TEK KAT EKRANIN EŞDEĞER DEVRE MODELİ BENZETİMİ İLE EKRAN VERİMLİLİĞİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Övünç POLAT, Selçuk ÇÖMLEKÇİ, Şükrü ÖZEN, Ahmet Y. TEŞNELİ

Özet **- Elektronik cihazları ve sistemleri, elektromanyetik(EM) girişime karşı korumanın ana metotlarından birisi ekranlamadır. Bu çalışmada farklı malzemelerin kullanıldığı tek kat ekran modelleri için nümerik metot ve eşdeğer devre modeli ile çözüm yapılmıştır. Ekranlama veriminin frekansla ve ekranın kaynaktan olan mesafesiyle değişimi grafiksel olarak verilmiştir. Bu modellerdeki yansıma, zayıflama ve iç yansıma kayıplarının değerleri hesaplanmıştır.**

Anahtar Kelimeler **: Ekranlama Verimi, Ekranın Eşdeğer Devre Modeli, EM Ekran**

Abstract: **One of the main methods is shielding in order to protect electronic equipments and systems from electromagnetic(EM) interference. In this study, both numerical solution and equivalent circuit model solution have been acquired for single shield models with using different materials. Variations of shielding effectiveness vs frequency and vs distances from sources has been given graphically to compare the results. In these models, reflection, attenuation, and internal reflection losses were calculated.**

Key Words: **Shielding Effectiveness, Equiavalent circuit for screen, EM Shield**

I. EKRANLAMA VERİMİ HESABI

Ekranlama; alıcı ve verici arasında, elektromanyetik dalganın ilerlediği yola metal bir bariyer yerleştirme işlemidir. Metal bariyerin karakteristik empedansı şu şekilde hesaplanmaktadır.[1]

$$Z_m = \sqrt{\frac{jw\mu}{\sigma}} = \sqrt{\frac{w\mu}{2\sigma}}(1+j) \qquad (1)$$

Bu çalışmada, t kalınlıkta, σ iletkenliğinde, ε_r dielektrik katsayısında ve μ_r manyetik geçirgenliğindeki bir tabaka veya ekran engel problemini ele alalım. Problemde açısal frekansı w olan bir elektromanyetik dalga ekrana çarpmaktadır. Tabakaya çarpan dalganın bir kısmı yansırken, geri kalan kısmı da geçer. Kaynaktan gelen EM dalganın, ekran empedansı ve geldiği ortamdaki dalga empedansı arasındaki uyumsuzluk nedeniyle, düşük empedanslı ekran yüzeyinden bir kısmı yansımaktadır. Ekran içindeki kısmi zayıflamadan sonra geriye kalan kısım iletilir. [2]

Elektrik alan için tanımlanan ekranlama verimi desibel olarak,

$$EV = 20\log\left|\frac{E_i}{E_t}\right| \qquad (2)$$

şeklindedir. Burada E_i, gelen dalganın elektrik alan şiddeti, E_t ise tabakadan geçen dalganın elektrik alan şiddetini gösterir.

Ekranlama verimi manyetik alan cinsinden de desibel olarak ;

$$EV = 20\log\left|\frac{H_i}{H_t}\right| \qquad (3)$$

olarak ifade edilebilir. Burada H_i, gelen dalganın manyetik alan şiddeti, H_t ise tabakadan geçen dalganın manyetik alan şiddetini gösterir.

Bir metal yüzeye çarpan elektromanyetik dalganın bir kısmı iletken yüzeyden yansır, ve bir kısmı da iletken içinde yutulur. Bu son etki absorbsiyon veya penetrasyon kaybı olarak da adlandırılır. Aynı zamanda elektrik veya manyetik alan, ve uzak ve yakın alan için bu etki aynıdır. Bununla birlikte yansıma kaybı alanın tipine ve dalga

