



EMO İzmir Şubesi, 26 Aralık 2008, İzmir



ELEKTROMANYETİK UYUMLULUK ve GİRİŞİM

Temel Tanımlar

Yrd. Doç. Dr. Şükrü ÖZEN

*Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Akdeniz Üniversitesi,
07058-Antalya*

sukruozen@akdeniz.edu.tr
http://www.akdeniz.edu.tr/muhfak/elekt/ozen_web/ozen.html

25.12.2008

Yrd.Doç.Dr.Şükrü ÖZEN

1



TÜRK MÜHENDİS VE MİMAR ODALARI BİRLİĞÜ ELEKTRİK MÜHENDİSLERİ ODASI-İZMİR ŞUBESİ
TURK CHAMBERS OF ENGINEERS AND ARCHITECTS OF TURKEY CHAMBER OF ELECTRICAL ENGINEERS-İZMİR BRANCH

SEMİNER

Elektromanyetik Uyumlulukta Topraklama ve Ekranlama

26 Aralık 2008-Cuma
Saat: 18.30
Eyüp Sabri Aksüt Eğitim Salonu

Sunan
Yrd. Doç. Dr. Şükrü Özen
Akdeniz Üniversitesi
Elektrik Elektronik Mühendisliği Böl. Bşk.

- 1-Elektromanyetik girişim ve temel tanımlar
- 2-Ekranlama kavramı
- 3-Kablolarda ekranlama uygulamaları
- 4-Elektromanyetik uyumlulukta topraklama ve topraklama tipleri
- 5-Elektromanyetik girişim azaltma teknikleri

Katılım için
 Tel/Faks : 0232 489 34 35 • e-posta : izmir@emo.org.tr • www.izmir.emo.org.tr

25.12.2008

Yrd.Doç.Dr.Şükrü ÖZEN

2

Giriş



- Elektromanyetik uyumluluk (EMU), (Electromagnetic Compatibility, EMC), Uluslararası standartlarca:

↪ *“Bir aygıt, donanım veya sistemin, bulunduğu elektromanyetik çevre içinde, bu çevreyi veya diğer donanımları rahatsız edecek düzeylerde elektromanyetik gürültü oluşturmadan ve ortamdaki diğer sistemlerin oluşturduğu girişimden etkilenmeden, kendisinden beklenen işlevlerini yerine getirme yeteneği”*

şeklinde tanımlanmaktadır.

25.12.2008

Yrd.Doç.Dr.Şükrü ÖZEN

3

Giriş



- Bir sistem açısından elektromanyetik uyumluluğu iki aşamada düşünebiliriz.

↪ Sistemin kendi donanımları arasında EMU sağlanmalıdır. Sistemin kendi bileşenleri, bu sistem tarafından üretilen EM çevrede işlevlerini sağlıklı olarak yerine getirebilmelidirler.

↪ Bir ortamda birlikte bulunan tüm sistemlerin birbirleri ile elektromanyetik uyumluluğu sağlanmalıdır.

↪ Aynı ortamda dış kaynaklarca üretilen EM çevre içerisinde bulunan tüm sistem işlevlerini problemsiz olarak yapabilmelidir.

