

T.C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

135846

ÇOK KATMANLI YAPILARIN
EKRANLAMA ETKİNLİĞİNİN İNCELENMESİ

HAZIRLAYAN

ÖVÜNÇ POLAT

DANIŞMAN

Prof. Dr. MUSTAFA MERDAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ELEKTRONİK VE HABERLEŞME MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

ISPARTA, 2003

135846

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜNE

Bu çalışma jürimiz tarafından ELEKTRONİK VE HABERLEŞME ANABİLİM DALI'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Osman ÇEREZCİ



Üye : Prof. Dr. Mustafa MERDAN




Üye : Yrd. Doç. Dr. Selçuk ÇÖMLEKÇİ



ONAY

Bu tez 13.01/2003 tarihinde Enstitü Yönetim Kurulunca belirlenen yukarıdaki jüri üyeleri tarafından kabul edilmiştir.

13.01/2003

S.D.U. FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRÜ
Prof. Dr. Remzi KARAGÜZEL

ÖZET

Çok katlı ekran yapılarının ekranlama etkinliğinin incelendiği bu çalışmada, çift kat ekran modeli geliştirilerek, aynı kalınlığa sahip tek kat ekrana göre verim karşılaştırılması yapılmış olup, optimum ekran verimini sağlayacak ekran modelleri oluşturulmuştur.

Elektronik cihazları ve sistemleri, elektromanyetik girişime karşı korumanın ana metodlarından birisi ekranlamadır. Ekranlama verimi, ekranlanan bölgeye giren ve çıkan alanın şiddetindeki desibel olarak azalma ile karakterize edilmektedir. Buna göre çok katlı ekran için; elektromanyetik dalga ilk tabakaya çarpmakta ve tabakaya çarpan dalganın bir kısmı yansırken, bir kısmı ekran içinde yutulmakta ve geri kalan kısmı da geçmektedir. Diğer tabakalar için bu olay devam etmektedir. Böylece elektromanyetik dalganın geldiği ortamdaki şiddeti ile ekranlanan ortamdaki alan şiddeti arasındaki ilişki, katmanların özelliklerine bağlı olarak formüle edilmektedir.

Farklı veya aynı kalınlıktaki tabakaların σ iletkenlikleri, μ_r manyetik geçirgenlik katsayıları ve t ekran kalınlıkları optimum ekranlamayı sağlayacak değerde belirlenebilmektedir. Buna göre; ekran verimliliğine etki eden bu parametrelerle birlikte, kaynağın tipinin ve kaynaktan olan uzaklığın değiştiği, farklı ekran modelleri için, ekranlama etkinliğinin frekansla değişimi grafiksel olarak incelenmiştir.

Bu çalışmada, tabakalı ekran modeli için bilgisayar programı geliştirilmiş olup, model, pratik uygulamalarda kullanılabilecek duruma getirilmiştir.

ANAHTAR KELİMELEER: Çok Katmanlı Yapılar, Tabakalı Ekran, Ekranlama Etkinliği

ABSTRACT

In this study, shielding effectiveness of multilayer structures are examined and double screen model is developed. Effectiveness of this model is compared with single screen model with the same thickness. Screen models are developed to get optimum shielding efficiency.

Shielding is one of the main method to protect electronic devices against electromagnetic interference. Shielding efficiency is calculated by the difference of the magnitude of the field between each side of the shield in terms of dB. In multilayer shield, electromagnetic wave hits the first layer and some one part is reflected, some of the remaining part is eliminated between the two shields and rest pass through the shield. Same logic is valid for the other layers. As a result, the relation between the magnitude of electromagnetic wave at each side of the shield is formulated using layers properties.

Conductivity constant (σ_r), permeability constant (μ_r) and layer thickness (t) can be determined to obtain optimum shielding. In addition to the parameters that affect the shield efficiency, type of the source, distance between the source and the shield, and frequency are varied in efficiency plots.

In this study a software is written for laminated shield model that can be used for practical applications.

KEYWORDS: Multilayer structures, Laminated shield, Shielding Effectiveness

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın hazırlanmasında gerekli ortamı hazırlayan ve çalışmanın her safhasında yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Prof.Dr. Mustafa MERDAN'a, çalışmanın hazırlanmasında yön gösterici olan Zürich Teknik Üniversitesi Öğretim üyesi Sayın Prof. Dr. Niyazi ARI' ya, kaynak temin etme ve bu çalışmasının gerçekleştirilmesi için eleştiri ve önerileriyle çalışmaya ışık tutan ve atılan her adımda desteğiyle yanımda olan Yard.Doç.Dr. Selçuk ÇÖMLEKÇİ'ye ve Elektronik ve Haberleşme Yüksek Mühendisi Şükrü Özen'e, katkılarından dolayı Yard.Doç.Dr. Ali MANZAK'a, Elektronik ve Haberleşme Yüksek Mühendisi Yavuz Cengiz'e ve Elektronik ve Haberleşme Mühendisi Ömer Halil Çolak'a içtenlikle teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
SİMGELER DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	x
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK BİLGİSİ.....	2
2.1. Ekranlama Teorisi.....	2
2.1.1. Elektriksel Bakımdan Malzemelerin Özellikleri.....	2
2.1.2. Malzemelerin Manyetik Özellikleri.....	3
2.1.3. İletkenlik Bakımından Malzemelerin Özellikleri.....	5
2.1.4. Malzemelerdeki Alternatif Akım Değişimleri.....	6
2.1.5. Kayıplı Ortamlardaki Uniform Düzlem Dalgalar.....	9
2.2. Ekranlama.....	11
2.2.1. Temel Kavramlar.....	11
2.2.2. Ekranlamanın Amacı.....	14
2.3. Elektronik Ürünlerin Ekranlanması.....	15
2.3.1. Yakın Alan ve Uzak Alan.....	16
2.3.2. Karakteristik ve Dalga Empedansı.....	19
2.4. Ekranlama Verimi Hesabı.....	21
2.4.1. Zayıflama Kaybı.....	24
2.4.2. Yansıma Kaybı.....	26
2.4.2.1. Düzlem Dalgaların Yansıma Kaybı.....	28
2.4.2.2. Yakın Alanda Yansıma Kaybı.....	29
2.4.2.3. Yansıma Kaybı İçin Genel Denklem.....	29
2.4.3. İnce Ekranlarda Çoklu Yansımalar.....	30
2.5. Manyetik Materyallerle Ekranlama.....	31

2.6. Düşük Frekanslı Manyetik Alanların Ekranlanması.....	34
3. YÖNTEM.....	35
3.1. Çok Katlı Ekran Yapıları.....	35
3.1.1. Tek Katlı Ekran.....	35
3.1.2. Çok Katlı Ekran	36
3.1.3. Yalıtılmış Çift Ekran.....	38
3.1.4. Elektriksel Olarak Kalın Ekranlar.....	40
3.1.5. Tek ve Çift Ekranın Karşılaştırılması.....	40
3.2. Eşdeğer Devre Modeli.....	41
3.2.1. Temel Sistem Parametreleri	41
3.2.2. Tek Kat Ekran Eşdeğer Devresi.....	43
3.2.2.1. Tek Kat Ekran İçin Ekranlama Verimi Hesabı.....	45
3.2.3. Çift Kat Ekran Eşdeğer Devresi.....	49
3.2.3.1. Çift Kat Ekran İçin Ekranlama Verimi Hesabı	50
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA.....	52
4.1. Tek Kat Ekran İçin Bulgular.....	52
4.1.1. Tek Kat Eşdeğer Devre Modeli İçin Bulgular.....	56
4.2. Çift Kat Ekran İçin Bulgular.....	58
4.2.1. Çift Kat Eşdeğer Devre Modeli İçin Bulgular.....	61
4.3. Optimizasyon Bulguları.....	62
5. SONUÇ.....	66
6. KAYNAKLAR.....	67
ÖZGEÇMİŞ.....	68

SİMGELER DİZİNİ

- A Zayıflama kaybı (dB)
B Manyetik akı yoğunluğu
c Işık hızı
C Kapasitans
e Logaritmik sabit
D Elektriksel akı yoğunluğu
E Elektrik alan
E_o Kaynak voltajı, gelen elektrik alan
E_r Hat sonundaki voltaj
E_s Hat girişindeki voltaj
EV Ekranlama verimi (dB)
f Frekans
G Kondüktans
H Manyetik alan
I_r Hat boyunca akan akım
L İndüktans
J Akım yoğunluğu
M Çoklu yansıma kaybı (dB), Manyetik polarizasyon vektörü
P Güç, Elektriksel polarizasyon vektörü
r Kaynaktan itibaren ölçülen mesafe
R Yansıma kaybı (dB), Direnç
t Kalınlık
T İletim katsayısı
X_e Elektrik suseptibilitesi
X_m Manyetik suseptibilite
v Dalganın geldiği ortamın empedansı ile ekran materyalinin empedansının oranı
v Faz hızı
v Elektronların sürüklenme hızı
Z Empedans
Z_E Elektrik alan için dalga empedansı

Z_{in}	Hattın giriş empedansı
Z_H	Manyetik alan için dalga empedansı
Z_m	Ekran empedansı
Z_o	Ortamın karakteristik empedansı
Z_r	Hattın sonlandırıldığı empedans
Z_w	Dalga empedansı
δ	Deri kalınlığı
γ	Yayılm sabiti
α	Zayıflama sabiti
β	Faz katsayısı
ϵ	Dielektrik sabiti
ϵ_o	Serbest uzay dielektrik sabiti
ϵ_r	Bağıl dielektrik sabiti
λ	Dalga boyu
λ_o	Serbest uzaydaki dalga boyu
μ	Permeabilite, mikro
μ_e	Elektronların hareket yeteneği
μ_o	Serbest uzay için permeabilite değeri
μ_r	Bağıl permeabilite
π	3,14
ρ	Özdirenç
ρ_e	Elektron yük yoğunluğu
σ	İletkenlik
σ_a	Değişken iletkenlik
σ_s	Statik iletkenlik
σ_r	Bağıl iletkenlik
η_o	Serbest uzay için dalga empedansı
ω	Açısal frekans ($2\pi f$)

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Ekranın dışında bulunan ortamın girişimden korunması için kullanılan ekran modeli.....	16
Şekil 2.2. Ekranın içinde bulunan ortamın girişimden korunması için kullanılan ekran modeli.....	17
Şekil 2.3. Kaynaktan olan mesafe ile alan karakteristiğinin değişimi.....	18
Şekil 2.4. Elektrik veya manyetik alan olması durumu için kaynaktan olan mesafe ile dalga empedansının değişimi.....	18
Şekil 2.5. Düzlem dalgalar için ekranlama mekanizmasının gösterilimi.....	22
Şekil 2.6. Elektromanyetik dalganın yutucu bir ortamda ilerlerken üstel olarak zayıflaması.....	25
Şekil 2.7. İki ortam arasındaki bir yüzeye gelen dalganın, iletilen ve yansıyan kısımlarının gösterilimi.....	26
Şekil 2.8. Ekranın her iki yüzeyindeki iletilen ve yansıyan alanların gösterilimi.....	27
Şekil 2.9. İnce bir ekranda oluşan çoklu yansımalar.....	30
Şekil 2.10. Tipik magnetizasyon eğrisi.....	33
Şekil 2.11. Saturasyon olayını önlemek için kullanılan çok katlı manyetik ekran.....	33
Şekil 3.1. Çok katlı ekran yapısı.....	37
Şekil 3.2. Yalıtılmış çift ekran.....	39
Şekil 3.3. Tek kat ekranın eşdeğer devre modeli gösterimi.....	44
Şekil 3.4. Tek kat ekran için eşdeğer devre.....	46
Şekil 3.5. İki kat ekranın eşdeğer devre modeli gösterimi.....	50
Şekil 3.6. Çift kat ekran için eşdeğer devre.....	50
Şekil 4.1. 1 µm kalınlığındaki bakır ekran için ekranlama veriminin frekansla değişimi.....	52
Şekil 4.2. Ekranlama veriminin, ekranın kaynaktan olan uzaklığına bağlı değişimi.....	55

Şekil 4.3. Eşdeğer devre modeli ile, 1 μm kalınlığındaki bakır ekran için ekranlama veriminin frekansla değişimi.....	56
Şekil 4.4. Elektrik alan kaynağı için aynı kalınlığa sahip tek ve iki kat ekranların verimlerinin frekansla değişimi.....	58
Şekil 4.5. Manyetik alan kaynağı için aynı kalınlığa sahip tek ve iki kat ekranların verimlerinin frekansla değişimi.....	59
Şekil 4.6. Aynı kalınlıktaki tek kat ve iki kat ekran yapılarının eşdeğer devre modeli ile ekranlama veriminin frekansla değişimi.....	61



ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 2.1. Değişik materyallerin bağıl iletkenlik ve permeabiliteleri.....	20
Çizelge 2.2. Yansıma kaybı denklemi için kullanılan sabitler.....	30
Çizelge 2.3. Çeliğin bağıl permeabilitesinin frekansla değişim değerleri.....	32
Çizelge 4.1. Manyetik alan kaynağı için; farklı materyallerin ekranlama veriminin frekansla değişim değerleri.....	53
Çizelge 4.2. Elektrik alan kaynağı için; farklı materyallerin ekranlama veriminin frekansla değişim değerleri.....	54
Çizelge 4.3. Eşdeğer devre modeli ile ekranlama veriminin, kaynak tipi ve frekansa bağılı olarak değişimi	57
Çizelge 4.4. Farklı çift kat ekran türleri için ekranlama verimi değerleri.....	60
Çizelge 4.5. Çift kat ekran için eşdeğer devre ve nümerik metot çözümü ile ekranlama verimi değişim değerleri.....	62

1. GİRİŞ

Elektronik sistem ve cihazları civardaki elektrik ve manyetik alanların etkilerine karşı korumak gerekir. Böyle bir durum için cihazın bulunduğu ortamın veya imal edilen cihazın interferans (girişim) etkisinden izole edilerek ekranlanması önemli bir problemdir. Bu çalışmada ekranlama performansını arttırmaya yönelik geliştirilecek olan çok katlı ekran modeli incelenmiştir.

İlk olarak; malzemelerin elektriksel, manyetiksel ve iletkenlik özellikleri ile malzemelerin alternatif alan değişimlerinde ki davranışı incelenerek, elektriksel ve manyetik kayıp tanjantı hesabı ve kayıplı ortamlardaki uniform düzlem dalgalar incelenmektedir.

Elektromanyetik girişim ve ekranlama problemlerinin önem kazandığı durumlar ve temel ekranlama teorisi anlatılmakta, uzak alan - yakın alan kaynakların ve düşük frekanslı alanların ekran verimi üzerindeki etkileri incelenmekte olup, ekranda manyetik materyal kullanımının etkileri anlatılmaktadır.

Daha sonra çok katlı ekran yapılarının ekranlama etkinliği formülize edilmekte, ayrıca tek kat ve çift kat ekran için eşdeğer devre modeli incelenmekte olup, bu modele göre ekranlama verimi hesapları yapılmaktadır.

Farklı malzemelerin kullanıldığı çift kat ve tek kat ekran modelleri için nümerik metot ve eşdeğer devre modeli ile çözüm yapıldığında, ekranlama veriminin frekansla ve ekranın kaynaktan olan mesafesiyle değişimi, farklı kaynak tipleri için grafiksel olarak elde edilerek, bu modellerdeki yansıma, zayıflama ve iç yansıma kayıplarının değişim değerleri verilmektedir. Ayrıca istenen frekansta, istenen verimi gerçekleyecek, tek kat ve çift kat ekran için optimum modeller oluşturulmaktadır.

2. KAYNAK BİLGİSİ

2.1. Ekranlama Teorisi

2.1.1. Elektriksel Bakımdan Malzemelerin Özellikleri

Dielektrikler, elektrik akımı taşıyabilecek serbest elektronları olmayan maddelerdir ve bir elektrik alanla kutuplanma özelliğine sahiptirler. Elektrik alanın etkisiyle bir molekül içindeki pozitif ve negatif yükler birbirinden uzaklaşarak elektrik dipolüne dönüşür yani dielektrik polarize olur.

Aralarında s kadar bir mesafe olan iki paralel levhaya bir dış gerilim kaynağı bağlı olsun ve levhaların arasına yarısına kadar dielektrik malzeme konduğu, diğer yarısının ise boşluk olduğu varsayalım. \vec{E} uygulanan elektrik alan olmak üzere, paralel levhalar arasındaki boşlukta elektriksel akı yoğunluğu,

$$\vec{D}_0 = \epsilon_0 \vec{E} \quad (2.1)$$

olarak ifade edilir. Maddesel ortamlarda \vec{D} , ortamın dielektrik sabitine bağlı olarak

$$\vec{D} = \epsilon \vec{E} \quad (2.2)$$

şeklinde ifade edilir. Polarize olan dielektriğin birim hacimdeki bileşke dipol momentine, elektrik polarizasyonu (\vec{P}) adı verilir. SI birim sisteminde \vec{P} 'nin birimi [Kulon/metre²] olup, (Bayrakçı, 1988)

$$\vec{D} = \epsilon_0 \vec{E} + \vec{P} \quad (2.3)$$

dir. Polarizasyon vektörü ise ;

$$\vec{P} = \epsilon_0 X_e \vec{E} \quad (2.4)$$

biçiminde ifade edilir. Burada X_e boyutsuz olup, elektriksel polarizasyon duyarlılığı veya elektrik suseptibilitesi olarak adlandırılır. Buradan ;

$$\vec{D} = \epsilon_0 (1 + X_e) \vec{E} \quad (2.5)$$

olarak bulunur. Buradan dielektrik ve bağıl dielektrik sabitleri :

$$\epsilon = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \quad (2.6)$$

$$\epsilon_r = 1 + X_e \quad (2.7)$$

$$\epsilon = \epsilon_0 \cdot (1 + X_e) \quad (2.8)$$

olarak elde edilir.

2.1.2. Malzemelerin Manyetik Özellikleri

Manyetik malzemeler, manyetik alana maruz kaldığında, manyetik polarizasyon sergiler. Manyetik akı yoğunluğu \vec{B} ile aynı doğrultuda olan \vec{M} magnetizasyon (manyetik polarizasyon) vektörü, \vec{H} toplam manyetik alan şiddeti ve μ_0 boşluğun manyetik geçirgenliği olmak üzere ; (Yaşar, 1998)

$$\vec{B} = \mu_0 (\vec{H} + \vec{M}) \quad (2.9)$$

dir. \vec{M} manyetik polarizasyon vektörü uygulanan alan içindeki manyetik dipollerin alana olan katkısını gösterir. Birimi [Amper/metre] dir. İzotrop maddesel ortamda \vec{M} 'nin deneysel olarak :

$$\vec{M} = X_m \vec{H} \quad (2.10)$$

olduğu bulunmuştur. Burada X_m manyetik polarizasyon duyarlılığı veya manyetik suseptibilite olarak adlandırılır. Bu durumda yukarıdaki bağıntı :

$$\vec{B} = \mu_0 (1 + X_m) \vec{H} \quad (2.11)$$

olarak bulunur. Permeabilite (manyetik geçirgenlik katsayısı) ve bağıl permeabilite ;

$$\mu = \mu_0 (1 + X_m) \quad (2.12)$$

$$\mu_r = 1 + X_m \quad (2.13)$$

olarak tanımlanır. Buradan

$$\vec{B} = \mu_0 \mu_r \vec{H} = \mu \vec{H} \quad (2.14)$$

olarak ifade edilebilir.

Manyetik malzemeler ; Diyamagnetik, paramagnetik ve ferromagnetik malzemeler olmak üzere üç sınıfa ayrılır. Bunlar aşağıdaki gibi karakterize edilirler.(Bayrakçı, 1988)

Diyamagnetizma : Uygulanan manyetik alan yokken, her atom etrafında hareket eden elektronların dipol momentleri birbirini yok eder. Manyetik alan içinde, bir çekirdek etrafında hareket eden elektronların etkileri farklıdır (farklı yörüngeleri vardır). Meydana gelen net manyetik moment uygulanan alana zıt yöndedir. Netice olarak manyetik akı yoğunluğunda biraz azalma olur. Bu sebeple diyamagnetik maddelerde $X_m \leq 0$ ve $\mu_r \leq 1$ dir.

Paramagnetizma : Paramagnetizmanın asıl nedeni her atomdaki toplam manyetik dipolü oluşturan elektronların spinleridir. Bu tip maddelerde komşu dipoller ve

uygulanan manyetik alan dolayısıyla meydana gelen dipol doğrultuları arasında manyetik akıyı arttıran bir etki vardır. Bu halde $X_m \geq 0$ ve $\mu_r \geq 1$ dir

Ferromagnetizma : Ferromagnetik maddelerde (demir, nikel, kobalt ve bunların alaşımları) atomlardaki spinler, toplam dipol momentini arttıracak şekildedir. Bir manyetik alan uygulandığında dipoller, uygulanan alan doğrultusunda kuvvetli bir iç alan meydana getirecek şekilde sıralanırlar. Ferromagnetizma ile ilgili iki kabul önerilmiştir: Birincisi, uygulanan manyetik alan, manyetik dipollerin yardımı ile çok kuvvetli bir iç alan meydana getirir. İkincisi, ferromagnetik bir malzemede çok sayıda domen adını alan bölgeler vardır. Boyutları 10^{-3} cm mertebesinde olup, milyonlarca atom bulundurur. Her domende spinler magnetizasyon aynı yönde olmasını sağlayacak şekilde düzenlenirler.

