşımaktadır. Bunun için yaygın olarak Fiziksel Optik (FO) ve Kırınımın Uniform Teorisi (KUT) birleşimi kullanılmaktadır. FO gelen ve yansıyan dalgaların etkili olduğu bölgelerde doğru olup kırınımın etkili olduğu bölgede doğru değildir. KUT ise kırınımı doğru olarak vermektedir. Fakat FO in nereye kadar doğru ve KUT nin nereden itibaren geçerli olduğu konusunda kesin bir yargı söylenememekte ve bir sürekli geçiş yoktur. Ayrıca FO çift integral yüzünden nümerik olarak yavaştır. KUT'de ise gölgeleme bölgelerinde geçiş sürekli olsa da, gölgelemenin verilen geometriye bağlı olarak hesaba katılması gerekmektedir. Ayrıca ışın tekniklerinin kaustik bölgelerinde geçerli olmadığı bilinmektedir. Bu durumu aşmak için Eşdeğer Akım Metodu (EAM) geliştirilmiştir. EAM ilk olarak dar bir kaustik bölgesini iyileştirmek için ortaya atıldı. Fakat daha sonra Keller konisi üzerinde sınırlı olmayan eşdeğer akımlar bulunarak metod geliştirildi.

Bir başka teknik ise FO akımını kenarların varlığından doğan kenar akımlarla düzelten Kırınımın Fiziksel Teorisidir (KFT). Yeni haliyle EAM ile KFT arasında benzerlik bulunmaktadır. Dolayısıyla eşdeğer akımlar FO ve kenar akımları olarak ikiye ayrılmış ve ayrı çalışmalar ile bulunmaya çalışılmıştır. Kenar eşdeğer akımlarda tekillik tek bir doğrultuya indirgenebilmiştir ve bu integrali alınabilen bir tekilliktir. FO eşdeğer akımları ve onların tekillikleri üzerinde çalışılmaktadır.

Bu çalışmada FO integrali nin kenar eşdeğer akımları ile düzeltilmesi KFT olarak ele alınmıştır [1]. Daha önceleri benzer bir çalışma UTD tabanlı eşdeğer akımlarıyla yapılmıştır [2] ve aynı işlemi KFT nin genelliğiyle elde edilen ve her gözlem doğrultusunda geçerli kenar eşdeğer akımlarıyla [3] yapmak mümkündür. Benzer şekilde yansıtıcı antenin ön bölgesinde bile belirli bir iyileşme elde edilmiştir [4]. Aynı yaklaşımı radyasyon örgüsünün diğer bölgeleri içinde kullanmak uygun olsa da FO integrali hesabı oldukça yavaşlatmaktadır. Onun için özellikle büyük çanaklarda integrali asimptotik olarak almak yoluyla (kaustik bölgesi dışında) hızlı bir FO çözümü elde edilebilir. Böylece mühendislik açısından önemli olan ve özellikle büyük çanaklarda FO ve KUT den daha hassas ve onların sorunlarından etkilenmeyen bir çözüm elde edildi. Bunun için yazılan bilgisayar kodu her türlü önden simetrik olarak yerleştirilmiş beslemeler için geçerlidir.

2. Formülasyon

Yansıtıcı antenin radyasyon karakteristiklerinin bulunması için öncelikle FO ışınım integrali aşağıdaki şekilde yazılır.

$$\vec{E}^{FO} = \frac{-jkZ}{4\pi} \frac{e^{-jkr}}{r} \int_0^{\theta_0} \int_0^{2\pi} (\vec{J}^{FO} - (\vec{J}^{FO} \cdot \hat{a}_r) \hat{a}_r) e^{jk\vec{p} \cdot \hat{a}_r} dS' \quad (1)$$

Burada $\vec{J}^{FO} = 2\hat{n} \times H^i$ olarak verilir ve aydınlatan alan $\theta < \pi/2$ bölgesinde şu şekilde tanımlanmıştır:

$$\vec{E}^i = \sqrt{2(n+1)} \cos^n \theta \frac{e^{-jkr}}{r} (\sin \phi \hat{a}_\theta + \cos \phi \hat{a}_\phi) \quad (2)$$