25.12.2008

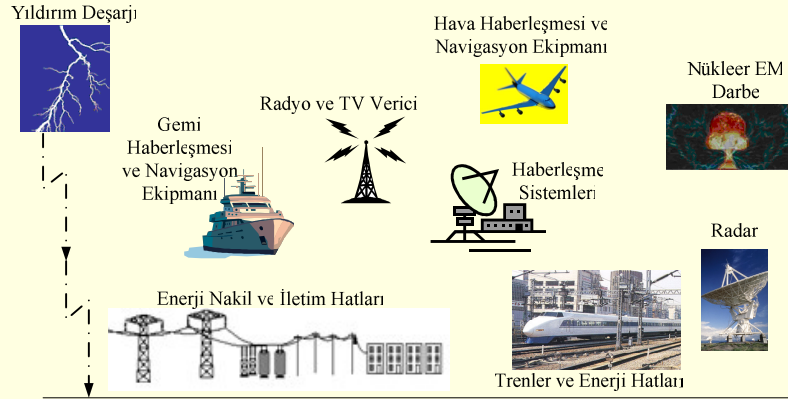
Yrd.Doç.Dr.Şükrü ÖZEN

4

Giriş



TİPİK EM ÇEVRE

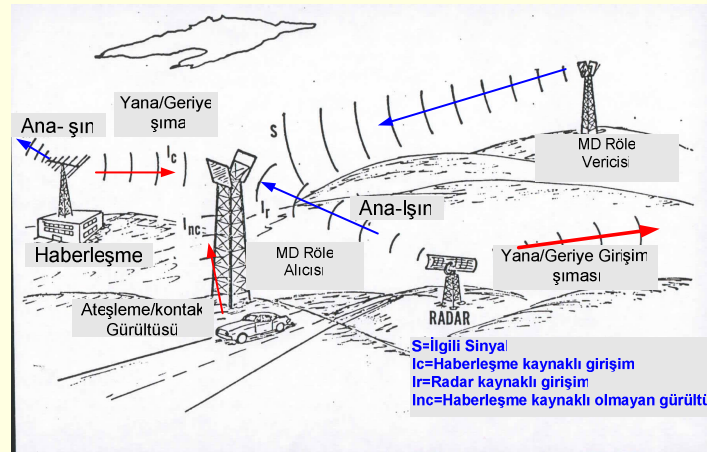


25.12.2008

Yrd.Doç.Dr.Şükrü ÖZEN

5

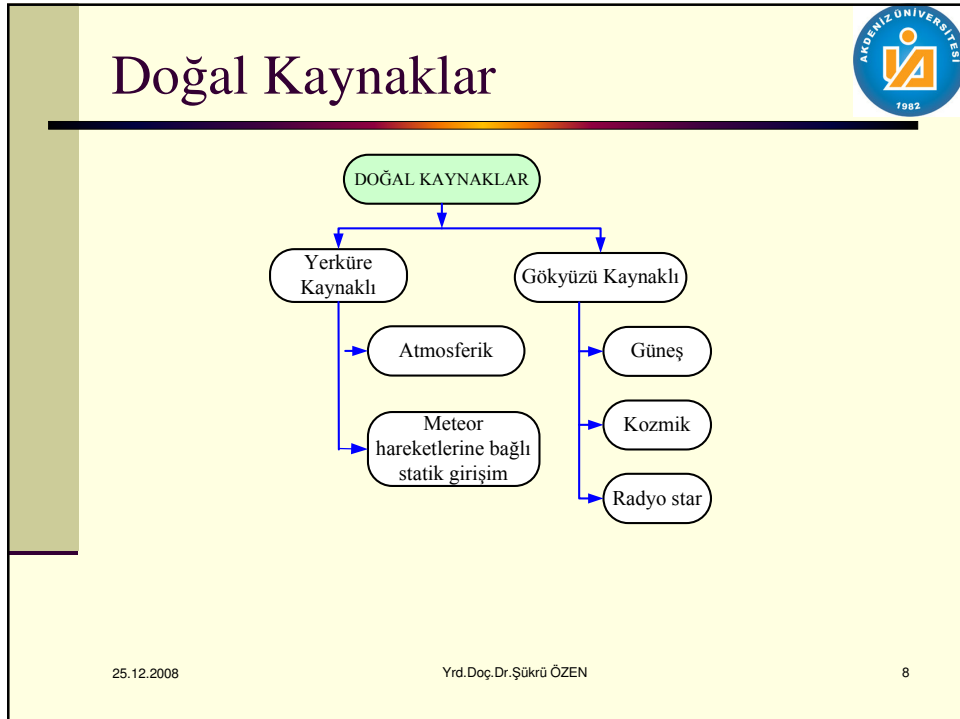
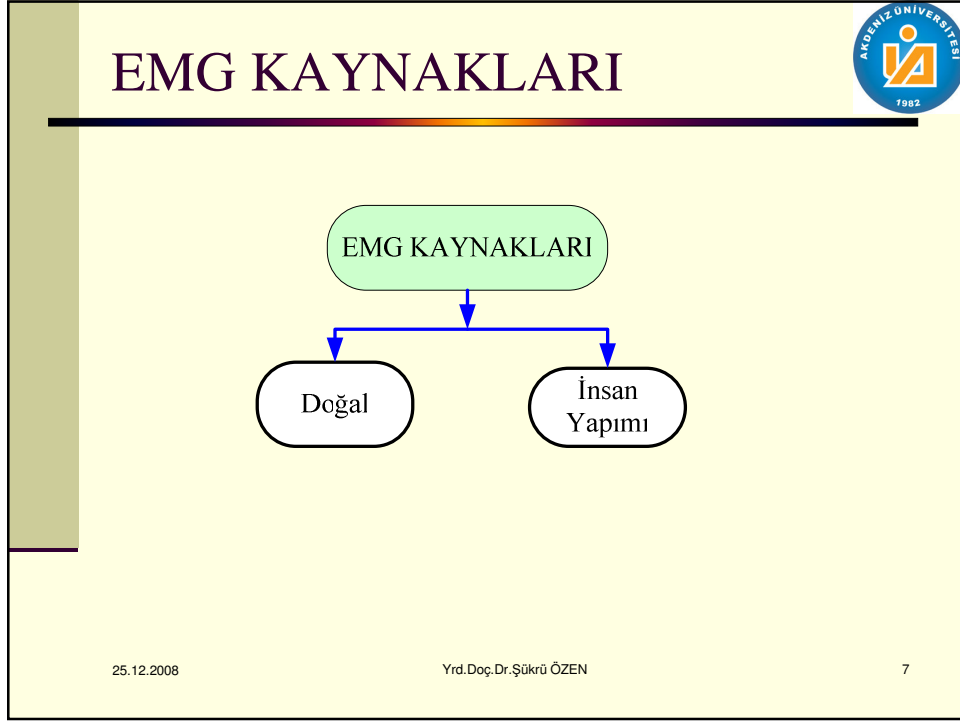
EM ÇEVRE-İŞIMA ÖRNEĞİ