Ö.Polat, S.Çömlekçi; Süleyman Demirel Üniversitesi Mühen.Mim. Fakültesi, Elektronik ve Haberleşme Müh.. Böl., Isparta, ovunepol@mmf.sdu.edu.tr, scom@mmf.sdu.edu.tr
Ş.Özen; Akdeniz Üniversitesi. Teknik Bilimler Yüksek Okulu, Antalya, sukruozen@akdeniz.edu.tr
A.Y. Teşneli; Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Elektrik ve Elektronik Müh. Bölümü, Adapazarı, ateseneli@sakarya.edu.tr

empedansına bağlıdır. Zayıflama kaybı küçük olduğunda ekran yüzeyleri arasında çoklu yansımalar oluşmaktadır. Buna göre toplam ekranlama etkinliği(EV) yansıma kaybı, zayıflama kaybı ve iç yansıma kayıplarının toplamı biçiminde ifade edilebilir.[3]

$$EV=A+R+M \tag{4}$$

Burada; yutulma kaybı(A), yansıma kaybı(R) ve ince ekranlardaki çoklu yansıma kayıpları(M) olup birimler desibeldir.

II. TEK KAT EKRAN İÇİN EKRANLAMA VERİMİ HESABI

Tek katlı bir ekrana gelen elektromanyetik dalga için, metalin elektriksel parametreleri şu şekilde de tanımlanabilmektedir [2];

Metal içindeki yayılım sabiti:

$$\gamma = \left(\frac{w\mu_o\sigma}{2}\right)^{1/2}(1+j) \tag{5}$$

zayıflama sabiti,

$$\alpha = \left(\frac{w\mu_o\sigma}{2}\right)^{1/2} \tag{6}$$

deri kalınlığı,

$$\delta = \left(\frac{2}{w\mu_o\sigma}\right)^{1/2} \tag{7}$$

ekran içindeki dalga boyu ve faz hızı,

$$\lambda = \lambda_o\sqrt{\frac{w\varepsilon_o}{\sigma}} \quad , \; v = c\sqrt{\frac{w\varepsilon_o}{\sigma}} < c \tag{8}$$

yansıma kaybı ise Eşitlik(9) ile verildiği şekilde ifade edilir.

$$R = -20\log_{10}|T| = 20\log_{10}\frac{|1-\upsilon|^2}{4|\upsilon|} \quad \text{(dB)} \tag{9}$$

Burada T ekran boyunca iletim katsayısı, υ ise dalganın geldiği ortamın empedansı ve ekran materyalinin empedansının oranıdır ($\upsilon = \mu_o / Z_m$). Kaynak-ekran arası mesafenin (r), $\lambda_o/2\pi$ değerinden daha büyük olması durumunda (uzak alan bölgesinde) dalganın geldiği ortamın empedansı (η_o) 120π değerine eşit olduğu kabul edilir. Ancak r $<<\lambda_o/2\pi$ olması durumunda (yakın alanda) elektrik alan ve manyetik alan kaynağı için dalga empedansları şu şekilde tanımlanmaktadır,

$$Z_E = \frac{\eta_o\lambda_o}{2\pi r} >> \eta_o \tag{10}$$

$$Z_H = \frac{\eta_o 2\pi r}{\lambda_o} << \eta_o \tag{11}$$

t kalınlığındaki bir ekranı geçen dalgadaki zayıflama kaybı (A) ve çoklu yansıma kaybı (M) için;