2.1.3. İletkenlik Bakımından Malzemelerin Özellikleri

Bir iletken, elektrik alanına maruz kaldığında, elektronlar rasgele hareket eder ama uygulanan elektrik alanının ters yönünde v sürüklenme hızı ile yavaş yavaş sürüklenir. Uygulanan elektrik alan E ise, elektronların sürüklenme hızı, (Yaşar, 1998)

$$v = -\mu_e \cdot E \quad (2.15)$$

ile birbirine bağlıdır. μ_e elektronların hareket yeteneği olup birimi $m^2/(V.s)$ 'dir. E elektrik alanı varken, elektronlarla E 'ye zıt yönde bir kuvvet uygulandığından, ortalama kayma hızı ile akış olur. Bu akış önce tabaka üzerindeki ağır iyonların çarpışması ile önlenir. Ve maddedeki elektrik enerjisi, ısı enerjisine dönüşür. Neticede ρ_e elektron yük yoğunluğu olmak üzere, J akım yoğunluğu,

$$J = \rho_e \cdot v \quad (2.16)$$

olarak ifade edilir. Maddelerin çoğunda hız, elektrik alanın ve maddesel ortamın özelliklerinin bir fonksiyonudur. Ortalama hız, elektrik alana doğrusal olarak bağlıdır. Elektronların sürüklenme hızı ifadesi yerine yazıldığında ;

$$J = -\rho_e \cdot \mu_e \cdot E \quad (2.17)$$

elde edilir. Diğer taraftan iletkenin statik iletkenliği σ_s ise,

$$J = \sigma_s \cdot E \quad (2.18)$$

şeklinde tanımlanmaktadır. Buradan,

$$\sigma_s = -\rho_e \cdot \mu_e \quad (\text{S/m}) \quad (2.19)$$

bulunur. σ_s iletkenliği bir ortamdaki serbest elektron yoğunluğunu karakterize eden bir parametredir. Çok düşük iletkenliğe sahip malzemeler dielektrikler (yalıtkanlar) olarak sınıflandırılırlar. İdeal dielektriklerin iletkenlikleri sıfırdır. Yukarıdaki iletkenlik ifadesi statik yada dc iletkenliktir. İletkenlik frekansın fonksiyonu olarak değişir.

2.1.4. Malzemelerdeki Alternatif Akım Değişimleri

Malzemelere alternatif alanlar uygulandığında, \vec{P} ve \vec{M} polarizasyon vektörleri bu alandan etkilenir ve frekansın fonksiyonu olurlar. Ortamın dielektrik katsayısı ; (Yaşar, 1998)

$$\epsilon = \epsilon' + j\epsilon'' \quad (2.20)$$

biçiminde kompleks olarak yazılabilir. Bağlı değeri ise ,

$$\epsilon_r = \frac{\epsilon}{\epsilon_0} = \epsilon_r' + j\epsilon_r'' \quad (2.21)$$

şeklindedir. Ortam sabitleri bu durumda kompleks olduğundan Maxwell-Amper denklemleri :

$$\begin{aligned} \nabla \times H &= J_i + J_c + j\omega\epsilon E = J_i + \sigma_s E + j\omega(\epsilon' - j\epsilon'')E \\ \nabla \times H &= J_i + (\sigma_s + \omega\epsilon'')E + j\omega\epsilon' E = J_i + \sigma_e E + j\omega\epsilon' E \end{aligned} \quad (2.22)$$

biçiminde yazılabilir. Burada $\sigma_e = \sigma_s + \sigma_a$ eşdeğer iletkenlik, $\sigma_a = \omega\epsilon''$ değişken (ac) iletkenlik, σ_s statik iletkenlik değerleridir. Yukarıdaki denklemde uygulanan elektriksel akım yoğunluğu J_i ile, iletkenin efektif iletkenlik akımının yoğunluğu

$$J_{ce} = \sigma_e E = (\sigma_s + \omega\epsilon'')E \quad \text{ve efektif yer değiştirme akımının yoğunluğu}$$

$$J_{de} = j\omega\epsilon' E \quad \text{bulunmaktadır. Toplam elektriksel akım yoğunluğu ;}$$

$$J_t = J_i + J_{ce} + J_{de} = J_i + \sigma_e E + j\omega\epsilon' E \quad (2.23)$$

şeklinde yazılabilir. Bu denklemden ;

$$J_t = J_i + \sigma_e E + j\omega\epsilon' E = J_i + j\omega\epsilon' \left(1 - j \frac{\sigma_e}{\omega\epsilon'}\right) E = J_i + j\omega\epsilon' (1 - j \tan \delta_e) E \quad (2.24)$$

$\tan \delta_e$ efektif elektriksel kayıp tanjantı olarak adlandırılır ve

$$\tan \delta_e = \frac{\sigma_e}{\omega\epsilon'} = \frac{\sigma_s + \sigma_a}{\omega\epsilon'} = \frac{\sigma_s}{\omega\epsilon'} + \frac{\sigma_a}{\omega\epsilon'} = \frac{\sigma_s}{\omega\epsilon'} + \frac{\epsilon''}{\epsilon'} = \tan \delta_s + \tan \delta_a = \frac{\epsilon_e''}{\epsilon_e'} \quad (2.25)$$

şeklinde ifade edilir. Burada $\tan \delta_s$ statik elektriksel kayıp tanjantı ve $\tan \delta_a$ değişken(ac) elektriksel kayıp olarak adlandırılır.

Malzemeler iyi dielektrikler ve iyi iletkenler olarak sınıflandırılabilirler :

- İyi dielektrikler için $(\sigma_e / \omega \epsilon') \ll 1$ olup, bu tip malzemeler için yer değiştirme akım yoğunluğu, iletkenlik akım yoğunluğundan çok daha büyük olup, yaklaşık olarak toplam akım yoğunluğuna eşittir.
- İyi iletkenler için $(\sigma_e / \omega \epsilon') \gg 1$ olup, bu tip malzemeler için iletimsel akım yoğunluğu, yer değiştirme akım yoğunluğundan çok daha büyüktür ve yaklaşık olarak toplam akım yoğunluğuna eşittir.

Bir çok dielektrik malzemenin manyetik geğirgenliği yaklaşık olarak boşluk değerine yani, μ_0 'a eşittir. Fakat, ferromanyetik ve ferrimanyetik malzemelerde daha büyük değer alır. Bu tip malzemelerde manyetik kayıplar oluşur ve bunlar kompleks bir manyetik geçirgenlik tanımlanarak hesaplanır. Genel olarak Maxwell denklemi ,

$$\begin{aligned} \nabla \times E &= -M_i - j\omega \mu H = -M_i - j\omega(\mu' - j\mu'')H \\ &= -M_i - \omega\mu''H - j\omega\mu'H = -M_t \end{aligned} \quad (2.26)$$

$$M_t = M_i + \omega\mu''H + j\omega\mu'H \quad (2.27)$$

olarak yazılabilir. Burada M_t toplam manyetik akım yoğunluğu, M_i uygulanan(kaynak) manyetik akım yoğunluğu olarak adlandırılır ve aşağıdaki gibi yazılabilir :

$$M_t = M_i + j\omega\mu' \left(1 - j \frac{\mu''}{\mu'} \right) H = M_i + j\omega\mu' (1 - j \tan \delta_m) H \quad (2.28)$$

$$\tan \delta_m = \frac{\mu''}{\mu'} = \text{alternatif akım manyetik kayıp tanjantı} \quad (2.29)$$

Ayrıca ferromanyetik ve ferrimanyetik malzemelerin kompleks manyetik geğirgenliği çoğu kez frekansın bir fonksiyonudur. Dolayısıyla genel olarak,

$$\mu = \mu'(w) - j\mu''(w) \quad (2.30)$$

şeklinde yazılır. Burada $\mu = \mu_0 \cdot \mu_r$ dir.

2.1.5. Kayıplı Ortamlardaki Uniform Düzlem Dalgalar

Y doğrultusunda polarize bir düzlem dalganın kayıplı bir ortamda x yönünde yayıldığını düşünelim. Elektrik alan aşağıdaki gibi ifade edilebilir(Yaşar, 1998) :

$$E(x) = \hat{a}_y E(x) = \hat{a}_y (E_0^+ e^{-\gamma x} + E_0^- e^{+\gamma x}) = \hat{a}_y (E_0^+ e^{-\alpha x} e^{-j\beta x} + E_0^- e^{+\alpha x} e^{+j\beta x}) \quad (2.31)$$

Burada $\gamma = \alpha + j\beta$ kompleks propagasyon sabitini göstermektedir. İlk terim x yönünde ilerleyen dalgayı, ikinci terim ise negatif yönde ilerleyen dalga bileşenidir. γ propagasyon sabitinin reel kısmı α zayıflama sabiti, imajiner kısmı β faz sabiti olmak üzere ;

$$\gamma = \alpha + j\beta = \sqrt{j\omega\mu(\sigma + j\omega\epsilon)} \quad (2.32)$$

dir. Eşitliğin iki tarafının karesi alınıp reel ve imajiner kısımlar eşitlenirse :

$$\beta^2 - \alpha^2 = \omega^2 \epsilon \mu \quad (2.33)$$

$$2\alpha\beta = \omega\mu\sigma \quad (2.34)$$

elde edilir. Bu denklemlerin çözülmesiyle α ve β aşağıdaki gibi bulunur :

$$\alpha = \omega \sqrt{\frac{\mu\epsilon}{2} \left(\sqrt{1 + \frac{\sigma^2}{\omega^2 \epsilon^2}} - 1 \right)} \quad \text{Np/m} \quad (2.35)$$

$$\beta = \omega \sqrt{\frac{\mu\epsilon}{2} \left(\sqrt{1 + \frac{\sigma^2}{\omega^2 \epsilon^2}} + 1 \right)} \quad \text{rad/m} \quad (2.36)$$

elektrik alanla ilgili manyetik alan ise,

$$H = -\frac{1}{j\omega\mu} \nabla \times E(x) = -a_z \frac{1}{j\omega\mu} \frac{\partial E_y}{\partial x} = +a_z \frac{\gamma}{j\omega\mu} (E_0^+ e^{-\gamma x} - E_0^- e^{+\gamma x}) \quad (2.37)$$

şeklinde bulunur. Propagasyon ifadesi yerine konularak,

$$\begin{aligned}
 H &= a_z \frac{\sqrt{j\omega\mu(\sigma + j\omega\epsilon)}}{j\omega\mu} (E_0^+ e^{-\gamma x} - E_0^- e^{+\gamma x}) \\
 &= a_z \sqrt{\frac{\sigma + j\omega\epsilon}{j\omega\mu}} (E_0^+ e^{-\gamma x} - E_0^- e^{+\gamma x}) \\
 &= a_z \frac{1}{Z_w} (E_0^+ e^{-\gamma x} - E_0^- e^{+\gamma x})
 \end{aligned} \tag{2.38}$$

elde edilir. Buradaki Z_w kayıplı ortamın dalga empedansdır ve,

$$Z_w = \sqrt{\frac{j\omega\mu}{\sigma + j\omega\epsilon}} \tag{2.39}$$

şeklinde tanımlanmıştır.

Kayıplı ortamda ilerleyen dalga için, genliğin başlangıçtaki değerinin $e^{-1} = 0,368$ yani % 36,8 'ine düştüğü mesafeye deri (cidar) kalınlığı denir ve δ ile gösterilen deri kalınlığı aşağıdaki gibi hesaplanır :

$$\delta = \frac{1}{\alpha} = \frac{1}{w \sqrt{\frac{\mu\epsilon}{2} \left(\sqrt{1 + \frac{\sigma^2}{w^2\epsilon^2}} - 1 \right)}} \quad \text{m} \tag{2.40}$$

Deri kalınlığı frekans veya iletkenlik yükseldikçe küçülür. Elektromanyetik dalganın, dielektrik içinde ilerlediği her deri kalınlığı uzunluğunda şiddeti 1 Neper (= 8,686 dB) azalır. İletkenler içinde dalgalar çabuk zayıflar.

$(\sigma/w\epsilon)$ oranına bakılarak yukarıdaki ifade daha basit bir hale getirilebilir. $(\sigma/w\epsilon)^2 \ll 1$ olan ortamlar iyi dielektriklerdir, $(\sigma/w\epsilon)^2 \gg 1$ olan ortamlar iyi iletkenlerdir. Buna göre ;

$$(\sigma/w\epsilon)^2 \ll 1 \text{ için } \delta = \frac{2}{\sigma} \sqrt{\frac{\epsilon}{\mu}} \quad (2.41)$$

$$(\sigma/w\epsilon)^2 \gg 1 \text{ için } \delta = \sqrt{\frac{2}{w\mu\sigma}} \quad (2.42)$$

yazılabilir.

2.2. Ekranlama

2.2.1. Temel Kavramlar

Elektromanyetik uyumluluk(EMU), fizik prensiplerinin, kompleks elektrik ve elektronik sistemlerin birlikte ve uyum içerisinde çalışmalarını sağlamak amacıyla uygulandığı çalışma alanıdır. Elektronik sistemlerin tatmin edici bir şekilde çalışabilmeleri için EMU 'nun prensiplerinin sağlanması gerekir. Konuyu daha iyi anlayabilmek için konunun tarihi gelişimine bir göz atmakta yarar vardır.(Şeker ve Çerezci, 1997)

Bir elektronik sistemin bir alt elemanının, diğer bir alt elemanı ile veya diğer sistemlerle olan elektromanyetik girişim problemi, elektriksel sistemlerle çalışmaya başladığından beri yani, yaklaşık bir asırdır bilinmektedir. Günlük hayatımızda elektronik cihazların yaygın olarak kullanılması ve gelecekte bu kullanımda büyük bir artış olacağının beklenmesi dolayısıyla önümüzdeki yıllarda elektromanyetik uyumluluğa yoğun ilgi duyulacağı tahmin edilmektedir.

Haberleşmede kullanılan cihazlar çalışırken devrelerini ve elemanlarını civardaki elektrik ve manyetik alanın etkilerine karşı korumak gerekir. Bu elektromanyetik alanın kaynağı; daimi mıknatıslar, transformatörler ve telefon hatları olabilir. Böyle bir durum için imal edilen cihazın, interferans(girişim) etkisinden izole edilerek ekranlanması önemli bir problemdir. Aksi takdirde, örneğin manyetik şerit üzerindeki bilgiler, kuvvetli elektromanyetik alanların etkisi sonucu zarar görebilir

hatta tamamen yok olabilir. Manyetik şeritler bu yüzden, ekranlanmış ünitelerde depolanmalıdır.

Bobin ve transformatörler, güçlü mıknatısların yanına monte edildiklerinde, performansları bozulabilir. Örneğin rezonans devresinin frekansı kayabilir. Benzer problemler, mikrodalga cihazlarında ve devrelerinde de vardır. Ölçme yapan herhangi bir kimsenin, elde ettiği ölçünün kesin olarak doğru olduğundan emin olması imkansızdır. Bu nedenle mikrodalga ölçmelerinde mikrodalga ekranlarının dizayn edilmesi gereklidir. Böyle bir ekranlama, ekran içindeki elektromanyetik alanın dışarı kaçmasını engellediği gibi, tersine dışarıdan içeriye elektromanyetik enerjinin girmesini de önler. Teorik olarak; bir verici, verilen enerjiyi nakletmeli, alıcı da, yalnız onu almalıdır. Bu olay normal bir laboratuarda asla gerçekleşemez. Çünkü elektronik cihazların parçaları her an için elektriksel enerjiyi alabilir veya yayabilirler. Ayrıca elektriksel enerjinin bir kısmı, laboratuvar duvarları ve laboratuvardaki cihazlar tarafından yansıtılabilir. Bu nedenle laboratuvardaki elektronik cihazlar sürekli olarak, arzu edilmeyen kaynaklardan gelen enerjiye maruz kalırlar. Bir cihazın dizaynında, ideal olarak istenilmeyen enerjiyi yayınlamaması ve arzu edilmeyen herhangi bir enerjiye karşı da, duyarlı olmaması istenir. Bunun başarılması için, dış ortam cihaza kapatılır ve böylelikle, ister dışarıdan içeriye, ister içeriden dışarıya yönelmiş olsun, istenilmeyen enerjinin efektif olarak zayıflaması sağlanır.

Diğer interferans kaynakları arasında, dünyanın manyetik alanı sayılabilir. Bu alan, deney, araştırma ve tesirlerde kesin sonucu elde edilmesini engelleyici bir faktör olabilmektedir. Yapılarda kullanılan çelikler ve diğer ferromanyetik özellikli cisimler, istenmeyen manyetik özellikli çevrenin oluşmasına neden olurlar. Modern yapı tekniğinde, tavanların tutulması ve binanın dayanıklı olması için çelik çubukların fazlaca kullanılması, manyetik problemlerin artmasına neden olmuştur. Bu yüzden laboratuvar araştırmaları ve cihaz üretiminde, performansı olumsuz yönde etkileyen manyetik alanlardan korunma sıklıkla düşünülmüştür.

Ekranlama probleminin en zor olduğu durum, bir çok verici ve alıcı ve diğer duyarlı aletin birbirine yakın olarak bir arada monte edildiği hareketli sistemlerde ortaya çıkar. Radyoastronomi, güdümlü mermi, uydu ve uzay izleme cihazları için de ekranlamanın başarılması hayli zordur. Mikrodalga yutucular, yankısız odalarda veya test hücrelerinde bir sistemin kontrolü için kullanılırlar. Yankısız odalar, duvarlarına çarpan enerjinin çoğunu yutmak suretiyle serbest uzayın bir benzerini oluşturur.

EMU problemini tartışmak için, kullanılan bazı terimleri ve kısaltmaları belirtmek gerekir. Girişim sözcüğü ilk çalışmalarda, sistemde zayıflamaya neden olan; ses, istenmeyen sinyal gibi olayları tarif etmek için ve bozulma kelimesi yerine kullanılmıştır. EMI(elektromanyetik interferans) kısaltması elektromanyetik girişimin yerine kullanılır ki bu olay cihaz, alet ya da sistemin performansında, elektromanyetik bozukluk sonucu azalma oluşturabilir.

Bir çok alanda EMU problemi ile karşılaşmak mümkündür. Bu nedenle, problemlerin boyutları hakkında bir fikir vermek üzere, aşağıdaki başlıklar günümüzde önem kazanmışlardır.

- 1) Askeri Sistemler : Buradaki problem, elektromanyetik koruma için karşı önlemler içerir. Amaçlanan gelişme, mikrodalga silahlar ve ekranlama teknolojileri kullanımına geçilmesidir. Savaş koşullarında radar ve iletişim sistemleri de ayrıca önemlidir.
- 2) Elektrostatik Deşarjlar : Bu başlık altında incelenecek ana konu, mikroçiplerin satış ve işletme sırasındaki tahribatıdır. Bunun yanında uçaklardaki ve arabalardaki elektrostatik boşalmalar ayrıca incelenmesi gereken önemli bir konudur.
- 3) Besleme Sinyalleri : RF sinyalleri, vericileri için kullanılan besleme kaynaklarına olan ihtiyaç paralelinde, girişim problemlerinde artış oluşturur.
- 4) Besleme Kaynağının Bozunumu : Bu, bir çok nedenden kaynaklanabilir.
- 5) Spektrumun Yararlı Biçimde Kullanımı : Kanuni veya kanunsuz radyo frekansı kullanıcılarının, sınırlı olan RF spektrumu kullanımında yol açtığı artışlar, bir çok RF interferans problemini de beraberinde getirmektedir.

- 6) Tutuşma ve Patlama Tehlikeleri : Radyo istasyonlarındaki yayılım, yanıcı buharların bulunduğu petro-kimya ve benzer endüstriyel tesislerdeki (örneğin uçakların yakıt ikmali) potansiyel tehlikeyi arttırmaktadır. Gelecekteki olası tehlike; halk bandı telsizlerinin özelliklerinin; yasal olarak izin verilen maksimum verici gücünü aştığı durumlarda, petrol istasyonları veya kuyularının civarda bulunmasıdır.
- 7) Elektrik Sistemlerinin Arızası : Elektrik ve elektronik sistemlerinin çeşitli nedenlerden ötürü oluşan girişimler sonucu ortaya çıkan hatalı çalışmalardır.
- 8) Data Güvenliği : Modern bilgisayar sistemleri, yerleştirildikleri noktadan çok uzaklara ulaşan yüksek frekans harmonikli ışınım yapan hızlı lojik devrelerle çalışırlar. Bu emisyon güvenli kabul edilen sistemler için de bir tehdit oluşturur.