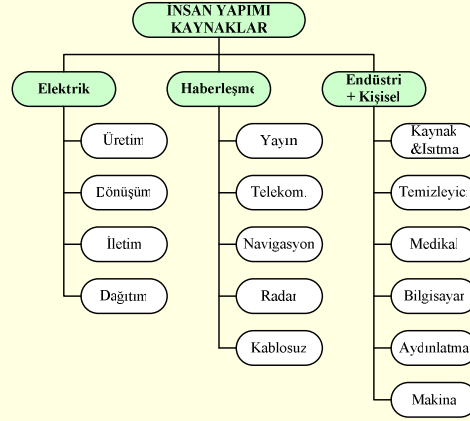
25.12.2008

Yrd.Doç.Dr.Şükrü ÖZEN

6



İnsan Yapımı Kaynaklar

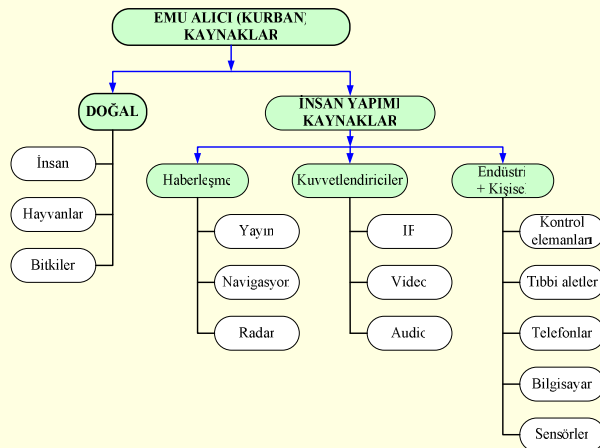


25.12.2008

Yrd.Doç.Dr.Şükrü ÖZEN

9

EMG ALICI KAYNAKLAR



25.12.2008

Yrd.Doç.Dr.Şükrü ÖZEN

10

İletim Yollu Girişim Kaynakları ve Frekans Spektrumu



| EMU Kaynağı | Frekans Spektrumu | Genlik |
|--------------------------|----------------------------|-----------------------|
| Isıtıcı devreleri | 50 kHz--25 MHz | |
| Flüoresan lambaları | 0.1--3 MHz (Max. at 1 MHz) | 20 .. 300 μ V/kHz |
| Cıva buharlı lambalar | 0.1--0.1 MHz | 8000 μ V/kHz |
| Bilgisayar mantık kutusu | 50 kHz--20 MHz | |
| Sinyal hatları | 0.1--25 MHz | |
| Güç hatları | 1--25 MHz | |
| Çoklayıcılar | 1--10 MHz | |
| Mandalı kontaktör | 1--25 MHz / 50 kHz--25 MHz | |
| Transfer anahtarı | 0.1--25 MHz | |
| Güç kaynağı | 0.5--25 MHz | |
| Vakum temizleyici | 0.1--1MHz | 300 μ V/kHz |
| Güç kontrol elemanı | 2--15 kHz | |

25.12.2008

Yrd.Doç.Dr.Şükrü ÖZEN

11

İşıma Yayan Girişim Kaynakları



| EMU Kaynağı | Frekans Spektrumu | Genlik |
|--|------------------------------------|-------------------|
| Dengesiz devre | 15 kHz--400 MHz | |
| Harmonik üretici | 30 MHz--1 GHz | |
| Isıtıcı termal anahtarı ve kontak arkı | 30 kHz--300 kHz/ 20 MHz--200MHz | |
| Motor | 10 kHz--400 kHz | |
| Anahtar arkı | 30 MHz--200 MHz | |
| Çoklayıcı katı hal anahtarlama | 300kHz--500kHz | |
| Transfer anahtar bobin gecikmesi | 15 kHz--150 kHz | |
| Transfer anahtar kontak arkı | 20 MHz--400 MHz | |
| DC güç kaynağı anahtarlama devresi | 100 kHz--30 MHz | |
| Yazma magnetleri | 1.0MHz--3.0MHz | 100 μ V/m/kHz |
| Güç kontrol elemanı | 30 MHz ... 1 GHz | |

25.12.2008

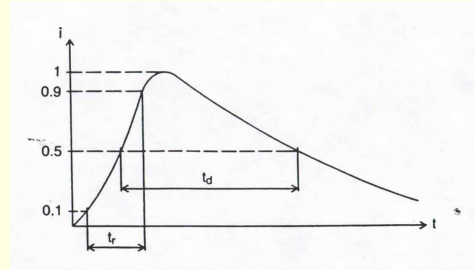
Yrd.Doç.Dr.Şükrü ÖZEN

12

Tipik EM kaynak örnekleri



1. Yıldırım (Lightning)



25.12.2008

Yrd.Doç.Dr.Şükrü ÖZEN

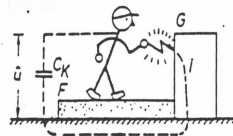
13

Tipik EM kaynak örnekleri

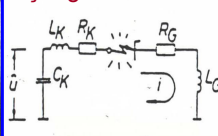


2. Elektrostatik Deşarj (ESD)

ESD Modeli



Eşdeğer Devre



Model parametreleri

$$R = 1 \text{ k}\Omega, L = 0,7 \text{ }\mu\text{H}, C_k = 150 \text{ pF}$$

$$u = 10 \text{ kV}$$

$$R = R_k + R_g = 1...30 \text{ k}\Omega$$

$$L = L_k + L_g = 0,3...1,5 \text{ }\mu\text{H}$$

$$C_k = 100...300 \text{ pF}$$

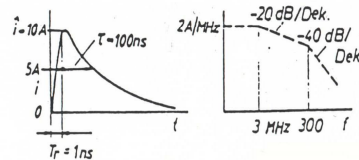
$$R > 2 \sqrt{L/C_k}$$

$$u = 2...15 \text{ kV}$$

$$i = 5...30 \text{ A}$$

$$di/dt = 2...35 \text{ A/ns}$$

Tipik ESD sinyali



25.12.2008

Yrd.Doç.Dr.Şükrü ÖZEN

14

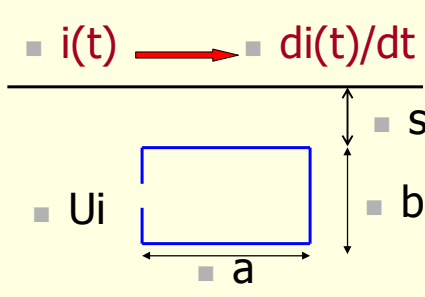
Tipik EM kaynak örnekleri
ESD ve Yıldırım darbelerine bağlı indüklenen Gerilim

Model:

İndüklenen Gerilim U_i :

$$U_i = M \frac{di(t)}{dt} \quad \text{V}$$

Karşılıklı Endüktans M :

$$M = 0.2 a \ln(1+b/s) \quad \mu\text{H}$$


25.12.2008 Yrd.Doç.Dr.Şükrü ÖZEN 15

ESD ve Yıldırım darbelerine bağlı indüklenen Gerilim

Örnekler:

1-Yıldırım Akımı

Kabul: $s = 1 \text{ m}$ $a = 10 \text{ m}$ $b = 2 \text{ m}$

$di/dt = 100 \text{ kA}/\mu\text{s}$

M ve U_i yi bulmak için:

$M = 0.2 * 10 * \ln(1+2/1) = 2.2 \mu\text{H}$

$U_i = 2.2 * 100 = 220 \text{ kV}$

2-ESD-Akımı

Kabul: $s = 10 \text{ cm}$ $a = 1 \text{ cm}$ $b = 1 \text{ cm}$

$di/dt = 35 \text{ A}/\text{ns}$

M ve U_i yi bulmak için:

$M = 0.2 * 10 \ln(1+1/10) = 0.19 \text{ nH}$

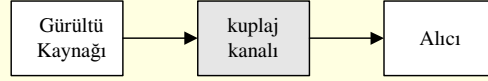
$U_i = 0.19 * 35 * 100 = 6.7 \text{ V}$

25.12.2008 Yrd.Doç.Dr.Şükrü ÖZEN 16

ELEKTROMANYETİK GİRİŞİM(EMG)