$$A = 8.686\alpha.t \quad \text{(dB)} \tag{12}$$

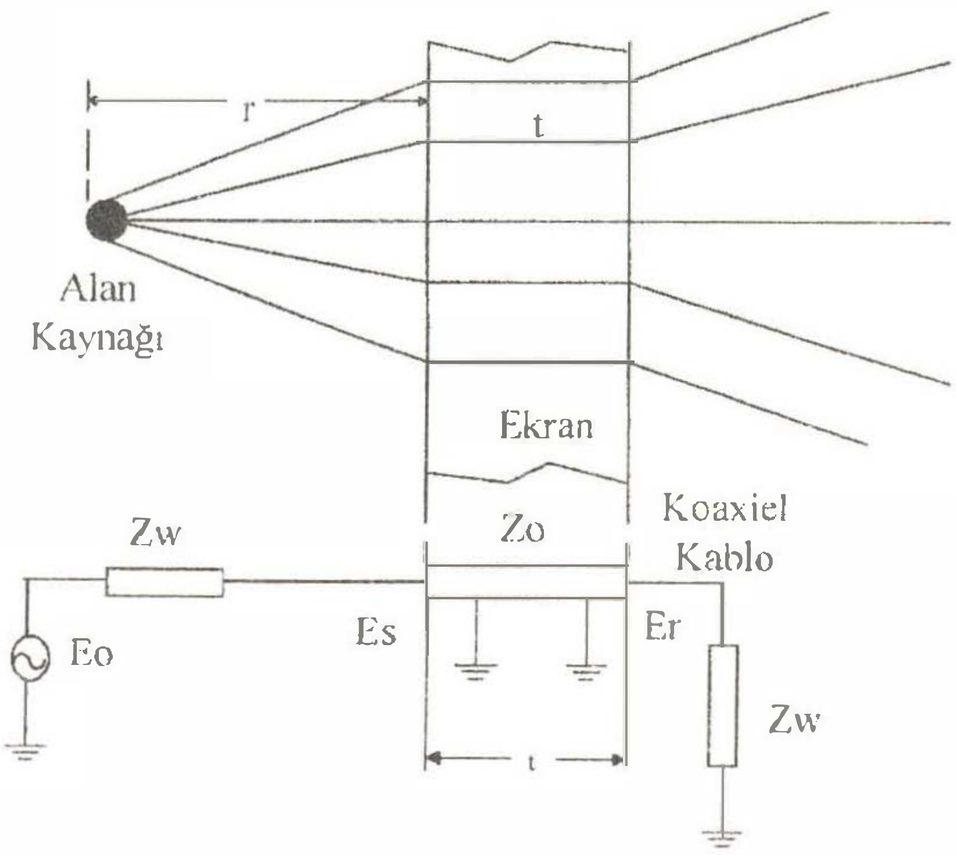
$$M = 20\log_{10}\left|1 - \frac{(\upsilon-1)^2}{(\upsilon+1)^2}e^{-2t(1+j)\sqrt{\pi f\mu\sigma}}\right| \text{(dB)} \tag{13}$$

olarak ifade edilebilir. Düzlem dalga için tek bir ekran levhasının toplam ekranlama etkinliği 9, 12 ve 13 denklemlerinin toplamı alınarak hesaplanabilir.

III. EŞDEĞER DEVRE MODELİ

III.1 Tek Kat Ekran Eşdeğer Devresi

Eşdeğer modelde, levhanın kalınlığı(t), iletim hattının uzunluğuna eşit düşünülerek sistemler birbirine benzetilmektedir. μ, ε, σ temel sabitlerinden Z_o kompleks karakteristik empedansı α(zayıflama) ve β (faz) katsayıları hesaplanır. Hattın, dalga empedansı (Z_w) ile aynı empedans değerine sahip bir empedansla sonlandırıldığı düşünülmektedir. İletken levhaya doğru dalganın yayılım hızının düşük olması nedeniyle ekranın her iki yanında aynı dalga empedansı olduğu da düşünülmektedir.[4]



Şekil 1. Tek kat ekranın eşdeğer devre modeli

Şekil 1'de sınırsız bir metal levha için iletim hattının eşdeğer devre modeli gösterilmiştir. Z_w kaynak empedansı; uygulanan frekansa, kaynaktan olan mesafeye ve kaynağın tipine bağlıdır.

Z_o, $Z_r(Z_w)$ ve $\gamma(\alpha+j\beta)$ değerleri μ, ε, σ ve f değerlerine bağlıdır. Hat sonuna gönderilen voltaj şu şekilde hesaplanabilmektedir;

$$E_s = E_r\left\{\cosh\gamma t + \frac{Z_o}{Z_r}\sinh\gamma t\right\} \tag{14}$$

ve hattın giriş empedansı,

$$Z_{in} = Z_o\frac{Z_r + Z_o\tanh\gamma t}{Z_o + Z_r\tanh\gamma t} \tag{15}$$

biçiminde hesaplanır. Z_w empedanslı bir kaynaktan beslenen hattın uyumsuzluk kaybı Denklem(16) da verilmiştir.