2.2.2. Ekranlamanın Amacı

Ekranlamanın amacı, yayılan enerjiyi özel bir bölge sınırları içinde tutmak yada yayılan enerjinin özel bir bölgeye girmesini önlemektir. Ekranlama etkinliği, ekranlanan bölgeye giren ve çıkan alanın şiddetindeki desibel olarak azalma ile karakterize edilebilir. (Yaşar, 1998)

Ekranlama ile sağlanan zayıflamanın üç nedeni vardır. Bunlar aşağıdaki gibi sıralanabilir :

- Gelen enerji hava-metal sınırının empedans süreksizliğinden dolayı ekranın yüzeyinden yansır. Bunun için özel bir malzeme kalınlığı gerekmez.
- Ekran yüzeyini geçen, yani yansımamış enerji ekranın içinden geçerken zayıflar.
- Ekranın karşı yüzüne ulaşan enerji öteki metal-hava sınırıyla karşılaşır ve böylece bir kısmı ekranın içine geri yansır.

2.3. Elektronik Ürünlerin Ekranlanması

Ekran kelimesi genellikle metalik bir kaplamayı göstermiş olup, elektronik cihazın tümü veya bir kısmını kaplar. Bu işlem iki amaçla yapılır. Birincisi; radyasyonun elektronik cihazın dışına çıkışını veya dışarıdaki bir radyasyonun cihaza girişini, ikinci amaç ise ; girişim olayını önlemektir. Ekranlama, örneğin yüksek güçlü radarlar veya radyo ve TV vericileri gibi, dış sinyallere karşı duyarlı olan elektronik cihazların hassasiyetini azaltmak amacıyla gütmektedir. Bundan dolayı kavramsal olarak ekran; elektromanyetik alanların geçişine karşı yapılan bir engel olarak tanımlanabilir. Bir ekranın etkinliği veya verimi; bir ekran üzerine düşen elektrik ve manyetik alanın şiddetinin ekrandan geçen dalganın alan bileşenine oranı olarak da tanımlanabilir. (Şeker ve Çerezci, 1994)

Ekranlamanın etkili olması ekranlanacak kaynağın cinsine bağlıdır. Ekranlama probleminde iki tip girişim kaynağı söz konusudur.; elektrik dipolü gibi davranan kaynaklar, manyetik dipol gibi davranan kaynaklar. Elektrik dipol yakınında güçlü elektrik alan, manyetik dipol yakınında ise güçlü manyetik alan oluşur. Uzak alanda iki kaynağın etkileri açısından bir fark yoktur. Öyleyse; elektrik dipol gibi davranan girişim kaynağı yakınında elektriksel ekranlama, manyetik dipol gibi davranan girişim kaynağı yakınında manyetik ekranlama gereklidir.

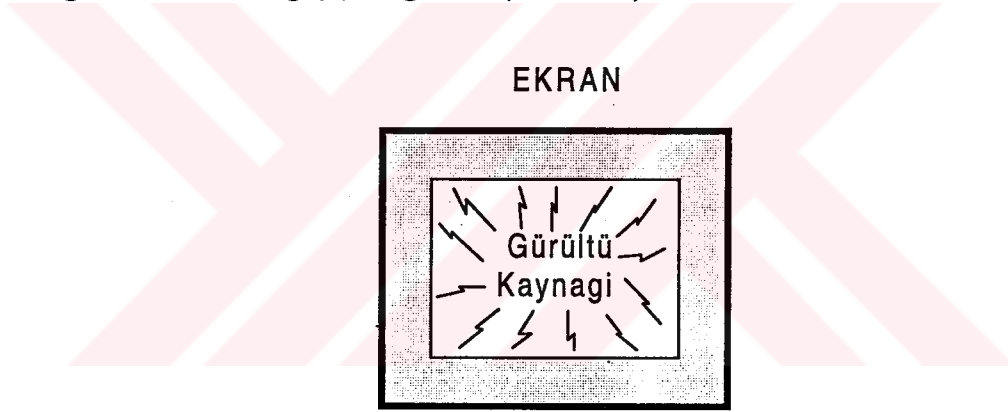
Elektriksel ekranlama için mükemmel iletken duvarlar kullanılırken, manyetik ekranlama ferro-manyetik malzemelerden oluşan filtrelerle sağlanır. Kalınlığı t olan kayıplı bir duvar, elektromanyetik dalgaları üç şekilde zayıflatır. Birincisi duvardan yansımalarıdır. İkincisi duvar içindeki yutulma, üçüncüsü ise duvar içindeki ardışıl yansıma kayıplarıdır. (Sevgi, 2000)

Eğer ekran kapalı bir çevre ise Şekil 2.1.'de gösterildiği gibi ekran içinde elektromanyetik alan kaynağı olabilmektedir. Bu konfigürasyon ekranı dışına yerleştirilmiş duyarlı bütün cihazlar için bir koruma sağlamaktadır. Bir ekran ayrıca Şekil 2.2.' de gösterildiği gibi bölgenin dışından gelen elektromanyetik yayılımı da engelleyebilir. Bu, ekran içindeki özel cihazlar için bir koruma sağlar. Sistemin

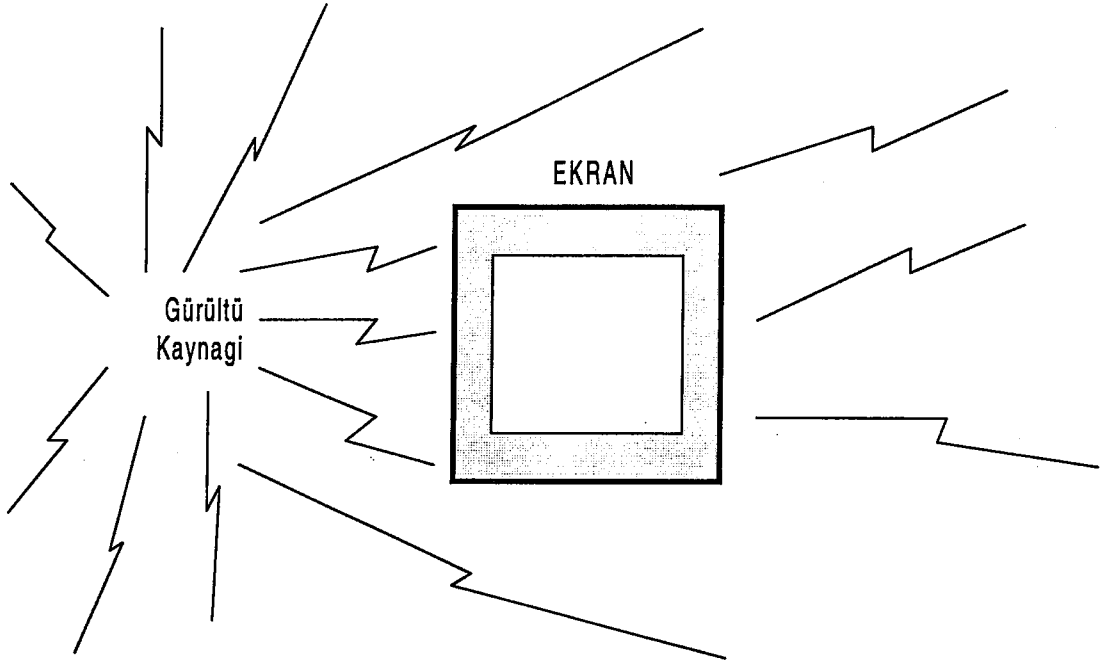
genelinde, gürültü kaynağının ekranlanması, alıcının ekranlanmasından daha etkilidir. (Ott, 1988)

2.3.1. Yakın Alan ve Uzak Alan

Bir alanın karakteristiği kaynak, kaynağın bulunduğu ortam, kaynakla gözlem noktası arasındaki mesafe ile belirlenmektedir. Kaynağa yakın bir noktada alan özellikleri kaynak karakteristikleri ile birlikte öncelikle belirlenmelidir. Kaynaktan uzakta, alanın özellikleri, alanın yayıldığı ortama bağlıdır. Bu nedenle Şekil 2.3.'de gösterildiği gibi bir kaynaktan yayılım iki bölge içinde olmaktadır. Kaynağın yakınında yakın alan veya indüklenen alan, $\lambda/2\pi$ 'den daha büyük mesafelerde ise uzak alan olarak tanımlanmaktadır. $\lambda/2\pi$ bölgesi civarı ise yakın alan ve uzak alan bölgesi arasında bir geçiş bölgesidir.(Ott, 1988)

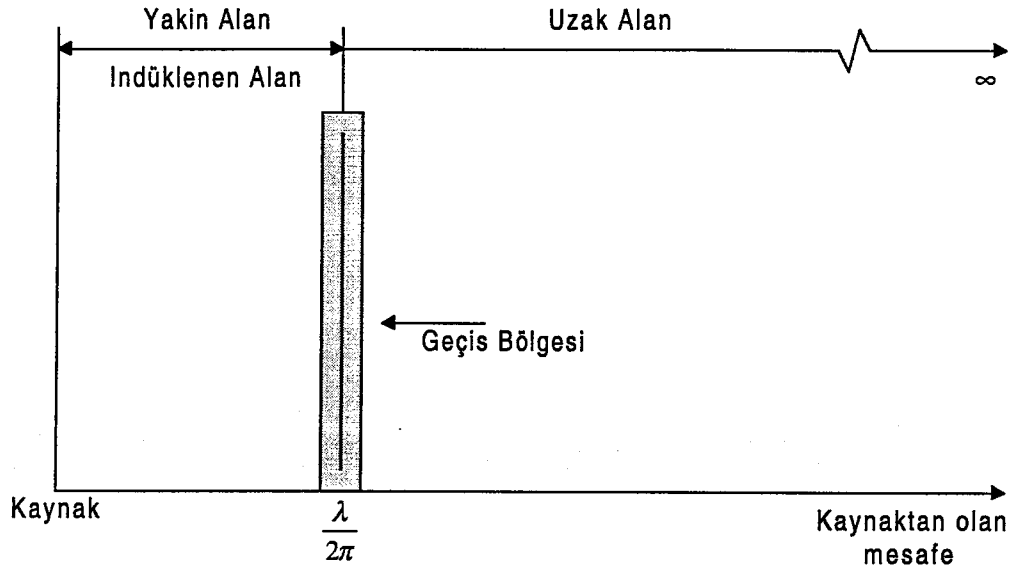


Şekil 2.1. Ekranın dışında bulunan ortamın girişimden korunması için kullanılan ekran modeli

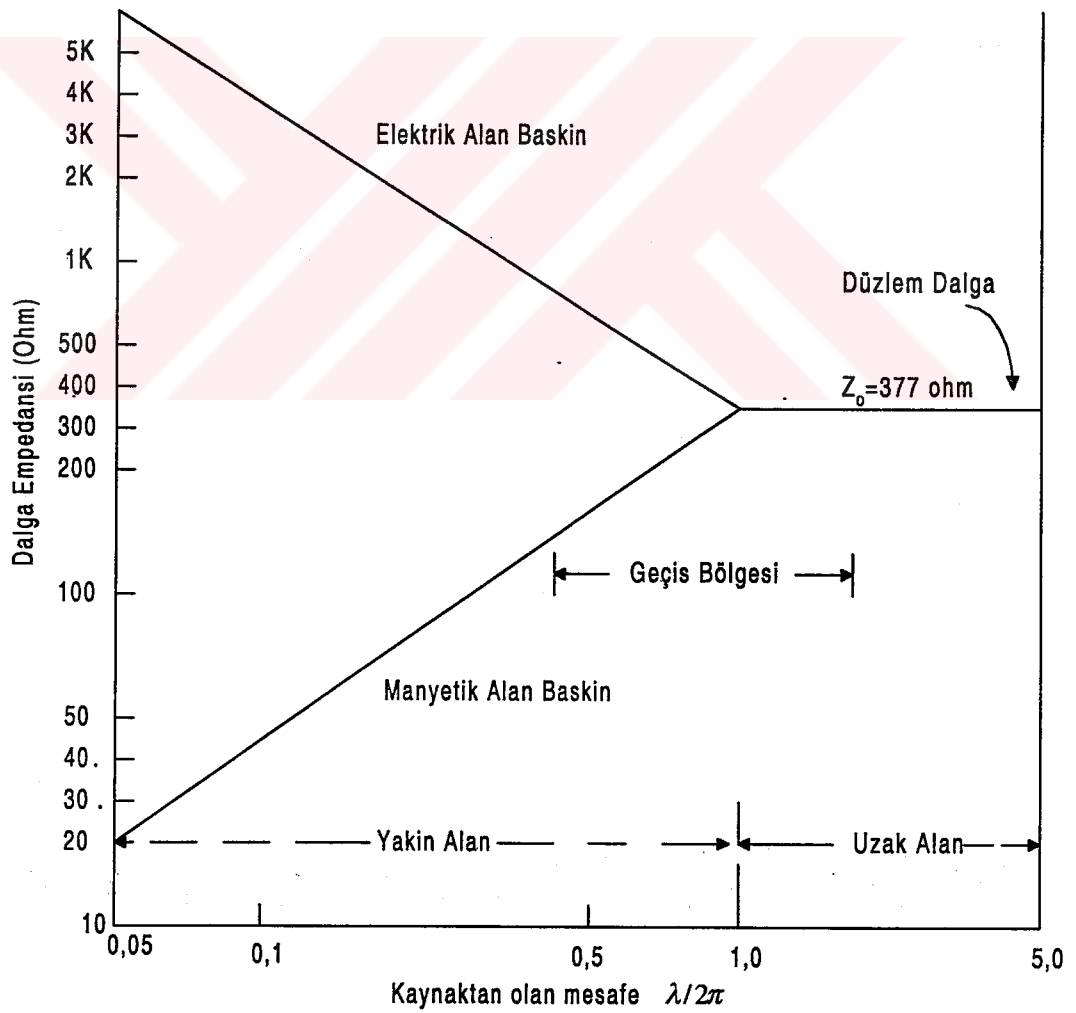


Şekil 2.2. Ekranın içinde bulunan ortamın girişimden korunması için kullanılan ekran modeli

E elektrik alanın H manyetik alana oranı dalga empedansı olarak tanımlanır. Uzak alan için bu E/H oranı, ortamın karakteristik empedansına eşittir (hava ve serbest uzayda $E/H=Z_0=377 \Omega$ dur). Yakın alanda ise bu oran kaynaktan olan mesafeye ve kaynağın karakteristiği ile belirlenir. Eğer kaynak düşük voltaj, yüksek akıma sahipse ($E/H<377$) yakın alanda manyetik alan baskın, eğer kaynak yüksek voltaj, düşük akıma sahipse ($E/H>377$) yakın alanda elektrik alan baskındır.



Şekil 2.3. Kaynaktan olan mesafe ile alan karakteristiğinin değişimi



Şekil 2.4. Elektrik veya manyetik alan olması durumu için kaynaktan olan mesafe ile dalga empedansının değişimi

Yakın alanda elektrik alan $(1/r)^3$ oranı ile zayıflar, halbuki manyetik alan $(1/r)^2$ oranı ile zayıflamaktadır. Bu suretle Şekil 2.4.'de gösterildiği gibi dalga empedansı uzak alan için serbest uzay empedansına asimptotik olarak yaklaşmaktadır. Manyetik alanın baskın olduğu durum için, anten yakınındaki dalga empedansı düşüktür. Kaynaktan olan mesafe artarken manyetik alan $(1/r)^3$ oranı ile zayıflar, elektrik alan ise $(1/r)^2$ oranı ile zayıflamaktadır. Dalga empedansı bu nedenle mesafe ile artmakta, $\lambda/2\pi$ mesafesinde serbest uzayinkine yaklaşmaktadır. Uzak alanda elektrik ve manyetik alanın her ikisi de $1/r$ oranı ile zayıflar. Yakın alanda elektrik ve manyetik alan ayrı ayrı göz önüne alınmalıdır ve bu bölgede birbirlerine oranı sabit değildir. Uzak alanda ise gelen elektrik ve manyetik alan düzlem dalga olarak alınır ve serbest uzay için empedansı 377Ω dur.

2.3.2. Karakteristik ve Dalga Empedansı

Bir ortamın karakteristik sabitleri ;

Permeabilite ; μ (serbest uzay için $4\pi \cdot 10^{-7}$ H/m)

Dielektrik sabiti ; ϵ (serbest uzay için $8,85 \cdot 10^{-12}$ F/m)

İletkenlik ; σ (bakır için $5,82 \cdot 10^7$ mho/m)

şeklinde. Herhangi bir elektromanyetik dalga için dalga empedansı şu şekilde hesaplanır (Ott, 1988)

$$Z_w = \frac{E}{H} \quad (2.43)$$

ortamın karakteristik empedansı ise ;

$$Z_o = \sqrt{\frac{j\omega\mu}{\sigma + j\omega\epsilon}} \quad (2.44)$$

biçiminde ifade edilir. Uzak alan bölgesinde düzlem dalga için Z_o dalga empedansına eşittir. Yalıtkanlar için ($\sigma \ll j\omega\epsilon$) karakteristik empedans frekanstan bağımsızdır ve

$$Z_o = \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}} \quad (2.45)$$

şeklinde ifade edilebilir. Serbest uzay için $Z_o=377\Omega$ 'a eşittir. İletkenlerde ($\sigma \gg j\omega\epsilon$) karakteristik empedans, ekran empedansı olarak adlandırılır ve

$$Z_m = \sqrt{\frac{j\omega\mu}{\sigma}} = \sqrt{\frac{\omega\mu}{2\sigma}}(1+j) \quad (2.46a)$$

$$|Z_m| = \sqrt{\frac{\omega\mu}{\sigma}} \quad (2.46b)$$

olarak ifade edilir. Bakır için 1 kHz'de $|Z_m|$ $1,16 \cdot 10^{-5}$ değerine eşittir. Herhangi bir iletken için genel olarak ekran empedansı şu şekilde ifade edilebilir :

$$|Z_m| = 3,68 \times 10^{-7} \sqrt{\frac{\mu_r}{\sigma_r}} \sqrt{f} \quad (2.47)$$

Farklı materyaller için bağıl permeabilite (μ_r) ve bağıl iletkenlik (σ_r) değerleri Çizelge 2.1.' de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Değişik materyallerin bağıl iletkenlik ve permeabiliteleri

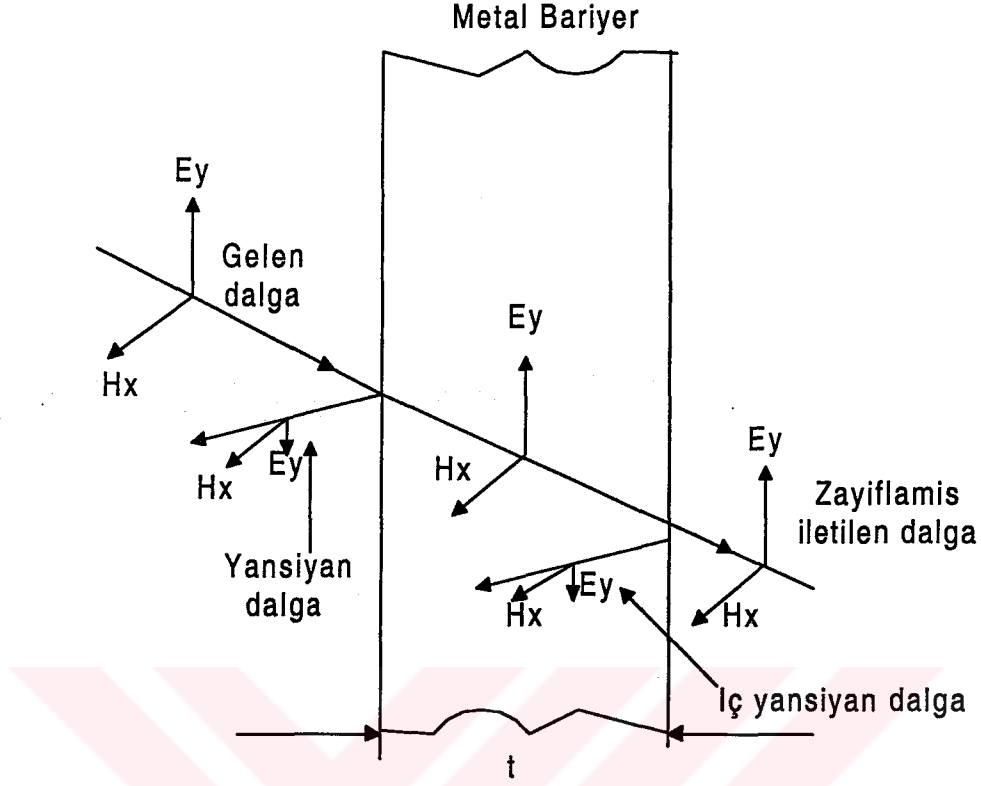
Malzeme	σ_r	μ_r	$\sigma_r \cdot \mu_r$	σ_r / μ_r
Gümüş	1,05	1	1,05	1,05
Bakır	1	1	1	1
Altın	0,7	1	0,7	0,7
Alüminyum	0,61	1	0,61	0,61
Prinç	0,26	1	0,26	0,26
Bronz	0,18	1	0,18	0,18
Teneke	0,15	1	0,15	0,15