Denklem (1)'deki $\vec{\rho}$ yansıtıcı yüzey üzerindeki noktaya uzanan pozisyon vektörü ve \hat{n} yüzeyin normal vektörüdür. Z ve k boş uzaya ait empedans ve dalga sayısıdır. Diğer parametreler Şekil 1'de gösterilmiştir. FO çift katlı integrali hesabı oldukça yavaşlatmaktadır. Bu sebeple integral asimptotik olarak hesaplanarak (AFO) hızlı bir çözüm elde edilebilir. Bunun için durağan faz yöntemi kullanılmıştır. İntegral ilk önce ϕ değişkenine göre asimptotik olarak çözümlenmiş daha sonra θ 'ya göre integral hesaplanmıştır. ϕ integrali için $\phi_+ = \phi$ ve $\phi_- = \phi + \pi$ gibi iki durağan nokta vardır. θ integrali için $\theta_s = \theta$ ve $\theta_e = \theta_0$ durağan ve uç noktaları vardır. Bu iki noktanın yaklaşması durumu düşünülmeden durağan faz yaklaşımı basit olarak uygulanırsa θ_s ve θ_0 'ın yaklaşma durumuna ait bölgede ışınım integrali nümerik olarak alınabilir. Ayrıca durağan faz yöntemi eksen doğrultusundaki gözlem noktaları için kullanılmayacağından dolayı yine bu durumda FO integrali alınmıştır.

KFT'sini uygulayabilmek için FO integralini kenar akımları ile düzeltmek gerekmektedir. Bunun için de [3]'de açık ifadeleri verilen elektrik ve manyetik tipdeki (I ve M) eşdeğer kenar akımlarının yansıtıcının dairesel çevresi (C) boyunca aşağıdaki ışınım integralini almak gerekir.

$$\vec{E}^d = \frac{jkZ}{4\pi} \frac{e^{-jkr}}{r} \oint_C [\hat{a}_r \times \hat{a}_r \times \vec{I} + Y \hat{a}_r \times \vec{M}] e^{jk\vec{\rho} \cdot \hat{a}_r} dl \quad (3)$$

Burada Y boş uzayın empedansının tersidir. Yansıtıcı antenin uzak alandaki toplam ışınım ifadesine $\vec{E} = \vec{E}^{FO} + \vec{E}^d$ toplamıyla ulaşmak mümkündür.

3. Sayısal Sonuçlar

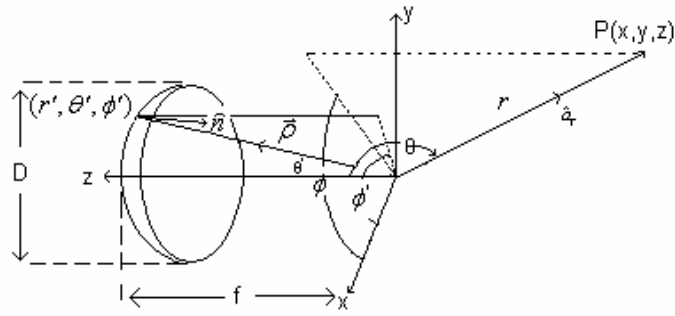
Işınım karakteristiği bulunmak istenen geometri $D=10\lambda$ ve $f=4\lambda$ 'dır ve beslemedeki n parametresi $n=1$ alınmıştır. Şekil 2'de bu geometredeki bir yansıtıcı antenin elektrik alan düzlemindeki ışınım örgüsü verilmiştir.[5] Bu eğri momentler metodu olarak adlandırılan nümerik yöntemle elde edilmiştir. Şekil 3'te aynı geometri için yukarıda anlatılan KFT'si yaklaşımıyla elde edilen sonuçlar verilmiştir. Bu şekilde katı çizgi ile çizilmiş eğri FO ile Eşdeğer Kenar Akımları (EKA) ışınımının toplamıdır ve $40^\circ-75^\circ$ arasındaki penumbra bölgesi dışında oldukça başarılıdır. Aynı şekilde kesikli çizgi ile çizilen eğri ise Asimptotik FO (AFO) ile EKA'nın toplamıdır. AFO hızlı çalışmasında rağmen FO+EKA kadar iyi sonuç vermemekte, özellikle arka taraftaki dalgalanmayı tahmin edememektedir.