$$\frac{E_s}{E_r} = \frac{Z_{in}}{Z_w + Z_{in}} \tag{16}$$

Bu suretle dB olarak ekran boyunca sinyaldeki kayıp ;

$$-20\log_{10}\left|\frac{E_r}{E_o}\right| = -20\log_{10}\left|\frac{E_s}{E_o}\times\frac{E_r}{E_s}\right|$$
$$= -20\log_{10}\left|\frac{Z_{in}}{Z_w + Z_{in}}\times\frac{1}{\cosh\gamma t + \frac{Z_o}{Z_r}\sinh\gamma t}\right| \tag{17}$$

biçiminde hesaplanabilir. Yukarıdaki denklemler ekranın toplam zayıflama kaybını vermektedir. Bazı durumlarda zayıflama ve yansıma kaybı ayrı ayrı göz önüne alınmalıdır.

Yansıma kaybı; kaynak ve hat empedansı arasındaki veya dalga ile ekran empedansı arasındaki uyumsuzluktan meydana gelmektedir. Zayıflama kaybı ise ekrandaki veya hattaki omik kayıplardan dolayıdır, ve şu şekilde hesaplanır;

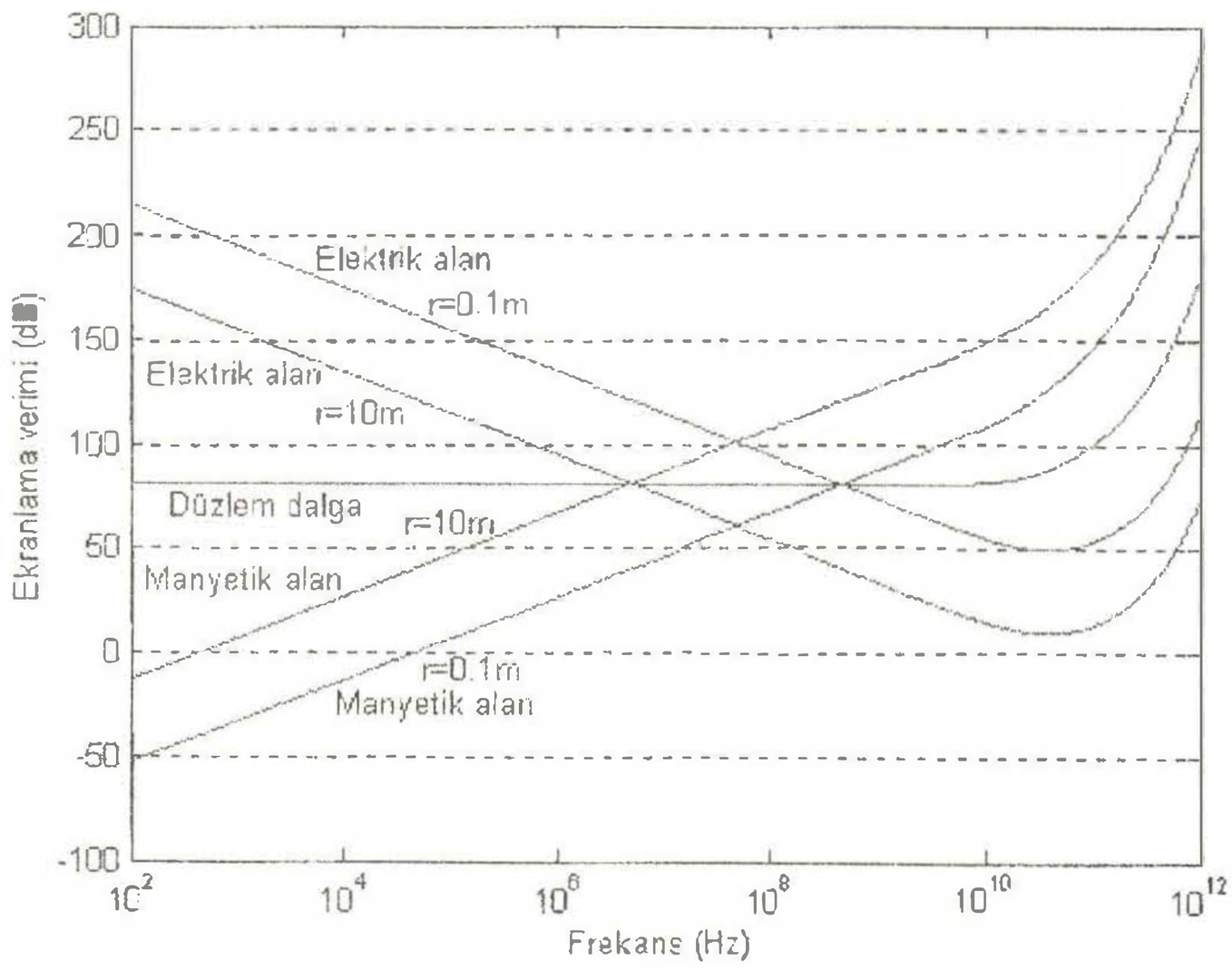
$$\text{Zayıflama kaybı} = -20\log_{10}\left\{e^{-\alpha t}\right\} \tag{18}$$