Çizelge 2.1. (devam)

Kurşun	0,08	1	0,08	0,08
Nikel	0,2	100	20	2.10^{-3}
Paslanmaz Çelik (430)	0,02	500	10	4.10^{-5}
Çelik (SAE 1045)	0,1	1000	100	1.10^{-4}
Mumetal (1 kHz)	0,03	20000	600	$1,5.10^{-6}$
Süperİletken (1kHz)	0,03	100000	3000	3.10^{-7}

2.4. Ekranlama Verimi Hesabı

Ekranlama ; alıcı ve verici arasında, elektromanyetik dalganın ilerlediği yola metal bir bariyer yerleştirme işlemidir. Metal bariyerin karakteristik empedansı denklem 2.46a 'daki gibi hesaplanmaktadır. Bu empedans değeri optik bölgenin altındaki frekanslarda iyi iletkenler için oldukça düşüktür. Buna göre ekranlama teorisi, Şekil 2.5. 'deki metal yüzeyinden yansıma ve metal boyunca iletim davranışını baz alarak kurulur. Bu kısımda, şekilde gösterilen t kalınlıkta, σ iletkenliğinde, ϵ_r dielektrik katsayısında ve μ_r manyetik geçirgenliğindeki bir tabaka veya ekran engel problemini ele alalım. Problemden bir elektromanyetik dalga bu tabakaya çarpmaktadır. Tabakaya çarpan dalganın bir kısmı yansırken, geri kalan kısmı da geçer. Kaynaktan gelen elektromanyetik 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. (Kodali, 1998)



Şekil 2.5. Düzlem dalgalar için ekranlama mekanizmasının gösterilmesi

Elektrik alan için tanımlanan ekranlama verimi desibel olarak (Şeker ve Çerezci, 1997) ;

$$EV = 20 \log \left| \frac{E_i}{E_t} \right| \quad (2.48)$$

şeklindedir. Burada E_i , gelen dalganın elektrik alan şiddeti, E_t ise tabakadan geçen dalganın elektrik alan şiddetini gösterir. Tabakaya gelen alanın tabakayı geçen alandan daha büyük olması dolayısıyla, sonuç pozitif olacaktır. Şayet oran E_t/E_i alınır, sonuç negatif çıkacaktır, ki bu oran geçme katsayısı olarak tanımlanmaktadır. Örneğin 120 dB 'lik ekranlama verimi demek; gelen alanın büyüklüğünün geçen alanın büyüklüğünün 10^6 katına eşit olduğu anlamına gelir. Ekranlama verimi manyetik alan cinsinden de desibel olarak ;

$$EV = 20 \log \left| \frac{H_i}{H_t} \right| \quad (2.49)$$

olarak ifade edilebilir. Burada H_i , gelen dalganın manyetik alan şiddeti, H_t ise tabakadan geçen dalganın manyetik alan şiddetini gösterir. Ekranlamanın performansını belirleyen ekranlama verimliliği, gelen dalganın frekansına bağlı olup, düşük frekanslarda ve quasi statik sistemlerde yukarıdaki bağıntılarda olduğu gibi ayrı ayrı ifade edilir. Yüksek frekanslarda E ve H birlikte ele alındığı için, ekranlama verimi güç akışı anlamında aşağıdaki gibi ;

$$EV = 20 \log \frac{P_i}{P_t} \quad (2.50)$$

olarak yazılabilir. Burada P_i ve P_t ,daha önce alan bileşenlerinde tanımlandığı gibi sırasıyla ; gelen ve geçen güç akışını göstermektedir.

Ekran kabini dizaynında göz önüne alınması gereken iki önemli parametre vardır. Bunlar (Sevgi, 2000):

- 1) Ekran materyalinin kendi ekranlama etkinliği
- 2) Ekrandaki boşluklar ve süreksizliklerin oluşturduğu ekranlama etkinliğidir.

İlk olarak boşluk veya ek yerleri olmayan bir ekranın ekranlama verimi (EV) belirlenir ve daha sonra boşluk ve süreksizliklerin etkisi göz önüne alınır. EV; frekansla, ekranın geometrisiyle, ekran içinde ölçüm yapılan konuma, zayıflamanın olduğu alan tipine, gelen alanın yönüne ve polarizasyonuna bağlıdır.

Bir metal yüzeye çarpan elektromanyetik dalganın bir kısmı iletken yüzeyden yansır, ve bir kısmı da iletken içinde yutulur. Bu son etki absorpsiyon 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 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. Toplam ekranlama etkinliği ;yutulma kaybı(A), yansıma kaybı(R) ve ince ekranlardaki çoklu yansıma kayıpları(M) olmak üzere şu şekilde ifade edilir :

$$EV=A+R+M \quad (2.51)$$

Burada M, A eğer 9 dB 'den büyükse ihmal edilebilir. Ayrıca pratikte elektrik alan ve düzlem dalga için de ihmal edilebilir. (Şeker ve Çerezci, 1997)

2.4.1. Zayıflama Kaybı

Bir ortam boyunca ilerleyen(Şekil 2.6.a) elektromanyetik dalganın genliği üstel olarak (Şekil 2.6.b)azalır. Bu azalma materyaldeki omik kayıplardan dolayıdır. Böylece (Ott, 1988);

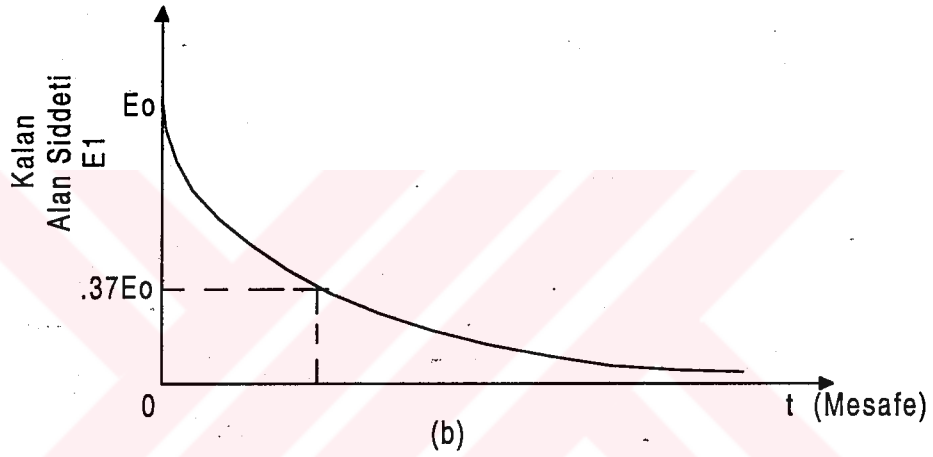
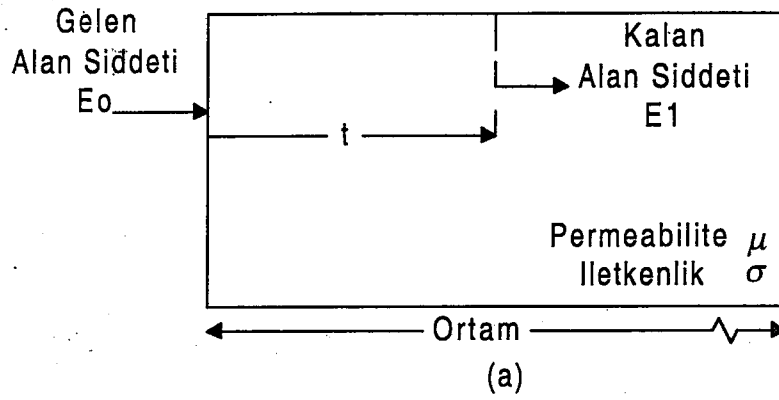
$$E_1 = E_o e^{-t/\delta} \quad (2.52)$$

$$H_1 = H_o e^{-t/\delta} \quad (2.53)$$

yazılabilir. Burada $E_o(H_o)$; gelen dalganın şiddeti, $E_1(H_1)$; ortam içinde, t mesafesindeki dalga şiddetidir. İyi iletken materyaller için deri kalınlığı $\delta = \sqrt{\frac{2}{\omega\mu\sigma}}$ (m) biçiminde tanımlanmaktadır. μ ve σ 'nin nümerik değerleri yerine yazıldığında inch olarak deri kalınlığı;

$$\delta = \frac{2,6}{\sqrt{f\mu_r\sigma_r}} \quad (\text{inch}) \quad (2.54)$$

olarak yazılabilir.



Şekil 2.6. Elektromanyetik dalganın yutucu bir ortamda ilerlerken üstel olarak zayıflaması

Bir ekran içinden geçerek ilerleyen dalga için zayıflama kaybı şu şekilde yazılabilir ;

$$A = 20 \left(\frac{t}{\delta} \right) \log(e) \text{ dB} \quad (2.55a)$$

$$A = 8,69 \left(\frac{t}{\delta} \right) \text{ dB} \quad (2.55b)$$

Her bir deri kalınlığında, ekrandaki zayıflama kaybı yaklaşık olarak 9 dB dir. Kalınlık iki kat olduğunda kayıpta 2 kat artar.

2.4.2. Yansıma Kaybı

İki ortam arasındaki yüzeyde oluşan yansıma kaybı Şekil 2.7.'de gösterildiği gibi, ortamlar arasındaki empedans farklılıkları ile ilgilidir. Empedansı Z_1 olan bir ortamdan, empedansı Z_2 olan bir ortama iletilen dalganın şiddeti (Ott, 1988) ;

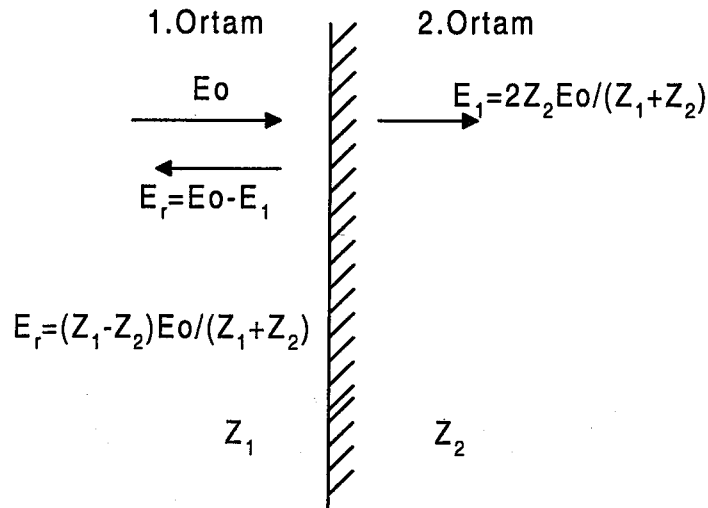
$$E_1 = \frac{2Z_2}{Z_1 + Z_2} E_o \quad (2.56)$$

$$H_1 = \frac{2Z_1}{Z_1 + Z_2} H_o \quad (2.57)$$

dir. Burada $E_o(H_o)$ gelen dalganın, $E_1(H_1)$ iletilen dalganın şiddetidir. Şekil 2.8.'de bir ortam boyunca sınırlardan geçen ve yansıyan alanlar gösterilmiştir. Z_1 ve Z_2 empedanslı iki ortam arasındaki ikinci sınırdan iletilen dalganın şiddeti $E_t(H_t)$ ise ;

$$E_t = \frac{2Z_1}{Z_1 + Z_2} E_1 \quad (2.58)$$

$$H_t = \frac{2Z_2}{Z_1 + Z_2} H_1 \quad (2.59)$$



Şekil 2.7. İki ortam arasındaki bir yüzeye gelen dalganın (E_o), iletilen (E_1) ve yansıyan (E_r) kısımlarının gösterilimi

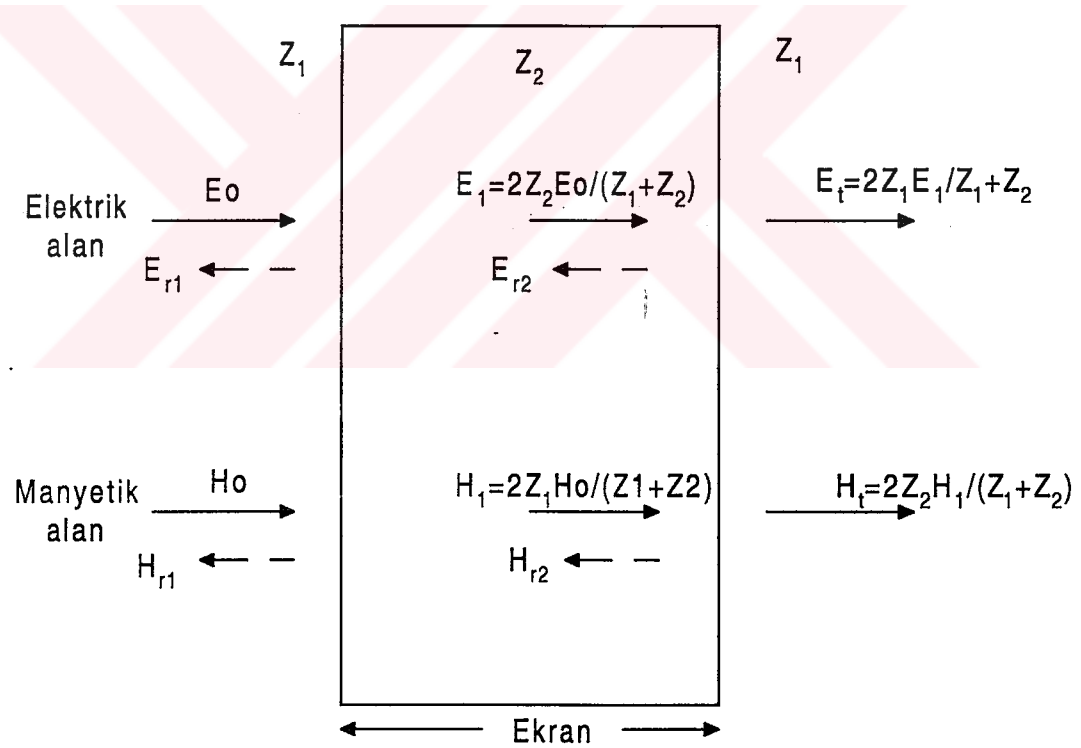
Eğer ekran kalınlığı, deri kalınlığına göre kalın ise toplam iletilen dalga şiddeti; sırasıyla 2.56, 2.57, 2.58 ve 2.59 denklemleri kullanılarak bulunur. Burada zayıflama kaybı ihmal edilir. Bu nedenle kalın ekranlar için toplam iletilen dalga ;

$$E_t = \frac{4Z_1Z_2}{(Z_1 + Z_2)^2} E_o \quad (2.60)$$

ve

$$H_t = \frac{4Z_1Z_2}{(Z_1 + Z_2)^2} H_o \quad (2.61)$$

biçiminde yazılabilir.



Şekil 2.8. Ekranın her iki yüzeyindeki iletilen ve yansıyan alanların gösterilimi

Elektrik ve manyetik alan her bir sınırdaki farklı yansımasına rağmen, her bir sınır boyunca net etki her iki alan içinde aynıdır. Eğer ekran metal ve çevresindeki bölge bir yalıtkan ise ($Z_1 \gg Z_2$), en büyük yansıma (en küçük iletim) gerçekleşmektedir. Bu

durum elektrik alan için ilk sınırdaki, manyetik alan için ise ikinci sınırdaki olmaktadır. Ekran içindeki çoklu yansımalar ise ekranlama verimini azaltmaktadır. $Z_1 \gg Z_2$ olduğunda 2.60 ve 2.61 denklemleri şu şekilde yazılabilir;

$$E_t = \frac{4Z_2}{Z_1} E_o \quad (2.62)$$

ve

$$H_t = \frac{4Z_2}{Z_1} H_o \quad (2.63)$$

Z_1 için Z_w dalga empedansı ve Z_2 için Z_m ekran empedansı yazılırsa, çoklu yansımalar ihmal edildiğinde, E veya H'nin yansımaya kaybı ;

$$R = 20 \log \frac{|Z_w|}{4|Z_m|} \quad \text{dB} \quad (2.64)$$

olarak yazılabilir. Burada ;

Z_w : ekrana girmeden önceki bölgedeki dalga empedansı

Z_m : ekranın empedansı

Bu yansımaya kaybı denklemi yüzeyin normali ile gelen düzlem dalga içindir. Eğer dalga yüzeyin normalinden farklı bir açı ile gelirse, yansımaya kaybı artar. Bu sonuçlar elektrik ve manyetik alan için ve eğri yüzeyler (eğrilik yarıçapı, deri kalınlığında büyük olduğunda) için de uygulanabilir.

2.4.2.1. Düzlem Dalgaların Yansımaya Kaybı

Uzak alan için düzlem dalga olması durumunda dalga empedansı Z_w serbest uzay karakteristik empedansına eşittir ($Z_o=377 \Omega$). Bu nedenle denklem 2.64 ;

$$R = 20 \log \frac{94,25}{|Z_m|} \quad \text{dB} \quad (2.65a)$$

biçiminde yazılabilir. (Ott, 1988)

Bu nedenle ekran empedansı azaldığında, yansıma kaybı artmaktadır. $|Z_m|$ için denklem 2.47, 2.65a denkleminde kullanılırsa ;

$$R = 168 + 10 \log(\sigma_r / \mu_r f) \quad \text{dB} \quad (2.65b)$$

yazılabilir.

2.4.2.2. Yakın Alanda Yansıma Kaybı

Yakın alan bölgesinde elektrik alanın manyetik alana oranı artık ortamın karakteristik empedansı ile belirlenmelidir. E/H oranı yerine kaynağın (antenin) karakteristiği göz önünde bulundurulmalıdır. (Ott, 1988)

Denklem 2.64 den yansıma kaybının, ekran empedansı ile dalga empedansı arasındaki oranın bir fonksiyonu olduğundan, yansıma kaybı, dalga empedansı ile değişir. Yüksek empedanslı (elektrik) alan bu nedenle düzlem dalgadan daha yüksek bir yansıma kaybına sahiptir. Benzer şekilde düşük empedanslı (manyetik) alan düzlem dalgadan daha düşük bir yansıma kaybına sahiptir.

2.4.2.3. Yansıma Kaybı İçin Genel Denklem

Yansıma kaybı için, çoklu yansıma kaybı ihmal edildiğinde şu genel ifade yazılabilir:

$$R = C + 10 \log \left(\frac{\sigma_r}{\mu_r} \right) \left(\frac{1}{f^n \cdot r^m} \right) \quad \text{(dB)} \quad (2.66)$$

Burada r; kaynağın ekrana uzaklığı, C, n ve m ise sabit olup, alabileceği değerler aşağıdaki Çizelge 2.2.'de gösterilmiştir. (Ott, 1988)

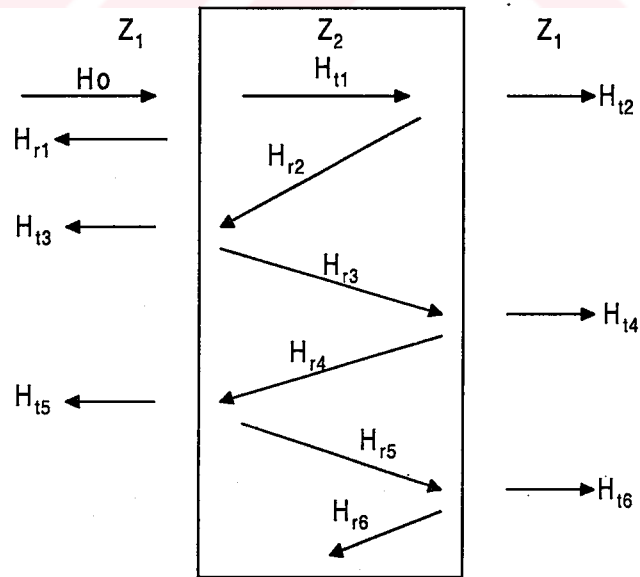
Çizelge 2.2. Yansıma kaybı denklemi için kullanılan sabitler

Alan Tipi	C	n	m
Elektrik Alan	322	3	2
Düzlem Dalga	168	1	0
Manyetik Alan	14,6	-1	-2

2.4.3. İnce Ekranlarda Çoklu Yansımalar

Eğer ekran ince ise ikinci sınırdan yansıyan dalga, ilk sınırdan tekrar geri yansıtacak ve ikinci sınıra tekrar dönecek ve tekrar yansıtacaktır (Şekil 2.9.). Kalın levha olması durumu için, yüksek zayıflama kaybı oluşmasından dolayı çoklu yansıma ihmal edilebilir. (Ott, 1988)

Gelen dalganın çoğunun elektrik alan olması durumunda, dalga ilk sınırdan yansır ve ekrana çok küçük bir yüzdesi girer. $Z_2 \ll Z_1$ olduğundan bu sonuç denklem 2.56 dan da çıkarılabilir. Bu nedenle ekran içinde çoklu yansımalar elektrik alan için ihmal edilebilir.