EMG MODELİ



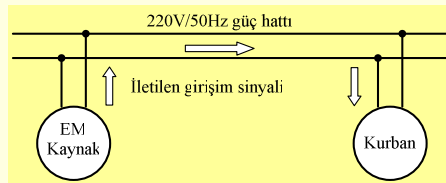
- Bir gürültü probleminin oluşması için 3 eleman gereklidir.
 - ↳ 1.Gürültü kaynağı
 - ↳ 2.Gürültüye duyarlı alıcı devre
 - ↳ 3.Gürültüyü kaynaktan alıcıya iletecek kuplaj kanalı
 - ◆ İletim
 - ◆ Işıma

25.12.2008

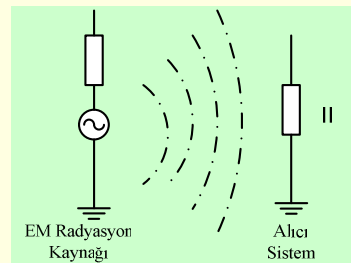
Yrd.Doç.Dr.Şükrü ÖZEN

17

Kuplaj Kanalları



- İletim Yoluyla girişim



- EM Işıma yoluyla girişim

25.12.2008

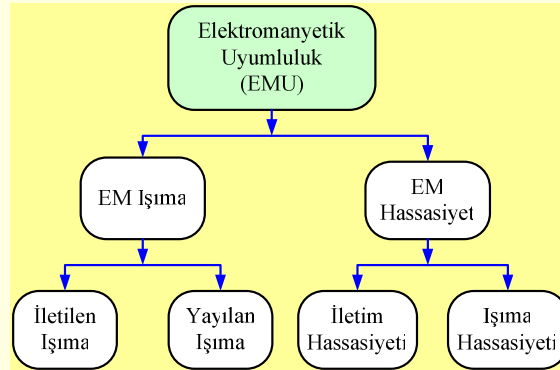
Yrd.Doç.Dr.Şükrü ÖZEN

18

EMG/EMI



EMG biçimleri



25.12.2008

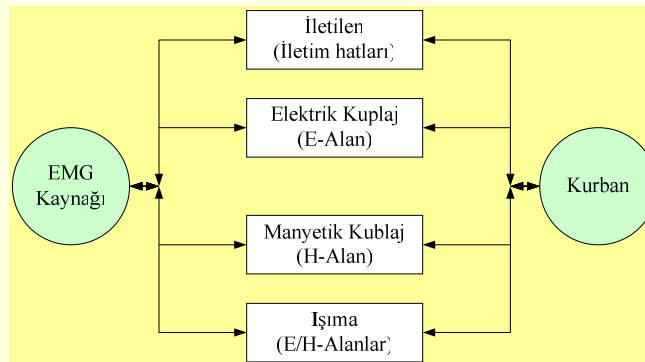
Yrd.Doç.Dr.Şükrü ÖZEN

19

EMG OLUŞUMUNUN TEMEL ESASLARI



EMG oluşumunun temel esasları

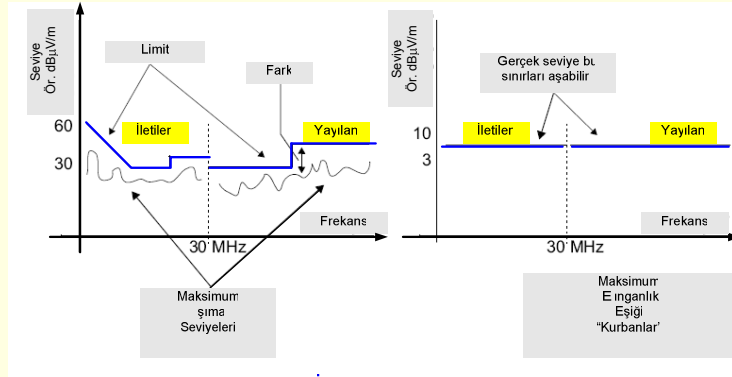


25.12.2008

Yrd.Doç.Dr.Şükrü ÖZEN

20

Frekans Etkisi



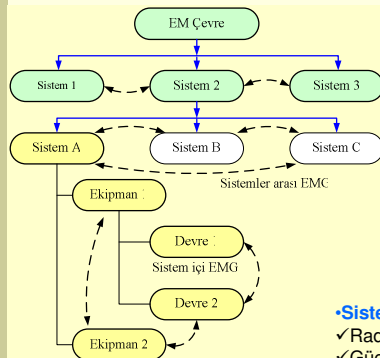
| | İletilen | Yayılan |
|------------------|---------------------------|--------------------|
| İşima | Kablo akımları: CE | Alanlar: RE |
| Alınanlık | Kablo akımları: CE | Alanlar: RE |

25.12.2008

Yrd.Doç.Dr.Şükrü ÖZEN

21

Sistem seviyelerinde EMG modeli



Sistem içi girişim problemleri:

- ✓ Radar vericisinden radar alıcısına giren kaçak enerji
- ✓ Otomobilin ateşleme sisteminden, otomobilin içindeki radyo alıcısına olan girişim
- ✓ Bir radyo alıcı ya da verici devresinin geri besleme yollarının etkisiyle kendiliğinden osilasyonu
- ✓ Yanlış yapılan ara devre bağlantıları ve toprak gevrim akımları
- ✓ Bilgisayar sistemi içindeki düşük seviyeli sayısal devrelere disk-disket sürücüsünün manyetik alanının sebep olduğu girişimdir.

Sistemler arası girişim problemleri:

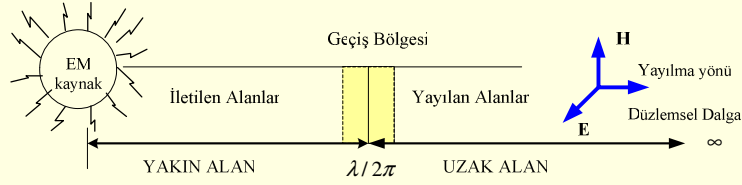
- ✓ Radar ile hava taşıtlarının navigasyon sistemlerinin girişimi
- ✓ Güç hatlarıyla telekomünikasyon sistemleri arasındaki girişim
- ✓ Taksi telsizlerinin polis radyo sistemleriyle girişim
- ✓ Hava taşıtlarının gemi sistemleriyle girişimi
- ✓ Akım hatlarındaki geçici olayların bilgisayar sistemlerine girişimidir.