Yansıma kaybı ise; toplam kayıptan, zayıflama kaybının çıkarılmasıyla elde edilir. Ekran yakınındaki manyetik alanlar için negatif yansıma kayıpları bu çıkarma işleminden kaynaklanmaktadır. $Z_w<Z_o$ ve zayıflama kayıpları yüksek iken bu etki ortaya çıkmaktadır.

Bu koşullar altında $Z_{in}\cong Z_o$ dır. Şekil 1'deki devreye göre, girişteki hatta gerilim $0{,}5E_o$ dan büyük iken $Z_w<Z_o$ olmaktadır. Benzer bir durum hattın sonunda ortaya çıkmaktadır. [4]

IV. SONUÇLAR

Şekil 2'de tek kat bakır ekran için farklı kaynak türleri ve ekranın kaynaktan olan uzaklığının farklı değerleri için verimin frekansla değişimi gösterilmiştir.[5]



Şekil 2. 1 μm kalınlığındaki bakır ekran için ekranlama veriminin frekansla değişimi

Tablo 1. Manyetik alan kaynağı için; farklı materyallerin ekranlama veriminin frekansla değişim değerleri

	Bakır (1 μm)				Alüminyum (1 μm)			
Frekans	R(dB)	A(dB)	M(dB)	EV(dB)	R(dB)	A(dB)	M(dB)	EV(dB)
1kHz	44.6	0	-57	-12.7	42.4	0	-59.5	-17
10kHz	54.6	0	-47	7.23	52.4	0.01	-49.5	2.9
100kHz	64.6	0	-37	27.22	62.4	0.03	-39.5	22.9
1MHz	74.6	0.1	-27	47.22	72.4	0.10	-29.6	42.9
10MHz	84.6	0.4	-17	67.22	82.4	0.32	-19.8	62.9
100MHz	94.6	1.3	-8.6	87.22	92.4	1.02	-10.5	82.9
1GHz	104	4.1	-1.5	107.2	102	3.24	-2.76	103
10GHz	114	13.1	0.4	127.5	112	10.2	0.58	123

Grafikten anlaşılmaktadır ki; kaynaktan uzaklaştıkça elektrik alan için ekranlama verimi belirli bir frekans değerine kadar azalmakta, manyetik alan kaynağı için ise kaynaktan uzaklaştıkça ekranlama verimi frekansla artmaktadır. Çok yüksek frekans değerlerinde, her iki kaynak tipi için ekranlama verimi, düzlem dalga için olan ekranlama verimi değerine yaklaşmakta ve verim artmaktadır.