Şekil 2.9. İnce bir ekranda oluşan çoklu yansımalar

Gelen dalganın çoğunun manyetik alan olması durumunda ise ; alanın çoğu ekranın içine geçer, $Z_2 \ll Z_1$ olduğundan bu sonuç denklem 2.57 den de çıkarılabilir. Bu durumda ekran içindeki çoklu yansımaların etkisi göz önüne alınmalıdır. δ deri kalınlığında ve t kalınlığındaki bir ekranda çoklu yansımaya kaybı ;

$$M \cong 20 \log_{10} \left| 1 - e^{-2t/\delta} \cdot e^{-j2t/\delta} \right| \quad \text{dB} \quad (2.67)$$

biçiminde yazılabilir. Burada ekran malzemesinin çok iyi iletken yapıldığı ve ekran kalınlığının, deri kalınlığından fazla olduğu düşüncesinden hareketle bazı ihmaller yapılmıştır. Aynı zamanda $\beta = \alpha = 1/\delta$ kabul edilerek, ekran malzemesinin iyi bir iletken olduğu varsayılmıştır. $t \gg \delta$ ise $M \cong 0$ olur fakat $t \ll \delta$ ise çoklu yansımaya dB olarak negatif olur. Bu durum da ekranın ekranlama tesirini azaltır.

2.5. Manyetik Materyallerle Ekranlama

Eğer ekranda manyetik materyal kullanılırsa permeabilite (μ) yükselir ve iletkenlik azalır. Bu durumda şu etkiler gözlenir. (Ott, 1988)

- Zayıflama kaybı artar.
- Yansımaya kaybı azalır (denklem 2.66'ya göre)

Bir ekran boyunca toplam kayıp, yansımaya kaybı ve zayıflama kaybının toplamına eşittir. Manyetik alanın düşük frekanslı olması durumunda yansımaya kaybı çok düşük olacağından, ekranlama mekanizmasında zayıflama kaybı önemli olacaktır. Bu şartlar altında zayıflama kaybını arttırmak için manyetik materyallerin kullanımı avantaj yaratmaktadır. Düşük frekanslı elektrik alan veya düzlem dalga olması durumunda ise ekranlama mekanizmasında yansımaya kaybı önem kazanmaktadır. Bir ekranda manyetik materyal kullanıldığında şu üç özellik göz önüne alınmalıdır ;

- 1- Frekansla permeabilite azalmakta
- 2- Permeabilite alan şiddetine bağlı olmakta

- 3- Mumetal gibi yüksek permeabiliteli manyetik materyaller kullanılıyorsa, materyalin manyetik özelliği değişebilmektedir.

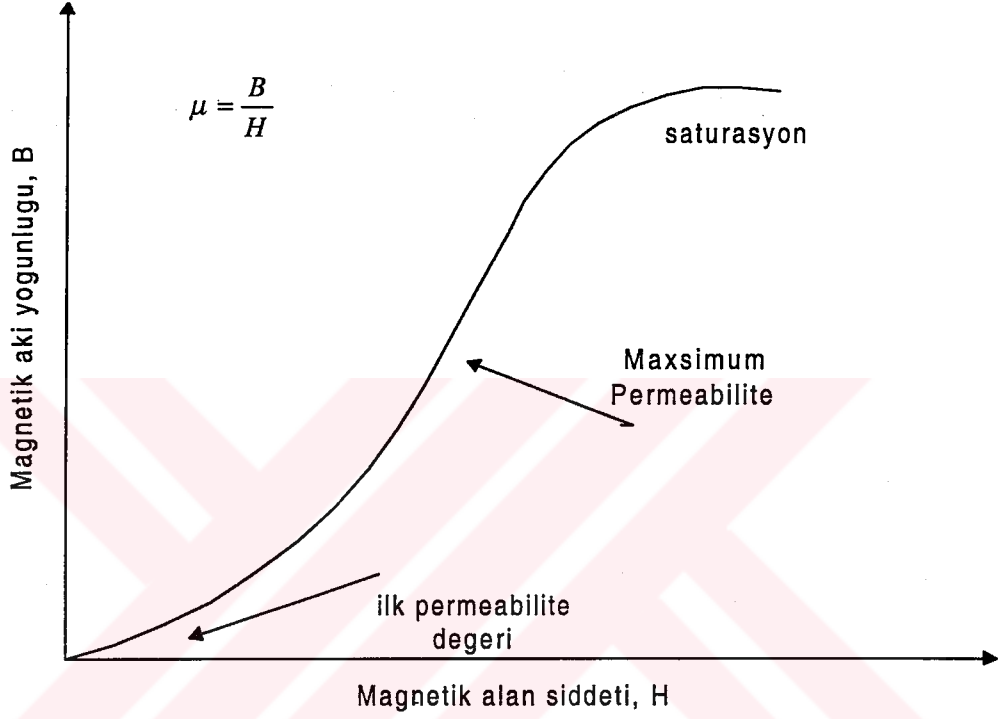
Manyetik materyaller için verilen çoğu permeabilite değeri statik veya dc permeabilitedir. Frekans yükseldikçe permeabilite azalır. Genellikle dc permeabilite daha büyüktür ve bu büyüklük frekansla azalacaktır. Çizelge 2.3.'de çelik için frekans-permeabilite değişimi değerleri gösterilmiştir. Statik permeabilite; B 'nin H'ye oranına eşittir. Tipik magnetizasyon eğrisi Şekil 2.10.'da gösterilmiştir. Buradan görüldüğü gibi, maksimum permeabilite ve dolayısıyla ekranlama, alan yoğunluğunun orta seviyelerinde olmaktadır. Saturasyon nedeniyle alan yoğunluğu yüksektir ki bu durum kalınlığa ve materyalin tipine bağlıdır. Saturasyon bölgesinin üstündeki alan şiddetinde permeabilite hızlı bir şekilde azalır. Genel olarak, permeabilite yükseldikçe doyuma neden olan alan değeri düşer. Çoğu manyetik materyalin özelliği; permeabilite ile belirlenmektedir, yani dolayısıyla alan şiddeti ve frekansa da bağlıdır. (Ott, 1988)

Çizelge 2.3. Çeliğin bağıl permeabilitesinin frekansla değişim değerleri

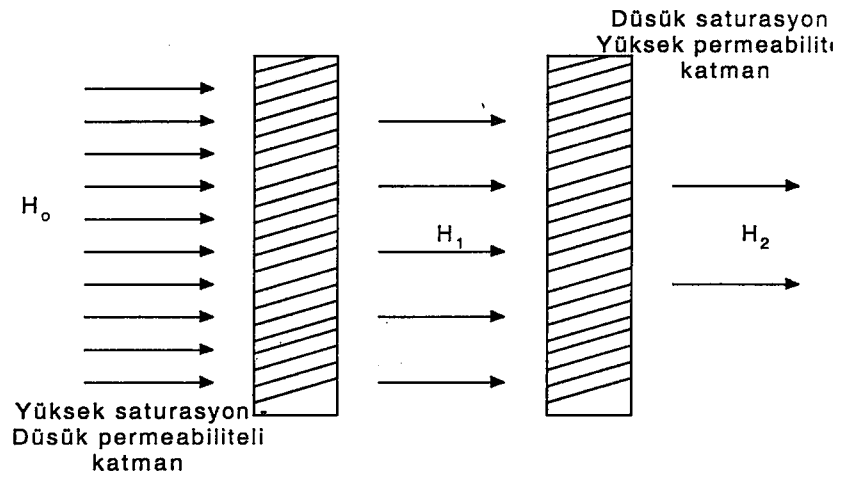
Frekans (MHz)	Bağıl Permeabilite (μ_r)
0,0001	1000
0,0010	1000
0,0100	1000
0,1000	1000
1,0000	700
10,0000	500
100,0000	100
1000,0000	50

Doyma etkisini minimum yapmanın tipik yolu, iki ekran birden kullanmaktır Şekil 2.11.'de bunun için örnek bir ekran yapısı gösterilmiştir. Burada ilk kat düşük bir μ_r 'ye ve doyuma karşı düşük bir hassasiyete (yüksek saturasyonu), ikinci kat ise yüksek permeabiliteli ve düşük saturasyonu sahip olmalıdır. Bu katın amacı, gelen manyetik

alanı zayıflatmaktır. Böylece, yüksek bir μ_r 'ye ve doyum için yüksek bir potansiyele sahip olan ikinci ekran doyuma girmez. Örneğin ilk kat için bakır gibi bir iletken, ikinci kat için ise manyetik bir materyal kullanılabilir. İlk kat manyetik alan kaynağının yakınına yerleştirilmelidir. Bu yapının kullanılmasının bir başka avantajı ise yansıma kayıplarının da artmasıdır.



Şekil 2.10. Tipik magnetizasyon eğrisi



Şekil 2.11. Saturasyon olayını önlemek için kullanılan çok katlı manyetik ekran

2.6. Düşük Frekanslı Manyetik Alanların Ekranlanması

Uzak alan (düzlemsel dalga) kaynakları söz konusu olunca, ekranlama mekanizmasında, yüksek frekanslar için zayıflama kaybı; düşük frekanslar için ise, yansıma kaybı önem taşır. Yakın alan elektrik kaynakları söz konusu olduğunda ise, düzlemsel dalga durumuna göre çok fazla değişiklik görülmez. Yine; düşük frekanslarda yansıma kaybı, yüksek frekanslarda da zayıflama kaybı, ekranlama mekanizmasında etkinlik sağlar.

Düşük frekanslı manyetik kaynaklara karşı ekranlamada iki temel yöntem vardır. Bunlar; yüksek manyetik geçirgenlikli malzemelerle manyetik akı saptırma ve yaygınca “kısa devre sarım metodu”olarak bilinen, Faraday’ın kanunu vasıtasıyla ters akı üretimi. Ve yüksek manyetik geçirgenlikli (düşük relüktans) bir yolla manyetik akı saptırma yöntemidir. Dış ortamın $\mu=\mu_0$ ‘lı boşluk olduğu, ekranın ise $\mu_r \gg 1$ olmak üzere, $\mu= \mu_r \cdot \mu_0$ ‘lı ferromanyetik malzemedan yapıldığı kabul edilsin. Bu durumda manyetik alan, yüksek manyetik geçirgenlikli ferromanyetik yolda yoğunlaşmaya meyiledecek ve iç bölgeyi etkilemekten saptırılıp ekrana yönlendirilecektir.

Ferromanyetik malzeme üreticileri, malzemenin 1kHz gibi düşük bir frekanstaki bağıl geçirgenliğini bildirirler. Böylece ise μ_r ‘nin bu değeri, elde edilecek en geniş değer olabilir. Örneğin, mumetal dc’den 1 kHz civarına kadar aralıkta, 10000’in üzerinde bir bağıl geçirgenliğe sahiptir. Mumetal’in bağıl geçirgenliği 1 kHz’in üzerinde son derece düşer ve 20 kHz civarında, çeliğin geçirgenliğinden daha büyük değildir. Sonuç itibariyle ise μ_r ’si yüksek olan mumetal gibi malzemeler, 1 kHz’in altındaki manyetik alanlar için etkilidirler. Çelik 20 kHz ‘in üzerindeki manyetik alanlara karşı ekranlamak için, bu yüksek manyetik geçirgenlikli malzemeler kadar etkilidir. Bu güç kaynaklarında ekranlama elemanı olarak mumetalden ziyade çeliğin kullanılma sebebidir. Çelik, mumetalden daha ucuzdur. (Şeker ve Çerezci, 1997)

3. YÖNTEM

3.1. Çok Katlı Ekran Yapıları

3.1.1. Tek Katlı Ekran

Tek katlı bir ekrana (bkz. Şekil 2.5) herhangi bir θ_i açısı ile gelen elektromanyetik dalga için, metalin elektriksel parametreleri şu şekilde de tanımlanabilmektedir (Kodali, 1998);

Metal içindeki yayılım sabiti:

$$\gamma = \left(\frac{w\mu_o\sigma}{2} \right)^{1/2} (1 + j) \quad (3.1)$$

zayıflama sabiti,

$$\alpha = \left(\frac{w\mu_o\sigma}{2} \right)^{1/2} \quad (3.2)$$

deri kalınlığı,

$$\delta = \left(\frac{2}{w\mu_o\sigma} \right)^{1/2} \quad (3.3)$$

ekran içindeki dalga boyu ve faz hızı,

$$\lambda = \lambda_o \sqrt{\frac{w\epsilon_o}{\sigma}} \quad , \quad v = c \sqrt{\frac{w\epsilon_o}{\sigma}} < c \quad (3.4)$$

yansıma kaybı ise ,

$$R = -20 \log_{10} |T| = 20 \log_{10} \frac{|1-v|^2}{4|v|} \quad (\text{dB}) \quad (3.5)$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada T ekran boyunca iletim katsayısı, v ise dalganın geldiği ortamın empedansı ve ekran materyalinin empedansının oranıdır (μ_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 $r \ll \lambda_o/2\pi$ olması durumunda (yakın alanda) elektrik alan ve manyetik alan kaynağı için dalga empedansları şu şekilde tanımlanmaktadır,

$$Z_E = \frac{\eta_o \lambda_o}{2\pi r} \gg \eta_o \quad (3.6)$$

$$Z_H = \frac{\eta_o 2\pi r}{\lambda_o} \ll \eta_o \quad (3.7)$$

t kalınlığındaki bir ekran boyunca geçen dalgadaki zayıflama kaybı ve çoklu yansıma kaybı,

$$A = 8,686 \cdot \alpha \cdot t \quad (\text{dB}) \quad (3.8)$$

$$M = 20 \log_{10} \left| 1 - \frac{(v-1)^2}{(v+1)^2} e^{-2t(1+j)\sqrt{\pi\eta\mu\sigma}} \right| \quad (\text{dB}) \quad (3.9)$$

olarak ifade edilebilir. Düzlem dalga için tek bir ekran levhasının toplam ekranlama etkinliği 3.5., 3.8. ve 3.9. denklemlerinin toplamı alınarak hesaplanabilir.

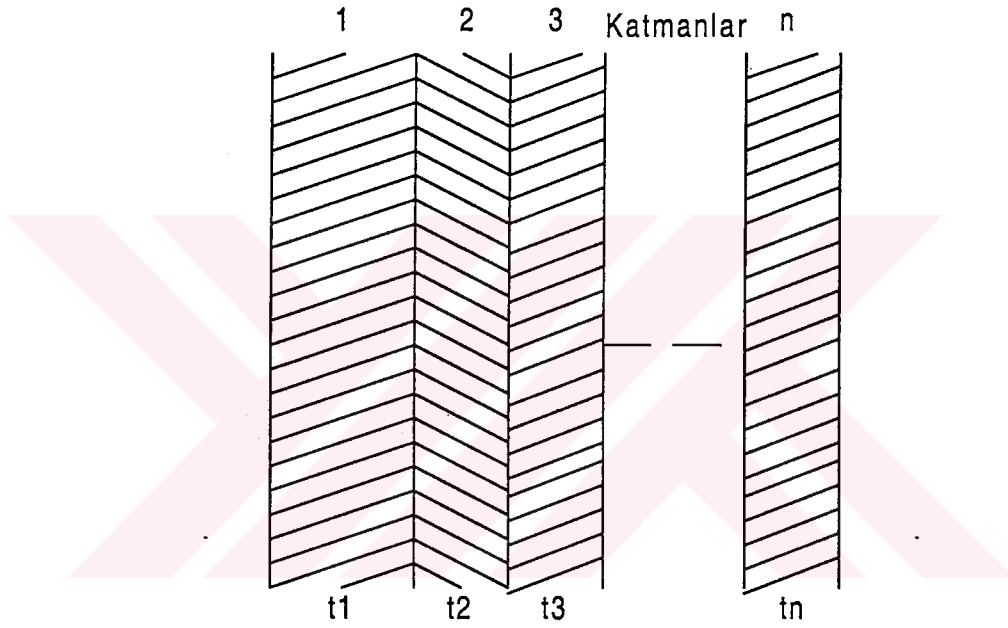
3.1.2. Çok Katlı Ekran

Şekil 3.1.'de çok katlı ekran yapısı gösterilmiştir. Burada empedansları $Z_{m1}, Z_{m2}, \dots, Z_{mn}$ olan n sayıda levha mevcuttur. (Kodali, 1998)

Ekrandaki toplam yansıma kaybı her bir yüzeydeki yansıma kayıplarının toplamı biçiminde matematiksel olarak ifade edilebilir:

$$R = 20 \log_{10} \left[\frac{1}{2^n} \left(1 + \frac{Z_{m1}}{\eta_o} \right) \left(1 + \frac{Z_{m2}}{Z_{m1}} \right) \dots \left(1 + \frac{\eta_o}{Z_{m_{n-1}}} \right) \right] \quad (\text{dB}) \quad (3.10)$$

$$= 20 \log_{10} \frac{\left| 1 + \frac{Z_{m1}}{\eta_o} \right|}{2} + 20 \log_{10} \frac{\left| 1 + \frac{Z_{m2}}{Z_{m1}} \right|}{2} + \dots + 20 \log_{10} \frac{\left| 1 + \frac{\eta_o}{Z_{m_{n-1}}} \right|}{2}$$



Şekil 3.1. Çok katlı ekran yapısı

Toplam zayıflama kaybı ise ;

$$A = 8,686(\alpha_1 t_1 + \alpha_2 t_2 + \dots + \alpha_n t_n) \quad \text{dB} \quad (3.11)$$

biçiminde ifade edilebilir. Burada α_n ve t_n ,n. katmanın zayıflama sabiti ve kalınlığıdır.

$Z_{m1}, Z_{m2}, \dots, Z_{mn}$ frekansın karekökü ile değişmektedir. Buradan metal metal ara yüzeyindeki yansıma kaybı frekanstan bağımsızdır. Metal-hava ara yüzeyi için ise

frekansın fonksiyonudur. Buradan görüldüğü üzere, çok katlı ekranların ekranlama etkinliği, kalınlık ve ekran materyalinin empedansının kontrolü ile artırılabilir.

İç yansıma kayıpları ise dB olarak ;

$$\begin{aligned} M &= 20 \log_{10} \left| (1 - v_1 e^{-2K_1 t_1}) (1 - v_2 e^{-2K_2 t_2}) \dots (1 - v_n e^{-2K_n t_n}) \right| \\ &= 20 \log_{10} |1 - v_1 e^{-2K_1 t_1}| + 20 \log_{10} |1 - v_2 e^{-2K_2 t_2}| + \dots + 20 \log_{10} |1 - v_n e^{-2K_n t_n}| \end{aligned} \quad (3.12)$$

biçiminde yazılabilir. Burada;

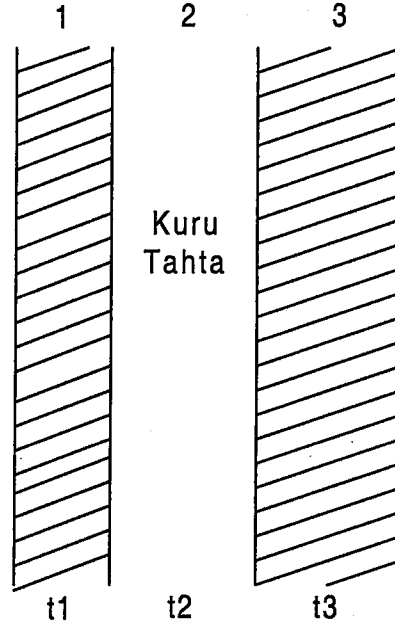
$$v_n = \frac{(Z_{m_n} - Z_{m_{n-1}})(Z_{m_n} - Z_{m_n})}{(Z_{m_n} - Z_{m_{n-1}})(Z_{m_n} + Z_{m_n})} \quad (3.13)$$

$$K_n = (1 + j) \sqrt{\pi f \mu_n \sigma_n} \quad (3.14)$$

dir. Z_{m_n} ; her bir katın sağına bakıldığında görülen empedanstır.

3.1.3. Yalıtılmış Çift Ekran

Şekil 3.2.'de gösterildiği gibi kuru bir kontrplak bileşimi ile metal levhalar ayrılarak, yalıtılmış bir ekran yapılabilir. Kontrplağın sıvı içermemesi ve sıfır iletkenlikle, çok az kayıplı bir dielektrik olması göz önünde tutulmalıdır. Uygulanan frekans, moleküllerin rezonans frekansına çok yakın olabileceğinden tahtada dielektrik kayıp meydana gelebilir, ancak bu zayıflamanın çok küçük olduğu kabul edilir.