25.12.2008

Yrd.Doç.Dr.Şükrü ÖZEN

22

EM radyasyon kaynağına göre girişim alanlarının tanımı



- Elektrik alanın **E** manyetik alana **H** oranı dalga empedansı olarak tanımlanır. Uzak alan bölgesinde bu oran, ortamın karakteristik empedansı adını alır.

$$Z_0 = \frac{E}{H} = 120\pi = 377\Omega$$

- Yakın alan bölgesinde **E/H** oranı kaynağın özelliklerine bağlı olarak değişim gösterir.

25.12.2008

Yrd.Doç.Dr.Şükrü ÖZEN

23

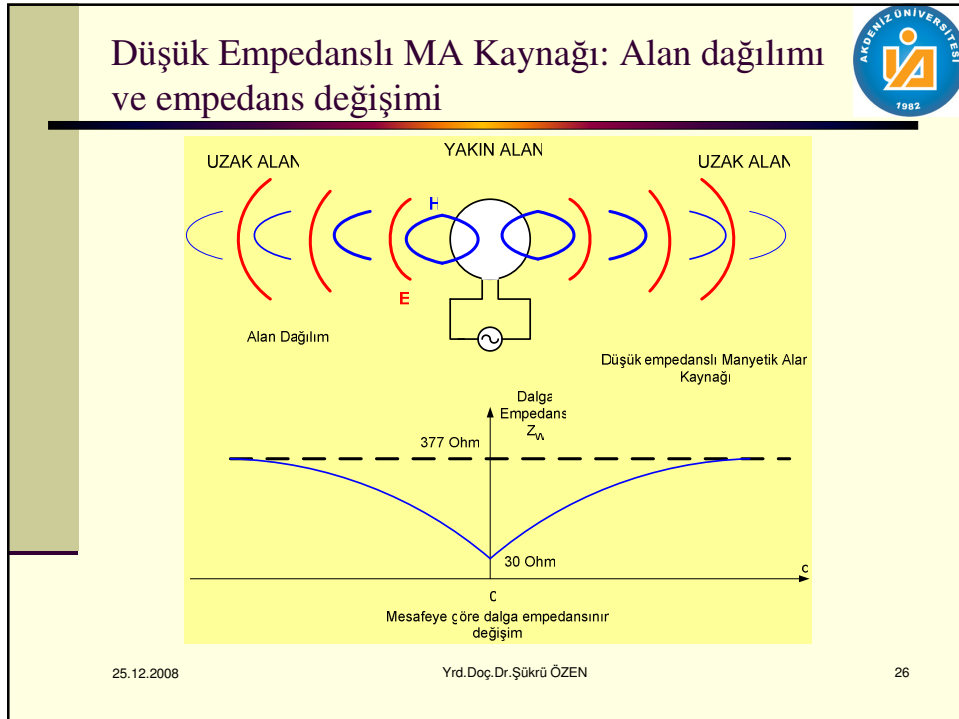
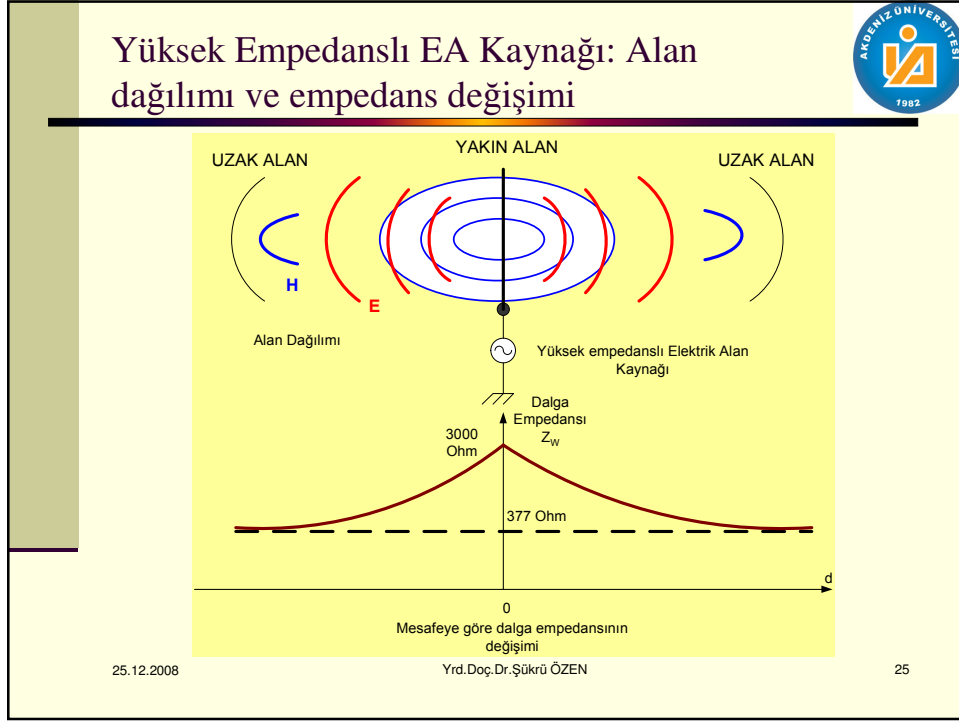
Yakın alan bölgesinde **E/H** oranı kaynağın özelliklerine bağlı olarak değişim gösterir:

- Kaynak yüksek akım, düşük gerilim karakterli ise yakın alan bölgesinde manyetik alan **H** baskındır ve **E/H < 377Ω** olur.
- Bu bölgede kaynaktan uzaklaştıkça **H ~ 1/r³** ve **E ~ 1/r²** ile azalır.
- Kaynak yüksek gerilim, düşük akım karakterli ise yakın alan bölgesinde elektrik alan **E** baskındır ve **E/H > 377Ω** olur.
- Bu bölgede kaynaktan uzaklaştıkça **H ~ 1/r²** ve **E ~ 1/r³** ile azalır.