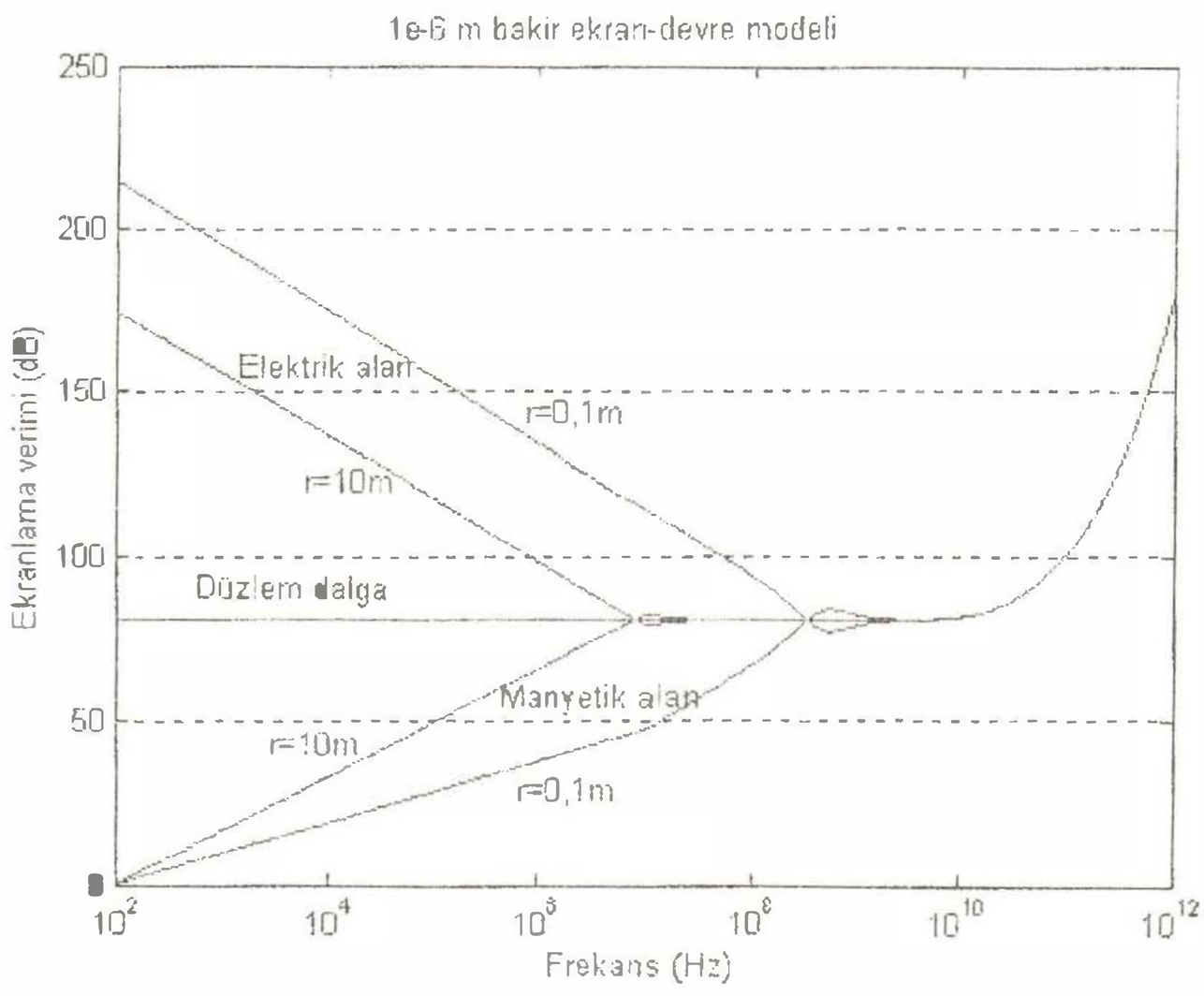
Kaynak ile ekran arası mesafe 1m ve kaynağın manyetik alan olması durumu için, farklı materyallerin, aynı kalınlıktaki ekranlama veriminin frekansla değişim değerleri Tablo 1'de verilmiştir. Burada R:Yansıma kaybı, A:Zayıflama kaybı, M:Çoklu yansıma kaybı, EV: Ekranlama verimidir.

Tablo 1'de elde edilen değerlere göre

1.Manyetik alan kaynağı için bakır, aynı kalınlıktaki alüminyumdan daha fazla ekranlama verimi sağlamaktadır.