Şekil 3.2. Yalıtılmış çift ekran

Basit olarak tahtanın permeabilitesi μ_o , dielektrik sabiti ϵ_2 , izotropik-homojen olduğu kabul edilirse, ekranlama etkinliği bileşenleri şu şekilde ifade edilebilir, (Kodali, 1998)

$$R = 20 \log_{10} \frac{\left| 1 + \frac{Z_{m1}}{\eta_o} \right|}{2} + 20 \log_{10} \frac{\left| 1 + \frac{\eta_2}{Z_{m1}} \right|}{2} + 20 \log_{10} \frac{\left| 1 + \frac{Z_{m3}}{\eta_2} \right|}{2} + 20 \log_{10} \frac{\left| 1 + \frac{\eta_o}{Z_{m3}} \right|}{2} \quad (3.15)$$

$$A = 8,686(\alpha_1 t_1 - \alpha_2 t_2 + \alpha_3 t_3) \\ = 8,686(\alpha_1 t_1 + \alpha_3 t_3) \dots \alpha_2 \rightarrow 0 \quad (3.16)$$

$$M = 20 \log_{10} \left| 1 - v_1 e^{-2K_1 t_1} \right| + 20 \log_{10} \left| 1 - v_2 e^{-j2\beta_2 t_2} \right| + 20 \log_{10} \left| 1 - v_n e^{-2K_3 t_3} \right| \quad (3.17)$$

İki metal levhanın aynı materyal ve aynı kalınlıkta olması durumunda, tahtadaki zayıflama ihmal edilirse, ekrandaki yutulma ve yansıma kayıpları, bir tek levhanın iki katı olur. Çift ekranın ekranlama etkinliği aynı toplam kalınlığa sahip tek bir ekrandan fazla olabilmektedir.

3.1.4. Elektriksel Olarak Kalın Ekranlar

Bir çift ekranın levha kalınlığı büyük olduğunda, yüksek zayıflama kaybı nedeniyle, metalin içindeki iç yansımalar ihmal edilebilir. Levhalar arasında hava olması durumu için çift ekranın ekranlama bileşenleri dB olarak (Kodali, 1998);

$$R \approx -40 \log_{10} \left| \frac{4Z_m}{\eta_o} \right| \quad (3.18)$$

$$A \approx 2 \times 8,686 \alpha \quad (3.19)$$

$$\begin{aligned} M &\approx 20 \log_{10} \left| 1 - \left(1 - \frac{4Z_m}{\eta_o} \right) e^{-j2\beta_o t_2} \right| \\ &\approx 20 \log_{10} \left| \frac{4Z_m}{\eta_o} + j2\beta_o t_2 \right| \end{aligned} \quad (3.20)$$

3.1.5. Tek ve Çift Ekranın Karşılaştırılması

Aynı kalınlığına sahip, tek katlı bir ekranın ve iki levha arasında hava bulunan bir çift katlı ekranın ekranlama etkinliği arasındaki fark; zayıflama, yansıma ve çoklu yansıma kayıplarının arasındaki fark biçiminde yazılabilir (Kodali, 1998). Buna göre;

$$\Delta R = R_{çift} - R_{tek} = 20 \log_{10} \frac{\left| 1 + \frac{Z_m}{\eta_o} \right|}{4 \left| \frac{Z_m}{\eta_o} \right|} \quad (3.21)$$

$$\Delta A = A_{çift} - A_{tek} = 0 \quad (3.22)$$

$Z_m / \eta_o \ll 1$ olduğunda;

$$\Delta R \cong -20 \log_{10} 4 \left| \frac{Z_m}{\eta_o} \right| \quad (3.23)$$

$$\Delta M = 20 \log_{10} \left| 1 + j \frac{\frac{\pi t_2}{\lambda_o}}{\frac{Z_m}{\eta_o}} \right|, \text{ ve } \Delta A = 0 \quad (3.24)$$

yazılabilir.

3.2. Eşdeğer Devre Modeli

3.2.1. Temel Sistem Parametreleri

Serbest uzayda elektromanyetik dalga yayılımı ve iletim hatlarının matematiksel modeli için kullanılan parametreler şunlardır; (Middleton, 1992)

İletim hattı parametreleri	Yayılm Parametreleri
R=birim uzunluğun direnci	ρ = eşdeğer manyetik özdirenç (ohm/metre)
L=birim uzunluğun indüktansı	μ = permeabilite (henry/metre)
C=birim uzunluğun kapasitansı	ϵ = dielektrik sabiti (farad/metre)
G=birim uzunluğun kondüktansı	σ =iletkenlik (siemens/metre)

Yayılm sabiti :

$$\gamma = \sqrt{(R + j\omega L)(G + j\omega C)} \quad \dots\dots\dots\text{iletim hatları için} \quad (3.25)$$

$$\gamma = \sqrt{(\rho + j\omega\mu)(\sigma + j\omega\epsilon)} \quad \dots\dots\dots\text{EM alanlar için} \quad (3.26)$$

Birim uzunluktaki kayıp (γ 'nın reel kısmı):

$$\alpha = \sqrt{0,5 \left\{ \sqrt{(R^2 + w^2 L^2)(G^2 + w^2 C^2)} + (RG - w^2 LC) \right\}} \quad \dots \text{iletim hatları için} \quad (3.27)$$

$$\alpha = \sqrt{0,5 \left\{ \sqrt{(\rho^2 + w^2 \mu^2)(\sigma^2 + w^2 \epsilon^2)} + (\rho\sigma - w^2 \mu\epsilon) \right\}} \quad \dots \text{EM alanlar için} \quad (3.28)$$

Birim uzunluktaki faz farkı (γ 'nın sanal kısmı):

$$\beta = \sqrt{0,5 \left\{ \sqrt{(R^2 + w^2 L^2)(G^2 + w^2 C^2)} - (RG - w^2 LC) \right\}} \quad \dots \text{iletim hatları için} \quad (3.29)$$

$$\beta = \sqrt{0,5 \left\{ \sqrt{(\rho^2 + w^2 \mu^2)(\sigma^2 + w^2 \epsilon^2)} - (\rho\sigma - w^2 \mu\epsilon) \right\}} \quad \dots \text{EM alanlar için} \quad (3.30)$$

manyetik olmayan metaller için $\rho=0$, $\mu=\mu_0$ ve $\sigma \gg w\epsilon$ dur, buna göre yukarıdaki denklemler şu şekilde kısaltılabilir :

$$\alpha = \beta = \sqrt{\frac{w\mu_0\sigma}{2}} \quad (3.31)$$

Karakteristik empedans :

$$Z_o = \sqrt{\frac{(R + jwL)}{(G + jwC)}} \quad \dots \text{iletim hatları için} \quad (3.32)$$

$$Z_o = \sqrt{\frac{(\rho + jw\mu)}{(\sigma + jw\epsilon)}} \quad \dots \text{EM alanlar için} \quad (3.33)$$

manyetik kayıp olmadığında, $\rho=0$ alındığında $Z_o = \sqrt{\frac{jw\mu}{\sigma + jw\epsilon}}$ olur. Buradan ,

$$|Z_o| = \sqrt{\frac{w\mu}{\sqrt{\sigma^2 + w^2\epsilon^2}}} \quad (3.34)$$

$$\angle Z_o = \theta = \frac{\pi}{4} - \frac{1}{2} \tan^{-1} \left\{ \frac{w\varepsilon}{\sigma} \right\} \quad (3.35)$$

yazılabilir.

3.2.2. Tek Kat Ekran Eşdeğer Devresi

Kayıpsız bir ortamda ilerleyen dalga, farklı karakteristik empedansa sahip bir engel ile karşılaştığında enerjisinin bir kısmı yansır ve hedefe ulaşmaz. Eğer ortam kayıplı bir ortam ise enerji absorbe olacak ve kaynaktan gönderilen sinyalin bir kısmı hedefe ulaşacaktır. (Middleton, 1992)

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. Şekil 3.3.'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;

$$E_s = E_r \left\{ \cosh \gamma t + \frac{Z_o}{Z_r} \sinh \gamma t \right\} \quad (3.36)$$

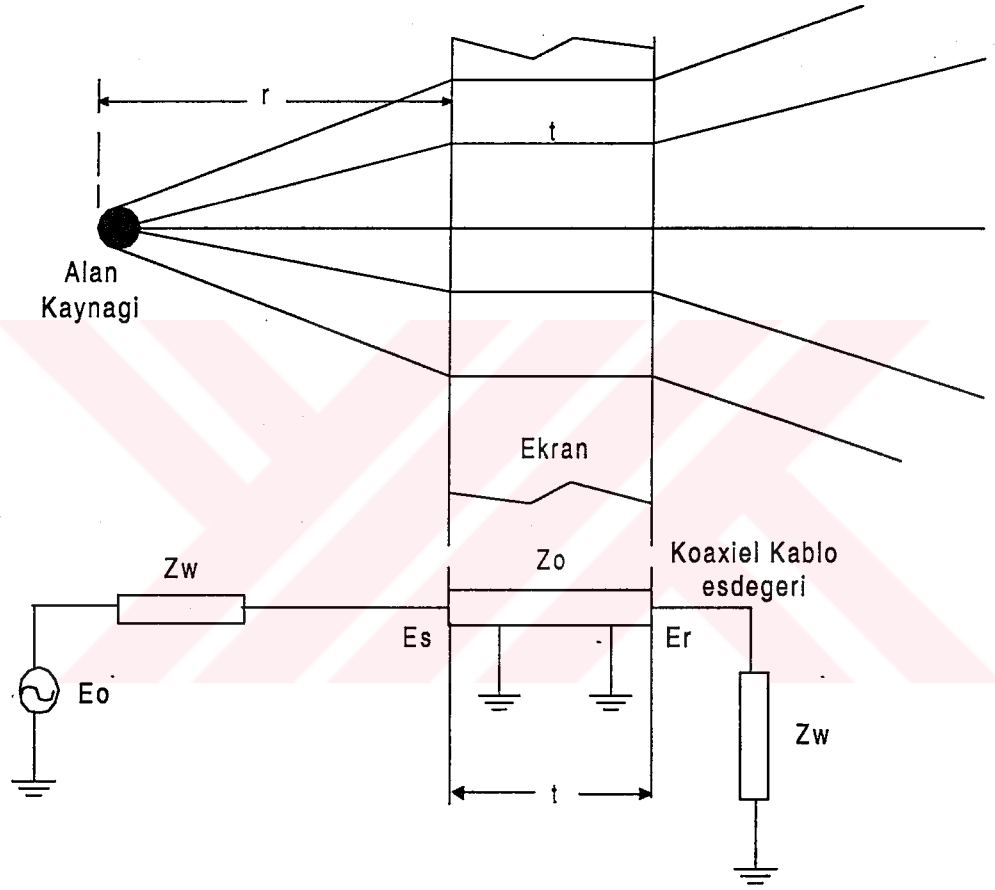
ve hattın giriş empedansı ;

$$Z_{in} = Z_o \frac{Z_r + Z_o \tanh \gamma t}{Z_o + Z_r \tanh \gamma t} \quad (3.37)$$

biçiminde hesaplanır. Z_w empedanslı bir kaynaktan beslenen hattın uyumsuzluk kaybı;

$$\frac{E_s}{E_r} = \frac{Z_{in}}{Z_w + Z_{in}} \quad (3.38)$$

dır. Bu suretle dB olarak ekran boyunca sinyaldeki kayıp ;



Şekil 3.3. Tek kat ekranın eşdeğer devre modeli

$$\begin{aligned} -20 \log_{10} \left| \frac{E_r}{E_o} \right| &= -20 \log_{10} \left| \frac{E_s}{E_o} \times \frac{E_r}{E_s} \right| \\ &= -20 \log_{10} \left| \frac{Z_{in}}{Z_w + Z_{in}} \times \frac{1}{\cosh \gamma t + \frac{Z_o}{Z_r} \sinh \gamma t} \right| \end{aligned} \quad (3.39)$$

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;

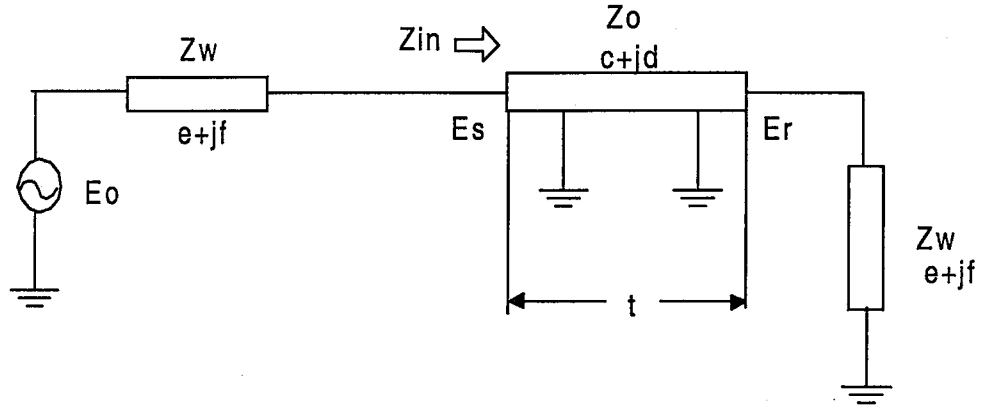
$$\text{Zayıflama kaybı} = -20 \log_{10} \{e^{-\alpha}\} \quad (3.40)$$

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 $Z_{in} \cong Z_o$ dir. Şekil 3.3.'deki devreye göre, girişteki hatta gerilim $0,5E_o$ dan büyük iken $Z_w < Z_o$ olmaktadır. Benzer bir durum hattın sonunda ortaya çıkmaktadır.

3.2.2.1. Tek Kat Ekran İçin Ekranlama Verimi Hesabı

İletim hattı modeli ile ekranlama etkinliği hesaplamalarında sırasıyla; iletim hattının sonlandırıldığı ve kaynağın empedansı olan, dalga empedansının (Z_w) ilk olarak tespit edilmelidir. Daha sonra birim uzunluk başına düşen kaybın (α) ve faz farkının (β) hesaplanması, ve daha sonra ekran materyalinin karakteristik empedansının (Z_o) bulunması, ve sonunda hattın giriş empedansının (Z_{in}) bulunmasıdır. Şekil 3.4.'de tek kat ekran için eşdeğer devre gösterilmiştir. (Middleton, 1992)

Hattın başlangıcındaki E_s 'ye, uygulanan E_o kaynak geriliminin nasıl paylaşılacağını ve böylece hat sonundaki E_r değeri belirlenebilecek daha sonra ekran yok iken olabilecek değerle karşılaştırılabilmektedir.



Şekil 3.4. Tek kat ekran için eşdeğer devre

Z_w 'nin Hesaplanması:

$$|Z_w| = -120\pi \frac{\sqrt{1 - k^2 r^2 + k^4 r^4}}{\sqrt{1 + k^2 r^2 kr}} \quad (3.41)$$

$$\Phi = \cot^{-1}\left(\frac{1}{kr} - kr\right) - \cot^{-1}(kr) = \angle Z_w \quad (3.42)$$

Burada $k = \omega/c$ (c : ışık hızı), ve r : kaynağın ekrana uzaklığıdır. Buna göre dalga empedansı ;

$$Z_w = e + jf = |Z_w| \cos \Phi + j |Z_w| \sin \Phi \quad (3.43)$$

biçiminde yazılabilir.

Ekran için Z_o Hesabı :

$$|Z_o| = \sqrt{\frac{w\mu}{\sqrt{\sigma^2 + w^2 \epsilon^2}}} \quad (3.44)$$

$$\angle Z_o = \theta = \frac{\pi}{4} - \frac{1}{2} \tan^{-1} \left\{ \frac{w\epsilon}{\sigma} \right\} \quad (3.45)$$

$$Z_o = c + jd = |Z_o| \cos \theta + j |Z_o| \sin \theta \quad (3.46)$$

Z_{in} Hesabı :

İletim hattı teorisinden ;

$$Z_{in} = Z_o \frac{Z_r + Z_o \tanh \gamma t}{Z_o + Z_r \tanh \gamma t} \quad (3.47)$$

olarak hesaplanmakta idi. Burada ;

Z_o : hattın karakteristik empedans

$Z_r = Z_w$: hattın sonlandırıldığı empedans

$\gamma = \alpha + j\beta$: yayılım sabiti

α : : hat için zayıflama sabiti

β : hattın faz sabiti

t : hattın uzunluğudur.

E_r/E_s 'nin Hesabı :

Şekil 3.4.'de gösterilen iletim hattının giriş ve çıkışındaki voltaj seviyeleri arasındaki bağıntı ;

$$E_s = E_r \cosh \gamma t + I_r Z_o \sinh \gamma t \quad (3.48)$$

biçimindedir. Burada ;

E_r : Hat sonundaki voltaj seviyesi

I_r : Hat sonundaki akım değeridir.

$Z_o = (c+jd)$ ve $Z_w = (e+jf)$ olarak belirtilmişti. Buna göre ,

$$I_r Z_o = \frac{E_r Z_o}{Z_r} = E_r \frac{(c+jd)}{(e+jf)} \quad (3.49)$$

dir. Buradan ;

$$E_s = E_r \left\{ \cosh \gamma t + \frac{(c+jd)}{(e+jf)} \sinh \gamma t \right\} \quad (3.50)$$

$$\frac{E_r}{E_s} = \frac{1}{\left\{ \cosh \gamma t + \frac{(c+jd)}{(e+jf)} \sinh \gamma t \right\}} = Y+jZ \quad (3.51)$$

olarak yazılabilir.

E_s/E_o 'ın Hesabı :

$$E_s = E_o \frac{Z_{in}}{Z_{in} + Z_w} \Rightarrow \frac{E_s}{E_o} = \frac{Z_{in}}{Z_{in} + Z_w} = r+jS \quad (3.52)$$

biçiminde yazılabilir.

Ekranlama verimi hesabı :

$$\frac{E_r}{E_o} = \frac{E_s}{E_o} \cdot \frac{E_r}{E_s} = (r+jS) \cdot (Y+jZ) \quad (3.53)$$

olarak yazılabilir. Buradan ;

$$\left| \frac{E_r}{E_o} \right| = \sqrt{(rY - sZ)^2 + (rZ + sY)^2} \quad (3.54)$$

değerine eşittir. Ekranın olmaması durumunda ;

$$\left| \frac{E_r}{E_o} \right| = 0,5 \quad (3.55)$$

dir. Buna göre

$$\text{Toplam zayıflama} = -20 \log_{10} \left\{ \frac{\sqrt{(rY - sZ)^2 + (rZ + sY)^2}}{0,5} \right\} \quad (3.56)$$

olarak yazılır.

$$\text{Zayıflama kaybı} = -20 \log_{10} \{ e^{-\alpha} \} \quad (3.57)$$

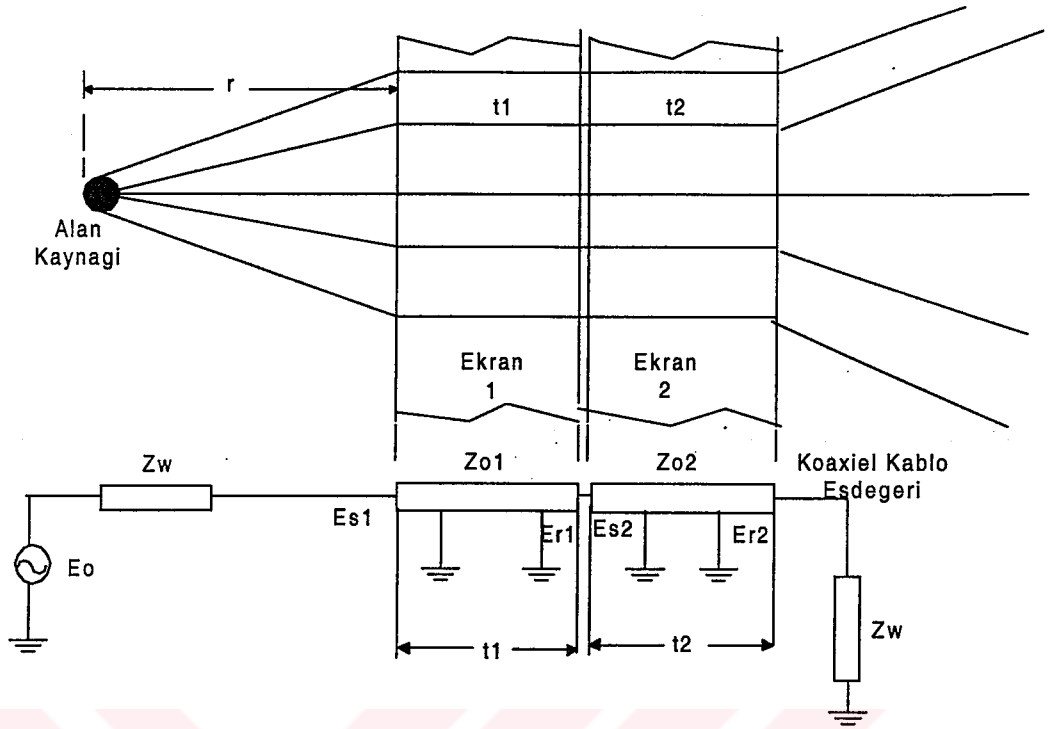
biçiminde hesaplanır ve buradan ;

$$\text{yansıma kaybı} = \text{toplam kayıp} - \text{zayıflama kaybı} \quad (3.58)$$

olarak elde edilir.