25.12.2008

Yrd.Doç.Dr.Şükrü ÖZEN

24





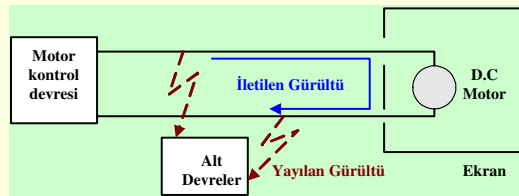
EMG Örnekleri

25.12.2008

Yrd.Doç.Dr.Şükrü ÖZEN

27

1-Ekranlı DC Motor



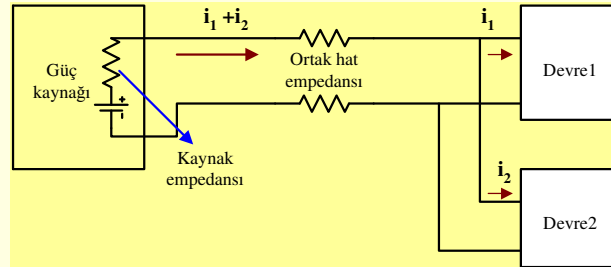
- Bu örnekte gürültü kaynağı bir motordur ve alıcı düşük seviyeli devredir.
- Kuplaj kanalı motor güç kaynağı bağlantı kabloları üzerindeki **iletim** ve kablolar üzerindeki **radasyondan** ibarettir.
- Motor gürültüsü aynı ekipmanda düşük seviyeli devre ile girişim yapmaktadır.
- Motordan kaynaklanan komütatör gürültüsü bağlantılar üzerinden ekran dışında devre kesicisine iletilir.
- Kablolardan gürültü düşük seviyeli devreye yayılarak ulaşır.
- Bu örnekteki gürültü kaynağı komütatör ve fırçalar arasındaki arklardır.
- Kuplaj kanalının iki bileşeni mevcuttur.
 - ↳ Bu, motor kablolarındaki iletim ve kablolardan yayılımdır.
 - ↳ Alıcı düşük seviyeli devredir.
 - ↳ Burada gürültü kuplaj kanalında kesilerek yok edilebilir.

25.12.2008

Yrd.Doç.Dr.Şükrü ÖZEN

28

2- Ortak Empedans Yoluyla Kuplaj



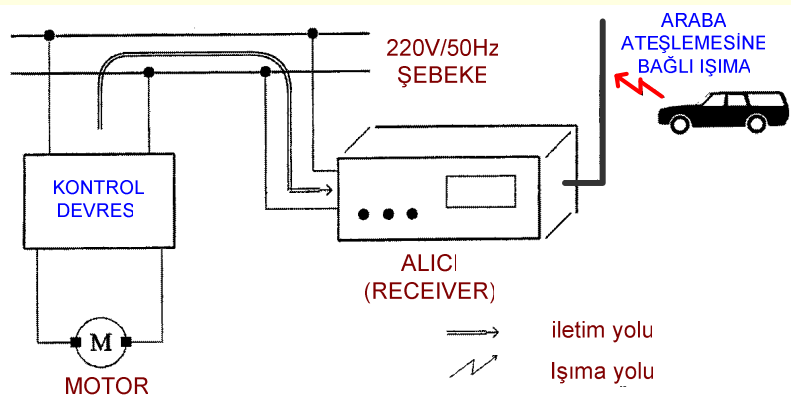
- Şayet iki devre aynı güç kaynağından besleniyorsa, bir devrenin çektiği akım diğer devre gerilimini etkiler.
- Örneğin Devre 2 nin kaynaktan çektiği akımdaki herhangi bir artış, Devre-1 uçlarındaki gerilimi etkileyecektir.
 - ↳ Bu etkileşim her iki devre tarafından ortak kullanılan kaynak empedansı ve hat empedansına bağlıdır.

25.12.2008

Yrd.Doç.Dr.Şükrü ÖZEN

29

3- İletim ve Kontak Işıma Gürültü Girişimi



25.12.2008

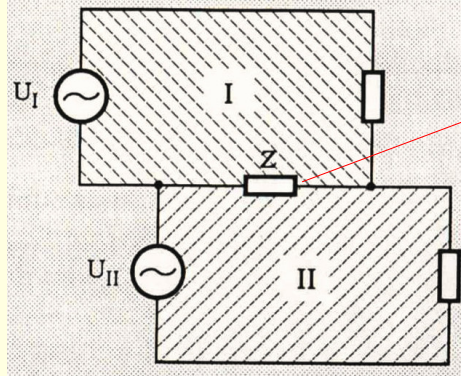
Yrd.Doç.Dr.Şükrü ÖZEN

30

ELEKTROMANYETİK KUBLAJ



1. İletim Yollu Ortak Mod Girişimi



- **Z : Ortak Empedans**
- Girişim, I ve II çevrimlerindeki akımların ortak Z empedansı üzerinden akması sonucunda oluşur.

25.12.2008

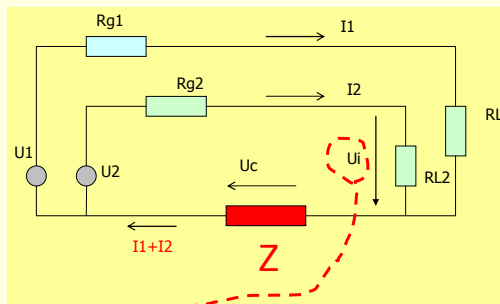
Yrd.Doç.Dr.Şükrü ÖZEN

31

İletim Yollu Ortak Mod Girişimi



Ortak Mod Empedans Kurlajı



$$U_c = U_1 Z / (Z + R_{g1} + R_{L1})$$

$$Z \ll R_{g1} + R_{g2}$$

$$U_c = U_1 Z / (R_{g1} + R_{L1})$$

$$U_i = U_c R_{L2} / (R_{g2} + R_{L2}) = U_1 Z R_{L2} / [(R_{g1} + R_{L1})(R_{g2} + R_{L2})]$$