2.Frekans yükseldikçe, yansıma ve zayıflama kayıpları artmakta ve iç yansıma kayıplarının negatif etkisi azalmaktadır. Dolayısıyla frekansla ekranlama verimi artmaktadır.

3.Düşük frekanslarda (örneğin 1 kHz) ise iç yansıma kayıplarının negatif etkisinin yüksek olmasından dolayı, ekran verimden çok, bir girişime neden olmaktadır.



Şekil 3. Eşdeğer devre modeli ile, 1 μm kalınlığındaki bakır ekran için ekranlama veriminin frekansla değişimi

Şekil 3'de tek kat bakır ekran için devre modeli çözümü yapılarak; farklı kaynak türleri ve ekranın kaynaktan olan uzaklığının farklı değerleri için ekranlama veriminin frekansla değişimi gösterilmiştir. Tablo 2'de eşdeğer devre modelinde, 1 μm kalınlığında bakır ekran ve ekranın kaynaktan uzaklığı 1 m olması durumu için, farklı kaynak tipleri için yansıma, zayıflama ve ekranlama verimi değerlerinin frekansla değişim değerleri verilmektedir. Bu hesaplanan değerlere göre, Elektrik alan için ekranlama verimi belirli bir frekansa kadar azalmakta, daha yüksek frekanslarda ise düzlem dalga ile aynı verime ulaşmaktadır. Manyetik alan için ise frekansla hem yansıma kaybı hem de zayıflama kaybı arttığından, ekranlama verimi artmakta ve belirli bir frekans değerinden sonra düzlem dalga ile aynı olmaktadır. Bu sonuçlar nümerik metot ile elde edilen sonuçlarla uyum göstermektedir. Sadece nümerik metot ile yapılan çözümde elektrik ve manyetik alan kaynağı için verimin, düzlem dalganın ekranlama verimine yaklaştığı frekans değeri daha yüksektir. Ancak eşdeğer devre modelindeki sonuçlara göre iç yansıma kayıplarının negatif etkisinin olmadığı göz önüne alındığında, düşük frekanslarda, eşdeğer devre modeli ile nümerik metot farklılık göstermektedir.[5]

Tablo 2. Eşdeğer devre modeli ile ekranlama veriminin, kaynak tipi ve frekansa bağlı olarak değişimi

Kaynak tipi	Frekans	R (dB)	A(dB)	EV(dB)
Düzlem dalga	1 kHz	80.77	0.004	80.77
	1 MHz	80.64	0.13	80.77
	1 GHz	76.6	4.15	80.7
	10 GHz	68.5	13.14	81.7
Manyetik alan	1 kHz	0.21	0.004	0.22
	1 MHz	47.2	0.13	47.3
	1 GHz	76.6	4.15	80.75
	10 GHz	68.5	13.14	81.7
Elektrik alan	1 kHz	174.34	0.004	174.35
	1 MHz	114.21	0.13	114.34
	1 GHz	76.6	4.15	80.85
	10 GHz	68.5	13.14	81.7

KAYNAKLAR

[1] Ott, H.W., 1988. Noise Reduction Techniques In Electronic Systems. A Wiley-Interscience Publication, 419s. New York.

[2] Kodali, V.P., 1998. Engineering Electromagnetic Compatibility Principles, Measurement and Technologies. IEEE Press, 367s. New York

[3] Şeker, S., Çerezci, O., 1997. Çevremizdeki Radyasyon ve Korunma Yöntemleri. Boğaziçi Üniversitesi Yayınları No:607, 436s. İstanbul.

[4] Middleton, J., 1992. The Engineer's EMC Work Book, Nuffield Press, 131s. Oxford.

[5] Polat Ö., Çok Katmanlı Yapıların Ekranlama Etkinliğinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ocak 2003, Isparta

[6] Şeker, S., Çerezci, O., 1994. Elektromanyetik Dalgalar ve Mühendislik Uygulamaları. Boğaziçi Üniversitesi Yayınları, 300s. İstanbul.