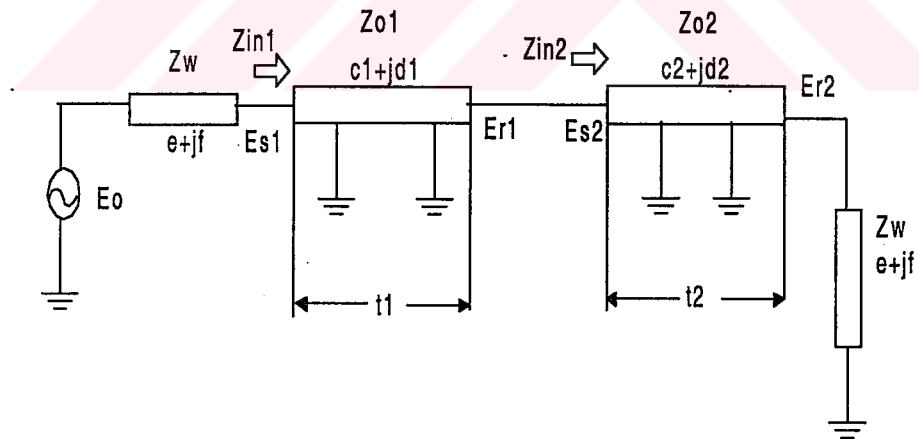
3.2.3. Çift Kat Ekran Eşdeğer Devresi

İletim hatları yaklaşımı, katmanların sayısına bağlı olarak genişletilebilir. Şekil 3.5.' de gösterilen durum, iki katman içindir. Devre modeline göre, eğer Z_w yükü ile sonlandırılmış ikinci kat için Z_{in} hesaplanırsa, Z_{in} ilk katın yükü gibi davranır. Bu şekilde her bir kat için benzer çözüm yapılır. (Middleton, 1992)



Şekil 3.5. İki kat ekranın eşdeğer devre modeli

3.2.3.1. Çift Kat Ekran İçin Ekranlama Verimi Hesabı



Şekil 3.6. Çift kat ekran için eşdeğer devre

Şekil 3.6.'da iki katlı ekran için eşdeğer devre gösterilmiştir. Burada da tek kat ekran için çıkarılan denklemler kullanılarak hesaplamalar yapılabilir. Buna göre (Middleton, 1992);

(1) $Z_{r2} = Z_w = (e+jf)$ için Z_{in2} ve $E_{r2}/E_{s2} = (Y_2+jZ_2)$ hesaplanmalı

(2) $Z_{r1} = Z_{in2}$ için Z_{in1} ve $E_{r1}/E_{s1} = (Y_1+jZ_1)$ hesaplanmalı

(3) $E_{s1}/E_o = (r+js)$

$$(4) \frac{E_{r2}}{E_o} = \frac{E_{s1}}{E_o} \times \frac{E_{r1}}{E_{s1}} \times \frac{E_{r2}}{E_{s2}} = (r + js)(Y_1 + jZ_1)(Y_2 + jZ_2) \quad (E_{r1}=E_{s2} \text{ dir})$$

$$(5) V_r + jV_i = (r + js)(Y_1 + jZ_1)(Y_2 + jZ_2) \quad (3.59)$$

olarak alınırsa ;

$$(6) \text{Toplam kayıp} = -20 \log_{10} \left\{ 2 \sqrt{V_r^2 + V_i^2} \right\} \quad (3.60)$$

$$(7) \text{Zayıflama kaybı} = -20 \log_{10} \left\{ e^{-\alpha_1} \right\} - 20 \log_{10} \left\{ e^{-\alpha_2} \right\} \quad (3.61)$$

$$(8) \text{Yansıma kaybı} = \text{Toplam kayıp} - \text{Zayıflama kaybı}$$

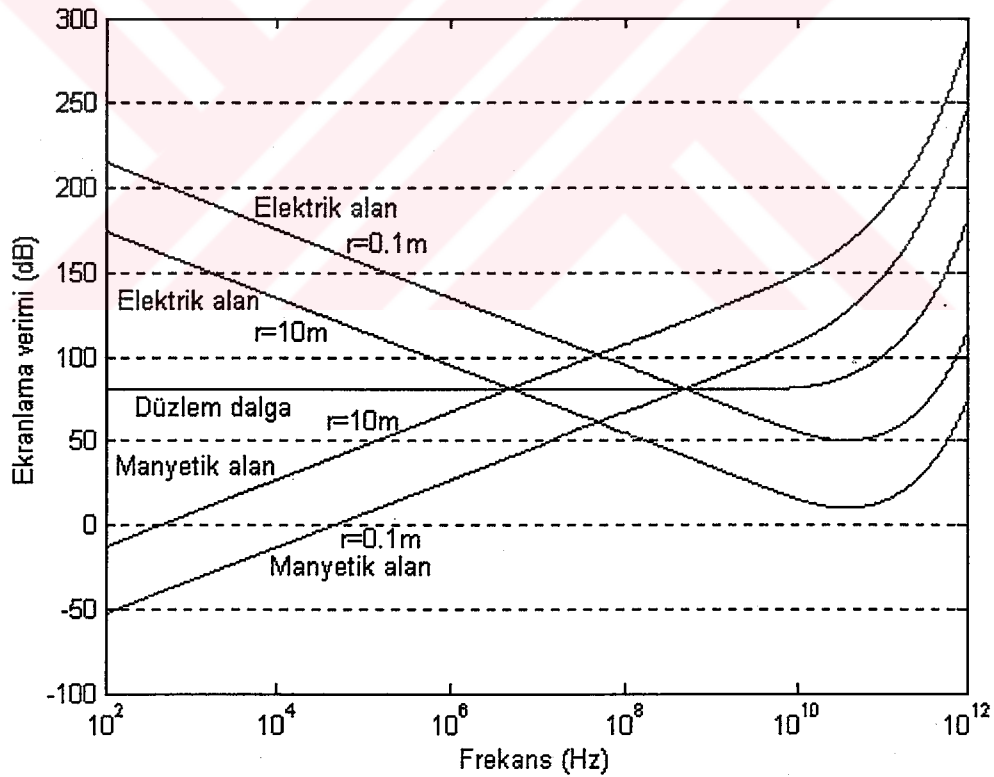
olarak hesaplanır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Bu bölümde, daha önceki bölümlerde elde edilen formüller yardımıyla, tek kat ve çift katlı ekran yapılarının; yansıma, zayıflama, iç yansıma kayıpları ve ekranlama veriminin frekans, kaynağın tipi, kaynaktan olan mesafe, malzemenin yapısına ve ekranın kalınlığına bağlı değişimi hesaplanmaktadır. Bu uygulamalarda ekranlama verimi için eğriler, bilgisayarda MATLAB 6.1. programı kullanılarak elde edilmiştir.

4.1. Tek Kat Ekran İçin Bulgular

Şekil 4.1.'de tek kat bakır ekran için farklı kaynak türleri ve ekranın kaynaktan olan uzaklığının farklı değerleri için verimin frekansla değişimi gösterilmiştir.



Şekil 4.1. 1 µm kalınlığındaki bakır ekran için ekranlama veriminin frekansla değişimi

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 Çizelge 4.1.'de verilmiştir. Aynı şekilde kaynağın elektrik alan olması durumu için hesaplanan verim değerleri Çizelge 4.2.'de gösterilmektedir. Burada R:Yansıma kaybı, A:Zayıflama kaybı, M:Çoklu yansıma kaybı, EV: Ekranlama verimidir.

Çizelge 4.1. Manyetik alan kaynağı için; farklı materyallerin ekranlama veriminin frekansla değişim değerleri (Alüminyum için; $\sigma_r=0,61$ ve $\mu_r=1$)

Frekans	Bakır (1 μm)				Alüminyum (1 μm)			
	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

Çizelge 4.2. Elektrik 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	232	0	-57	175	229	0	-59	170
1 MHz	142	0.13	-27	114.6	140	0.1	-29	110.3
1 GHz	52	4.1	-1.5	54.6	49	3.2	-2.7	50.3
10 GHz	22	13	0.4	35.5	19	10	0,58	30.6
100GHz	-8	41	0	33.5	-10	32	0	22
1THz	-38	131	0	93	-40	102.6	0	62.6

Çizelge 4.1.'de elde edilen değerlere göre

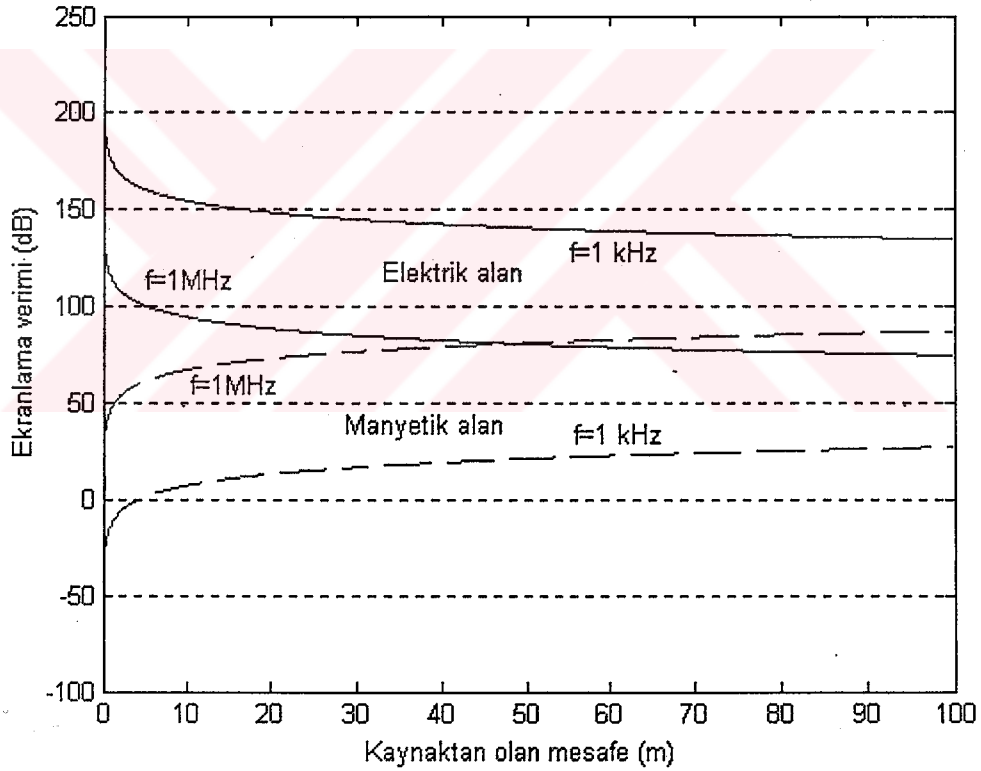
- Manyetik alan kaynağı için bakır, aynı kalınlıktaki alüminyumdan daha fazla ekranlama verimi sağlamaktadır.
- Frekans yükseldikçe, yansımaya ve zayıflama kayıpları artmakta ve iç yansımaya kayıplarının negatif etkisi azalmaktadır. Dolayısıyla frekansla ekranlama verimi artmaktadır.
- Düşük frekanslarda (örneğin 1 kHz) ise iç yansımaya kayıplarının negatif etkisinin yüksek olmasından dolayı, ekran veriminden çok, bir girişime neden olmaktadır.

Çizelge 4.2. 'ye göre

- Elektrik alan kaynağı için frekans yükseldikçe yansımaya kaybı azalmakta, zayıflama kaybı artmakta ve iç yansımaya kaybının negatif etkisi azalmaktadır.
- Belirli bir frekans değerine kadar yansımaya kaybı, penetrasyon kaybındaki artışa göre, daha fazla azalacağından ekranlama verimi, frekansın artmasıyla azalacaktır. Ancak belirli bir frekans değerinden sonra penetrasyon kaybı çok yükselmekte ve dolayısıyla ekranlama verimi artmaya başlamaktadır.

Şekil 4.2.'de 1 μm kalınlığındaki bakır ekranın, farklı kaynak türü ve farklı frekanslar için, ekranın kaynaktan olan mesafesi ile ekranlama veriminin değişimi gösterilmektedir. Bu değişime göre;

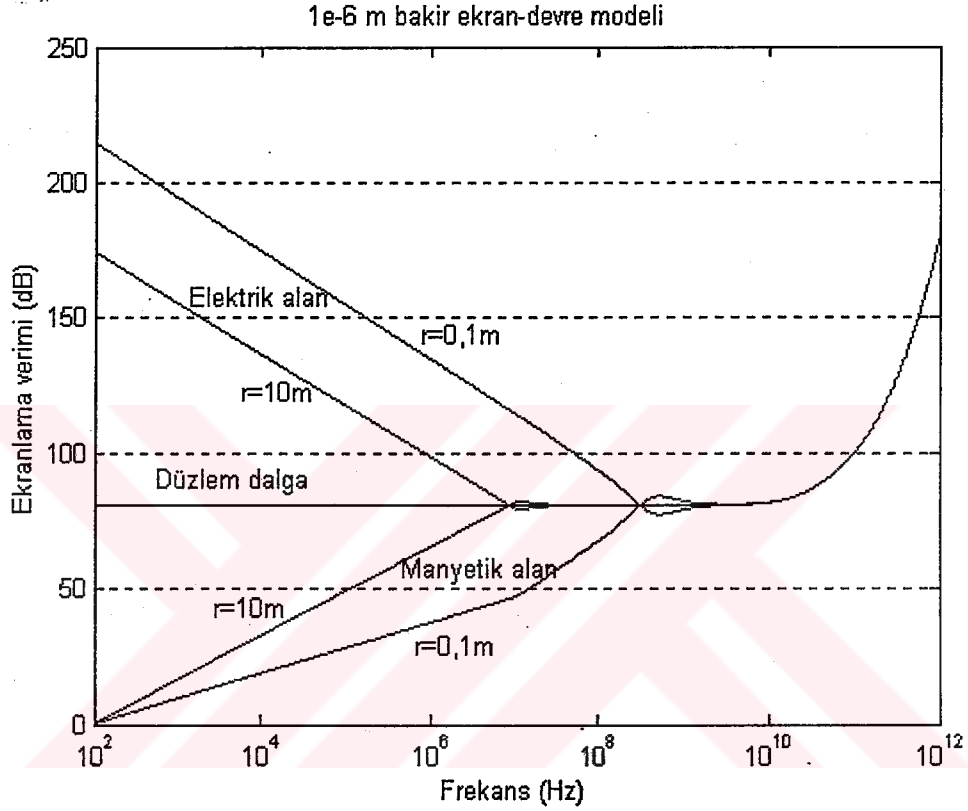
- Elektrik alan için frekans yükseldikçe ve belirli bir mesafeye kadar ekranlama verimi azalmakta, manyetik alan kaynağı için ise frekans yükseldikçe ve belirli bir mesafeye kadar ekranlama verimi artmaktadır.
- Kaynaktan olan mesafe arttıkça, dalganın geldiği ortamın karakteristik empedansı 377 Ω değerine yaklaşacağından dalga, düzlem dalga gibi davranıp (dolayısıyla uzak alan bölgesi olarak düşünülebilir), ekranlama verimi kaynaktan olan mesafeden bağımsız gibi düşünülebilir.



Şekil 4.2. Ekranlama veriminin, ekranın kaynaktan olan uzaklığına bağlı değişimi

4.1.1. Tek Kat Eşdeğer Devre Modeli İçin Bulgular

Şekil 4.3.'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.



Şekil 4.3. Eşdeğer devre modeli ile, 1 μm kalınlığındaki bakır ekran için ekranlama veriminin frekansla değişimi

Çizelge 4.3.'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.

Çizelge 4.3. 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

Bu hesaplanan değerlere göre,

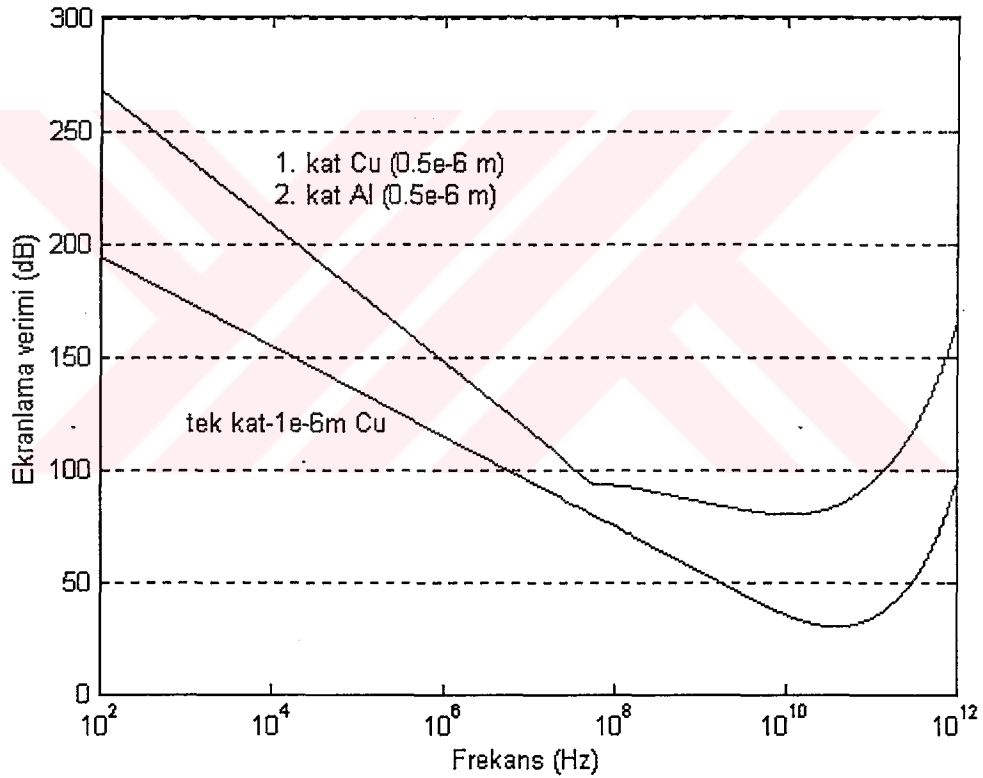
- Elektrik alan için ekranlama verimi belirli bir frekansa kadar azalmakta, daha yüksek frekanslarda ise düzlem dalga ile aynı verime ulaşmaktadır.
- Manyetik alan için ise frekansla hem yansıma kaybı hem de zayıflama kaybı arttığından, ekranlama verimi artmakta ve belirli bir frekans değerinden sonra 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, nümerik metot ile yapılan hesaplardan farklı olarak,

düşük frekanslarda negatif bir verim söz konusu olmamaktadır. Bu durumda düşük frekanslarda, eşdeğer devre modeli ile nümerik metot farklılık göstermektedir.