“Cross-Talk” $CT = 20 \log(U_i)$

25.12.2008

Yrd.Doç.Dr.Şükrü ÖZEN

32

Sayısal Örnek



- $U_c = U_1 Z / (Z + R_{g1} + R_{L1})$
- $Z \ll R_{g1} + R_{g2}$
- $U_c = U_1 Z / (R_{g1} + R_{L1})$
- $U_i = U_c R_{L2} / (R_{g2} + R_{L2}) = U_1 Z R_{L2} / ((R_{g1} + R_{L1})(R_{g2} + R_{L2}))$
- "Cross-Talk" $CT = 20 \log(U_i)$
- **Sayısal Örnek:**
- Kabul: $R_{g1} = R_{g2} = 50 \text{ Ohm}$ $R_{L1} = 50 \text{ Ohm}$ $R_{L2} = 10 \text{ MOhm}$
- $Z = 0.2 \text{ Ohm}$ $U_1 = 5 \text{ V}$

↪ Ui ve CT değerleri:

↪ $U_i = 5 * 0.2 * 107 / 100 * 107 = 0.1 \text{ V}$

↪ $CT = 20 \log(10^{-1}) = -20 \text{ dB}$

25.12.2008

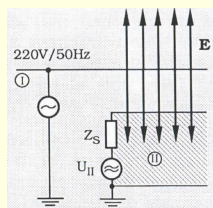
Yrd.Doç.Dr.Şükrü ÖZEN

33

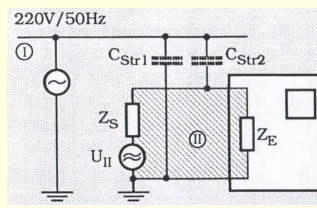
Elektromanyetik Kublaj



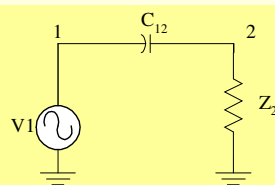
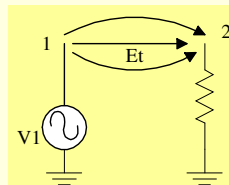
- 2.Elektrik Alana Bağlı (Capacitively)



Elektrik-Alan Modeli



Devre Modeli



➤ Vi:

✓ $dV(t)/dt$

✓ C

✓ Z

- İki devre (devre) arasında zamanla değişen E-alan mevcutsa,

- bu durum iki iletkeni birbirine bağlayan bir kapasite olarak modellenebilir.

25.12.2008

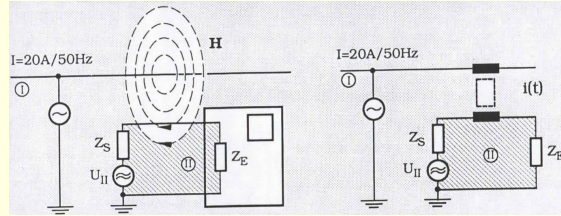
Yrd.Doç.Dr.Şükrü ÖZEN

34

Elektromanyetik Kublaj



3. Manyetik alana bağılı (Inductively)



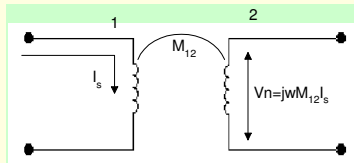
➤ V_i :

✓ $di(t)/dt$

✓ M

■ Manyetik-Alan Modeli

■ Devre Modeli



İki iletken bir manyetik alana kuple iken, kublaj karşılıklı endüktansla temsil edilebilir.

25.12.2008

Yrd.Doç.Dr.Şükrü ÖZEN

35

EMG de MOD TANIMLARI



1-Diferansiyel Mod (DM)

2-Ortak Mod (CM)

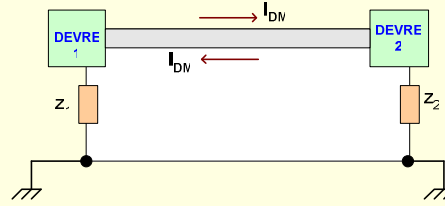
3-Anten Modu

25.12.2008

Yrd.Doç.Dr.Şükrü ÖZEN

36

1-Diferansiyel Mod (DM) Kuplajı



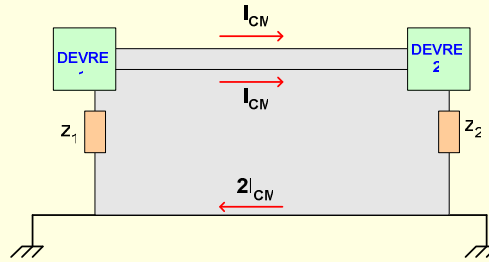
- Girişim sonucu indüklenen akımlar **ters yönde akar**.
- Bu durumda hassas bölge **iletkenler arası bölge** ile sınırlıdır.
- Z_1 ve Z_2 sırası ile Devre-1 ve Devre-2 ile toprak arası empedanslardır.
 - ↳ Empedanslar, gerçek empedanslar olabilecekleri gibi, toprağa göre saçılmış kapasitelerin eşdeğer empedansları veya toprak bağlantı iletkenlerinin eşdeğer empedansları olabilir.
 - ↳ I_{DM} akımları üzerinde **herhangi bir etkileri yoktur**.

25.12.2008

Yrd.Doç.Dr.Şükrü ÖZEN

37

2-Ortak Mod (CM) Kuplajı



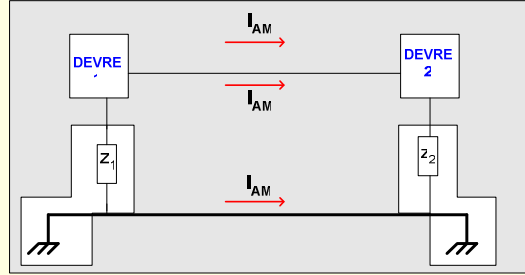
- Girişim sonucu indüklenen akımlar (I_{CM}) **aynı yönde akar** (dönüş akımı hariç).
- Bu durumda **hassas alan toprak düzlemini de içerir** (Şekilde koyu bölge).
- Z_1 ve Z_2 empedansları I_{CM} akımları üzerinde **hem genlik hem de spektrum açısından etkilidir**.