4. Sonuç

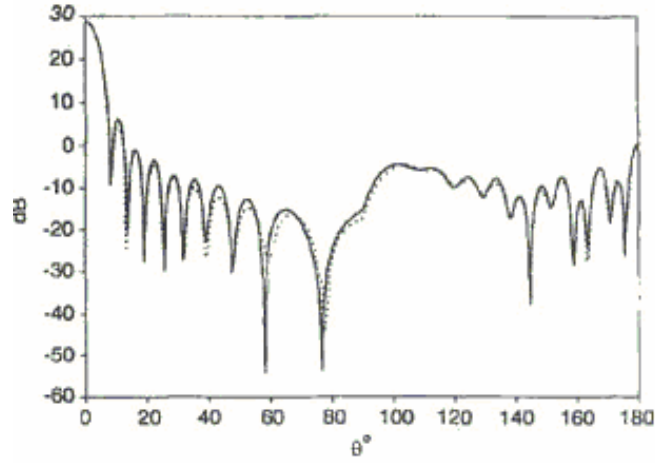
Yansıtıcı anten sistemlerinin radyasyon özelliklerinin yaklaşık olarak tayin edilmesi için bir çözüm getirildi. Bu çözümün daha da geliştirilmesi ile mühendislik açısından çanakların bazı temel parametreleri bulunabilir.

Kaynaklar

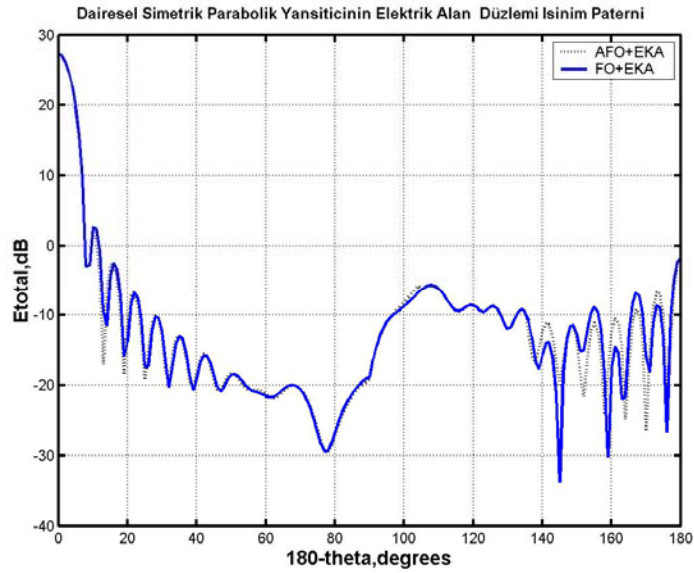
- [1]. Peter M. Johansen, 'Uniform PTD Equivalent Edge Currents for Implementation in General Computer Codes' IEEE AP symposium, s. 784-787, 1996.
- [2]. N. Endo, M. Ando, T. Sekiguchi, 'Correction of PO by the Equivalent Edge Currents' IEEE AP/S Symp. s.548-551, 1979.
- [3]. A. Michaeli, 'Elimination of Infinities in Equivalent Edge Currents, part I: Fringe Current Components' IEEE Trans. AP. vol.34 no.7 s. 912-918, Temmuz 1986.
- [4]. D.W. Duan ve Y. Rahmat Samii, 'Axial Field of a Symmetrical Paraboloidal Antenna: a PO/PTD Solution' IEEE AP Symp. s. 38-41, 1994.
- [5]. A.Mc.Cowen, 'Efficient 3-D Moment-Method Analysis for Reflector Antennas Using a Far-field Approximation Technique', IEE Proc. MAP, vol.46 no.1 s.712, 1999.



Şekil 1 Parabolik ve önden simetrik beslemeli yansıtıcı anten geometrisi.



Şekil 2 $D=10 \lambda$ $f=4 \lambda$ için E-düzlem ışınım örgüsü (MM) [5]



Şekil 3 KFT E-düzlem ışınım örgüsü