4.2. Çift Kat Ekran İçin Bulgular

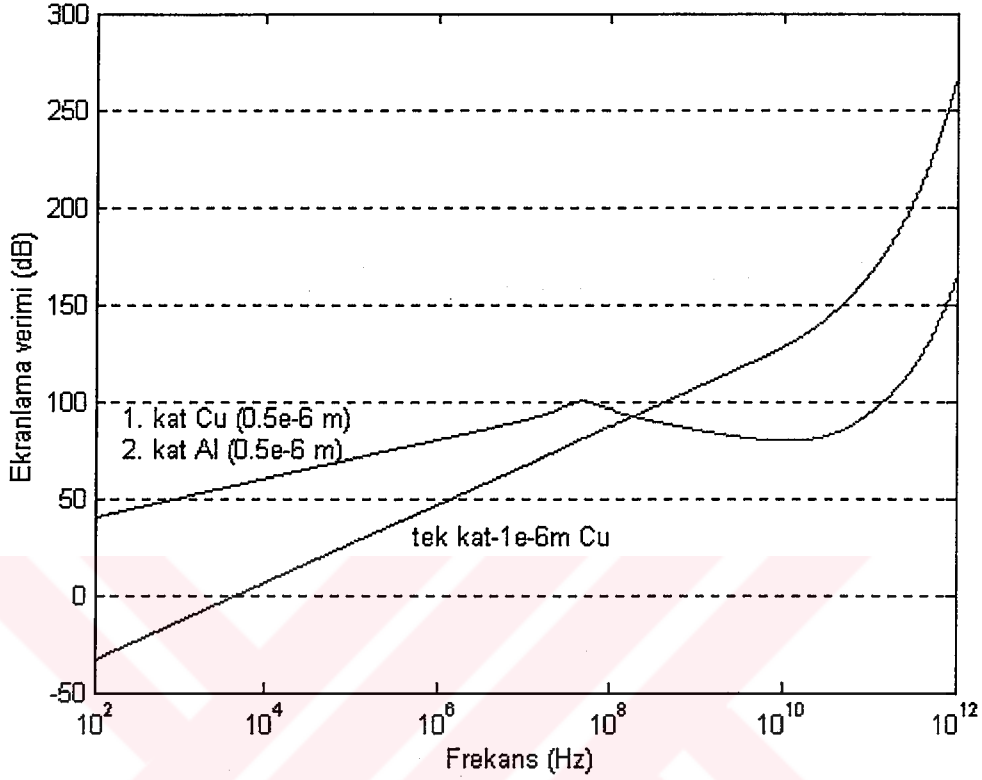
Şekil 4.4.'de elektrik alan kaynağı için aynı kalınlığa sahip, tek kat bakır ekran ile 1.katı bakır-2. katı alüminyum olan çift kat ekran yapısının veriminin frekansla değişimi gösterilmiştir. (ekranın kaynaktan uzaklığının 1 m olması durumu için) Buna göre; çift kat ekran, aynı kalınlığa sahip tek kat ekrandan daha fazla verim sağlamaktadır.



Şekil 4.4. Elektrik alan kaynağı için aynı kalınlığa sahip tek ve iki kat ekranların verimlerinin frekansla değişimi

Şekil 4.5.'de manyetik alan kaynağı için aynı kalınlığa sahip, tek kat bakır ekran ile 1.katı bakır-2. katı alüminyum olan çift kat ekran yapısının veriminin frekansla değişimini göstermektedir. Buradan, manyetik alan kaynağı için; yaklaşık olarak 190

MHz frekansına kadar çift kat ekranın daha avantajlı olduğu, ancak daha yüksek frekanslarda tek kat ekranın veriminin daha fazla olduğu görülmektedir.



Şekil 4.5. Manyetik alan kaynağı için aynı kalınlığa sahip tek ve iki kat ekranların verimlerinin frekansla değişimi

Çizelge 4.4.'de aynı kalınlığa sahip Cu-Al, Cu-çelik ve çelik-Cu olarak oluşturulmuş çift kat ekran yapılarının yansımaya, zayıflama ve iç yansımaya kayıpları ile ekranlama verimlerinin; frekans ve kaynağın tipine bağlı olarak değişim değerleri görülmektedir.

- Cu-Al ve Cu-çelik ekran tiplerinin verimi tüm kaynak tiplerinde ve hesaplanan frekans değerleri için yaklaşık olarak aynıdır. Sadece yansımaya kaybı Cu-çelik ekranda 5 dB kadar azalmasına rağmen, zayıflama ve iç yansımaya kayıplarının artmasından dolayı verim yaklaşık olarak aynı kalmaktadır.
- Çelik-Cu ekranda yansımaya ve zayıflama kaybı değerleri Cu-çelik ekran için aynı olmakta, ancak frekans azaldıkça iç yansımaya kaybı negatif değer almaktadır, ve bundan dolayı toplam verim diğer ekran tiplerine göre düşüktür. Buna göre düşük

frekanslarda manyetik alan için çelik-Cu ekranın kullanılması, ekranlamadan çok bir girişime sebep olabilmektedir. Yani kaynağa yakın olan katın bakır olması daha avantajlıdır.

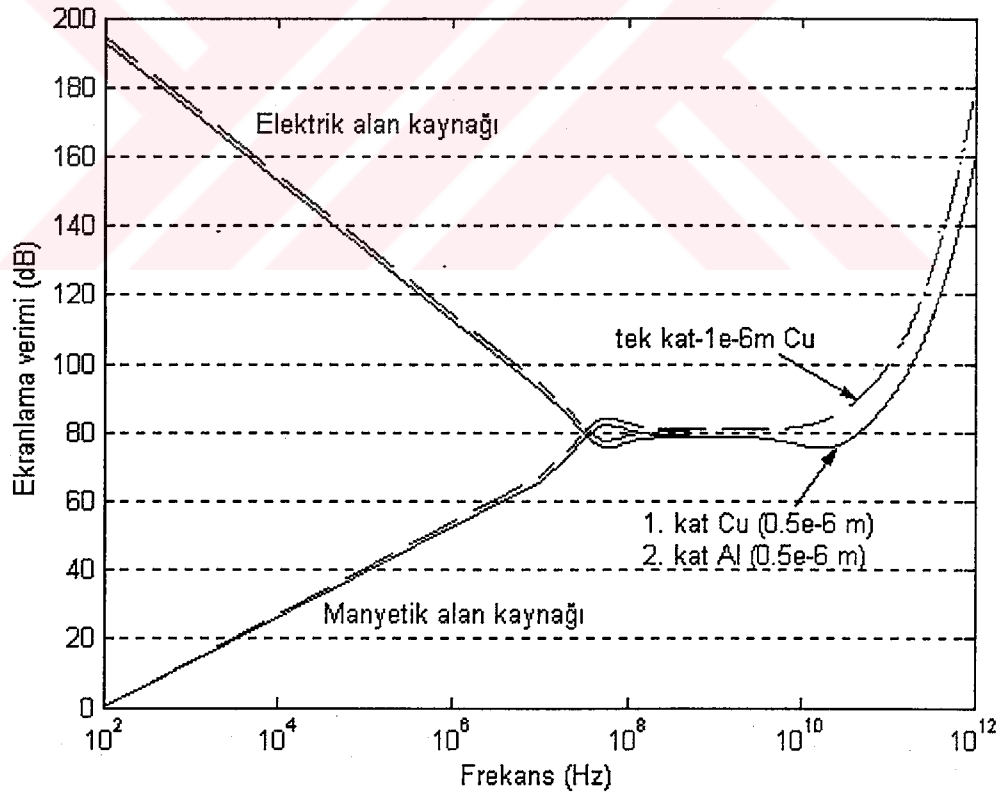
Çizelge 4.4. Farklı çift kat ekran türleri için ekranlama verimi değerleri

Kat tipi $r=0,1$ m	Kaynak tipi	Frekans	R (dB)	A(dB)	M(dB)	EV(dB)
1.kat 0,5 μ m Bakır 2.kat 0,5 μ m Alüminyum	Düzlem dalga	1 kHz	137.1	0.003	7.02	144.16
		1 MHz	107.1	0.11	6.96	114.21
		1 GHz	77.1	3.7	4.9	85.8
	Manyetik alan	1 kHz	23.7	0.003	6.90	30.68
		1 MHz	53.5	0.11	6.95	60.64
		1 GHz	78.8	3.7	4.9	87.54
	Elektrik alan	1 kHz	250.7	0.003	7.02	257.74
		1 MHz	160.7	0.11	6.96	167.79
		1 GHz	75.4	3.7	4.97	84.08
1.kat 0,5 μ m Bakır 2.kat 0,5 μ m Çelik	Düzlem dalga	1 kHz	132.2	0.02	11.93	144.16
		1 MHz	102.1	0.61	11.32	114.16
		1 GHz	72.5	6.72	5.26	84.5
	Manyetik alan	1 kHz	25.9	0.02	4.75	30.72
		1 MHz	48.9	0.61	11.11	60.62
		1 GHz	74.2	6.72	5.27	86.23
	Elektrik alan	1 kHz	245.8	0.02	11.93	257.74
		1 MHz	155.8	0.61	11.32	167.74
		1 GHz	70.7	6.72	5.27	82.76
1.kat 0,5 μ m Çelik 2.kat 0,5 μ m Bakır	Düzlem dalga	1 kHz	132.2	0.02	-26.0	106.18
		1 MHz	102.2	0.61	-8.82	94.02
		1 GHz	72.5	6.72	2.96	82.2
	Manyetik alan	1 kHz	25.9	0.02	-26.13	-0.16
		1 MHz	48.9	0.61	-8.82	40.68
		1 GHz	74.2	6.72	2.96	83.93
	Elektrik alan	1 kHz	245.8	0.02	-26.04	219.76
		1 MHz	155.8	0.61	-8.82	147.6
		1 GHz	70.7	6.72	2.96	80.46

4.2.1. Çift Kat Eşdeğer Devre Modeli İçin Bulgular

Şekil 4.6.'da toplam kalınlığı 1 μm olan Cu-Al ekran ile kalınlığı 1 μm Cu ekranın elektrik ve manyetik alan kaynakları için, devre modeli çözümü yapılarak ekranlama veriminin frekansla değişimi gösterilmiştir (ekranın kaynaktan uzaklığının 1 m olması durumu için). Bu değişime göre devre modeli çözümünde; aynı kalınlıktaki tek kat ekran, iki kat ekrana göre verimde yaklaşık olarak 2 dB'lik bir avantaj sağlamaktadır. Bu durum normal metod ile yapılan çözümlere uymamaktadır.

Çizelge 4.5.'de 1.kat 0,5 μm Cu ve 2. kat 0,5 μm Al olan çift kat ekran için eşdeğer devre metodu ve nümerik metot ile çözüm yapılarak, ekranın kaynaktan uzaklığı 1 m olarak alındığında, farklı kaynak tipleri için ekranlama veriminin frekansla değişim değerleri gösterilmektedir.



Şekil 4.6. Aynı kalınlıktaki tek kat ve iki kat ekran yapılarının eşdeğer devre modeli ile ekranlama veriminin frekansla değişimi

Çizelge 4.5. Çift kat ekran için eşdeğer devre ve nümerik metot çözümü ile ekranlama verimi değişim değerleri

Kaynak tipi	Frekans	Eşdeğer devre metodu ile			Nümerik metot ile			
		$R_{(dB)}$	$A_{(dB)}$	$EV_{(dB)}$	$R_{(dB)}$	$A_{(dB)}$	$M_{(dB)}$	$EV_{(dB)}$
Düzlem Dalga	1 kHz	78.8	0.003	78.89	137.1	0.003	7.0	144.1
	1MHz	78.7	0.11	78.89	107.1	0.11	6.9	114.2
	1 GHz	75.1	3.7	78.83	77.1	3.7	4.9	85.8
	10 GHz	64.6	11.7	76.34	67.1	11.7	1.2	80.0
Manyetik alan	1 kHz	0.14	0.003	0.145	43.5	0.003	7.0	50.6
	1MHz	45.2	0.11	45.32	73.5	0.11	6.9	80.64
	1 GHz	75.1	3.7	78.85	77.1	3.7	4.9	85.8
	10 GHz	64.6	11.7	76.34	67.1	11.7	1.2	80.0
Elektrik alan	1 kHz	172.4	0.003	172.46	230.7	0.003	7.0	237.7
	1MHz	112.3	0.11	112.47	140.7	0.11	6.9	147.8
	1 GHz	75.1	3.7	78.8	77.1	3.7	4.9	85.8
	10 GHz	64.6	11.7	76.3	67.1	11.7	1.2	80.0

Çizelge 4.5'e göre eşdeğer devre metodu ile yapılan çözümde düşük frekanslarda ekranlama veriminin; nümerik metot ile yapılan çözüme göre düşük olduğu görülmektedir. Buradan düşük frekanslarda, ekran tasarımı benzetiminde devre modelinin kullanılmasının elverişli olmadığı söylenebilir.

4.3. Optimizasyon Bulguları

Bir optimizasyon yöntemi olan genetik algoritma kullanılarak, tek ve çift kat, optimum ekran modeli geliştirilebilir. Bunun için matlab programı ile geliştirilmiş bir yazılım kullanılmıştır.

Genetik algoritma tekniği (Goldberg, 1989) :

Algoritma ilk olarak populasyon denilen bir çözüm(kromozomlarla ifade edilir) seti ile başlatılır. Bir populasyondan alınan sonuçlar bir öncekinden daha iyi olacağı beklenen yeni bir populasyon oluşturmak için kullanılır. Yeni populasyon oluşturulması için seçilen çözümler uyumluluklarına göre seçilir. Çünkü uyumlu olanların daha iyi sonuçlar üretmesi olasıdır. Bu istenen çözüm sağlanıncaya kadar devam ettirilir.

Örneğin tek kat ekranda, manyetik alan için düşük frekanslarda (1 kHz 'in altındaki frekanslarda) ekranlama problemi önem kazanmaktadır. Bu durum için, kullandığımız metot ile; istenen ekranlama verimini gerçekleyecek ekran modeli parametreleri pratik olarak uygulanabilecek değerlerde belirlenebilmektedir.

Programda, istenen parametrelerin alabileceği minimum ve maksimum değerler belirtilmelidir. Program, istediğimiz verim değerini gerçekleyecek parametre değerlerini verilen aralıklar arasında en uygun şekilde belirlemektedir.

Tek kat ekran için optimizasyon sonuçları :

Birer özel çözüm olacak örnek çalışmalar aşağıda verilmektedir.

A) Manyetik alan kaynağı için 100 Hz frekansında 20 dB lik ekranlama verimi istenilmekte ise, ve ekranın kaynaktan uzaklığı 1 m ve kullanılacak ekran malzemesinin permeabilitesinin 1 olduğu durum için, seçilebilecek malzemenin iletkenlik değeri ve kalınlığı, optimizasyon neticesinde istenen sonuç için gereken malzeme özelliği şu şekilde bulunmuştur.

$$\sigma = 57252800.644 \text{ } (\sigma_r = 0.9871)$$

$$t = 0.000446 \text{ m} = 0,446 \text{ mm}$$

Bu değerler için 100 Hz frekans değeri için verim hesaplandığında 20,1 dB olmaktadır. Burada permeabilite ve kaynaktan olan mesafe değerleri de optimize edilebilmektedir.

B) 50 Hz frekanslı manyetik kaynak için, bakır ekran ile 20 dB civarında verim elde edilebilecek minimum kaynak-ekran mesafesi ve ekran kalınlığı;

$$r = 0.097 \text{ m}$$

$$t = 0.0098 \text{ m}$$

olarak elde edilmektedir. Bulunan bu değerler, programda verdiğimiz maksimum ve minimum sınırlar arasındadır. Bu sınırlar değiştirilerek istenen optimum parametre değerleri yeniden belirlenebilmektedir.

C) 30 kHz frekanslı manyetik alan kaynağı ekranlamada kullanılacak tek katlı ekran (μ_r 'si 1 olan), kaynaktan en çok 1 cm uzağa konulabiliyor ise optimum ekran verimini sağlayacak parametreler :

$$\sigma = 60845668.1 \text{ } (\sigma_r=1.0491)$$

$$t = 0.0009852 \text{ m} = 0.98 \text{ mm}$$

olarak belirlenmektedir. Bu değerler için EV = 42.5 dB olmaktadır.

Çift kat ekran için optimizasyon sonuçları :

A) Örnek olarak manyetik alan için çift kat ekranda, 100 Hz frekansında maksimum 20 dB'lik ekranlama verimi istenmekte ise ve $r = 1 \text{ m}$, $\mu_{r1} = 1.0$ ve $\mu_{r2} = 1.0$ olarak seçildiği kabul edilirse ;

$$\sigma_1 = 581163.579 \text{ } (\sigma_{r1}=0.01)$$

$$\sigma_2 = 586860.227 \text{ } (\sigma_{r2}=0.0101)$$

$$t1 = 0.0000010048 \text{ m} = 1.0048 \text{ } \mu\text{m}$$

$$t2 = 0.0000010112 \text{ m} = 1.0112 \text{ } \mu\text{m}$$

olarak belirlenmektedir. Bu değerlere sahip çift kat ekran için verim 20.8 dB olarak hesaplanmaktadır.

B) 30 kHz frekanslı manyetik alan kaynağı ekranlamada kullanılacak çift katlı ekran ($\mu_{r1}=1$ ve $\mu_{r2}=1$ için), kaynaktan en çok 1 cm uzağı konulabiliyor ise optimum ekran verimini sağlayacak parametreler :

$$\sigma_1 = 60743390.8 \text{ (}\sigma_{r1}= 1.047\text{)}$$

$$\sigma_2 = 60634311.1 \text{ (}\sigma_{r2}= 1.045\text{)}$$

$$t1 = 0.000994 \text{ m} = 0.99 \text{ mm}$$

$$t2 = 0.000997 \text{ m} = 0.99 \text{ mm}$$

olmaktadır. Bu değerler için ekranlama verimi 66.2 dB olmaktadır.

Bu şekilde, ekranlanmak istenen farklı kaynak tipleri için, istenen maksimum veya minimum verim değerleri programda belirtilebilmekte ve olabilecek en yüksek verim değerini sağlayacak, optimum ekran parametreleri tespit edilebilmektedir.

5. SONUÇ

Elektromanyetik emisyonlar ile elektromanyetik alan kirliliğinin artması ve teknolojideki ilerlemeyle elektronik sistemlerin elektromanyetik duyarlılığının artmasından dolayı, bu sistemlerdeki elektromanyetik etkileşim ve bunun etkileri sorun olmakta ve elektromanyetik uyumluluğun ve ekranlamanın önemi artmaktadır.

Ekran tasarımında öncelikle, ekranlamanın olmadığı bir noktada meydana gelebilecek istenmeyen alan seviyesinin ve zararsız alan seviyesinin ne olduğu belirlenmelidir. Daha sonra bu iki seviyenin farkı alınarak bu uygulama için gerekli olan ekranlama etkinliği bulunur. Bu çalışmada tek katlı ekrana göre daha avantajlı olabilecek çok katlı ekran modeli oluşturulmuştur.

İstenen optimum ekranlama verimliliğinin sağlanabilmesi için; ekranlanacak kaynağın tipi, kaynağın frekansı ve ekranın kaynaktan uzaklığına bağlı olarak, kullanılacak ekran materyallerinin özellikleri ve ekrandaki her bir katın kalınlığı tespit edilmelidir.

İstenen değerde bir verimi sağlaması için oluşturulan çok katlı ekran yapısı tek kat ekrana göre daha ince yapıda olabilmekte, ayrıca piyasada daha kolay bulunabilecek materyallerle ekran dizayn edilebilmekte veya ekranın maliyetini azaltacak şekilde bir model oluşturulabilmektedir. Bu durumlardan hangisinin önemli olduğu göz önüne alınarak tek kat ekrana göre avantajlı olacak biçimde çok katlı ekran modeli geliştirilebilmektedir.

Bir çalışma frekansında gereken ekranlama verimi için böyle bir modelin kullanımı uygun bir yaklaşım olacaktır. Bu tez çalışması, daha ileri modellemeler için bir basamak oluşturacaktır.

6. KAYNAKLAR

- Bayrakçı, H.E., 1988. Elektromagnetik Dalga Teorisi. Birsen Yayınevi, 296s. İstanbul.
- Goldberg, D.E., 1989. Genetic Algorithms in Search Optimization and Machine Learning. Addison-Wesley
- Kodali, V.P., 1998. Engineering Electromagnetic Compatibility Principles, Measurement and Technologies. IEEE Press, 367s. New York
- Middleton, J., 1992. The Engineer's EMC Work Book, Nuffield Press, 131s. Oxford.
- Ott, H.W., 1988. Noise Reduction Techniques In Electronic Systems. A Wiley-Interscience Publication, 419s. New York.
- Sevgi, L., 2000. Elektromanyetik Uyumluluk–Elektromanyetik Kirlilik. TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası İstanbul şubesi yayını, 316s. İstanbul.
- Şeker, S., Çerezci, O., 1994. Elektromanyetik Dalgalar ve Mühendislik Uygulamaları. Boğaziçi Üniversitesi Yayınları, 416s. İstanbul.
- Şeker, S., Çerezci, O., 1997. Çevremizdeki Radyasyon ve Korunma Yöntemleri. Boğaziçi Üniversitesi Yayınları No:607, 436s. İstanbul.
- YAŞAR, H., 1998. Elektromanyetik Etkileşimin Önlenmesi İçin Ekranlama Düzenlerinin Tasarımı. İTÜ. Fen Bilimleri Enstitüsü, Y.Lisans Tezi, 89s, İstanbul.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : ÖVÜNÇ POLAT

Doğum Yeri : GAZİANTEP

Doğum Yılı : 1977

Medeni Hali : BEKAR

Eğitim ve Akademik Durumu:

-
Lise : 1991-1994 Gaziantep - Bahaattin Bayraktar Lisesi

Lisans : 1995-1999 Süleyman Demirel Üniversitesi, Müh. Mim. Fak.
Elektronik ve Hab. Mühendisliği. Isparta

Yabancı Dil : İNGİLİZCE

İş Deneyimi:

2000-2003 SDÜ–Müh.Mim.Fak. Elektronik ve Hab. Mühendisliği Bölümünde
Araştırma Görevlisi