25.12.2008

Yrd.Doç.Dr.Şükrü ÖZEN

38

3-Anten Modu



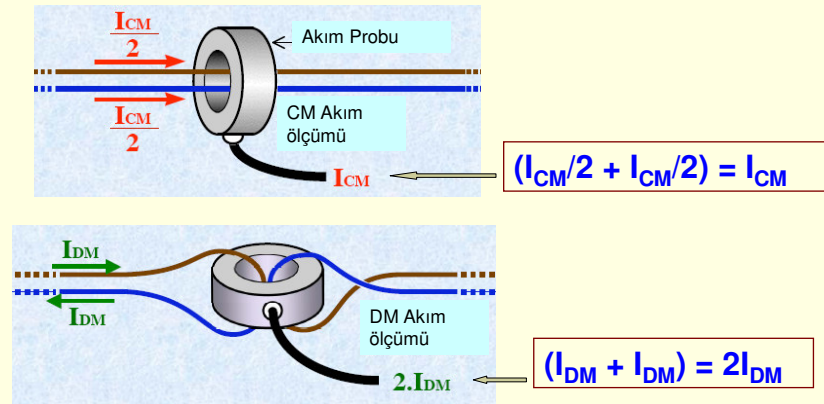
- Bu durumda Devre-1 ve Devre-2 bağlantı iletkenleri ile toprak düzleminin hepsi birden girişim alanlarına karşı bir [alıcı anten](#) gibi davranır.
- Bağlantı iletkenleri ve toprak düzlemi tarafında taşınan akımların [hepsi aynı yöndedir](#).

25.12.2008

Yrd.Doç.Dr.Şükrü ÖZEN

39

DM ve CM Akımlarının Ölçümü



25.12.2008

Yrd.Doç.Dr.Şükrü ÖZEN

40

Özet



- Gürültü kaynakları 3 grupta incelenebilir
 - ↳ Gerçek gürültü kaynakları
 - ↳ İnsan-yapımı kaynaklar
 - ↳ Çevresel Gürültü kaynakları
- Elektromanyetik girişim kaynaktan kurbana 2 yolla ulaşır
 - ↳ İletim
 - ↳ Işıma (radyasyon)
- EMG de 3 temel kuplaj modu tanımlıdır.
 - ↳ Diferansiyel mod (DM)-Fark Modu
 - ↳ Ortak Mod (CM)
 - ↳ Anten Modu (AM)
- Işımaya bağlı gürültü kurbana 3 temel yolla ulaşır.
 - ↳ Kapasitif kuplaj (Elektrik-alan E)
 - ↳ Manyetik kuplaj (Manyetik –alan H)
 - ↳ Elektromanyetik Alan kuplajı (EMA)

EKRANLAMA



EMG in önlenmesi için temel yöntemler



- **Ekranlama**
- **Topraklama**
- Dengeleme
- Filtreleme
- İzolasyon
- Ayırma ve Devre Uyumu
- Devre Empedans Seviyesi Kontrolü
- **Kablolar**
- Frekans veya Zaman Domeni Teknikleri

25.12.2008

Yrd.Doç.Dr.Şükrü ÖZEN

43

EKRANLAMA



- Elektromanyetik enerjinin tanımlanmış bir bölgeye girişini tamamen veya kısmen engellemek ya da tanımlanmış bir kaynak bölgesi sınırları içerisinde kontrol altında tutmak amacıyla yapılan işlem **ekranlama** adını alır.
- Bir başka ifade ile **Ekranlama**: kart, devre ya da cihaz düzeyinde “iki ortamı birbirinden elektromanyetik anlamda izole etmek” anlamına gelir.
- Ekranlama malzemesi olarak genellikle mükemmel iletken malzeme kullanılır.


25.12.2008

Yrd.Doç.Dr.Şükrü ÖZEN

44

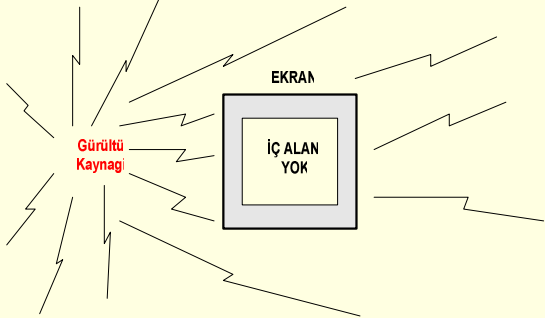
EKRANLAMA

EKRAN



Dış Alan Yok

EKRAN



İÇ ALAN YOK

✓ Ekranın dışında bulunan ortamın girişimden korunması için kullanılan ekran modeli

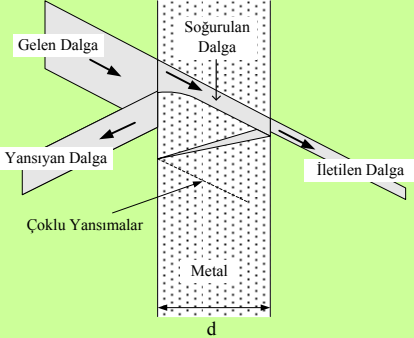
✓ Ekranın içinde bulunan ortamın girişimden korunması için kullanılan ekran modeli

25.12.2008

Yrd.Doç.Dr.Şükrü ÖZEN

45

EKRANLAMA



Ekrani Modeli

Ekranı gelen EM dalgalar üç temel aşamada zayıflar.

- 1-İlk olarak, gelen EM dalğanın bir kısmı hava-ekran sınırında yansır.
- 2-Daha sonra bir kısmı ekran içerisinde yutulur
- 3-Ayrıca ekran içerisinde çoklu yansımalar uğrar.

25.12.2008

Yrd.Doç.Dr.Şükrü ÖZEN

46

Ekranlama Etkinliği (S_E)



- **SR**=Yansımaya kaybı [dB]
- **SA**=Soğurulma kaybı [dB]
- **SMR**=Malzeme içerisindeki tekrarlı yansımaya kaybı [dB]
- Olmak üzere **ekranlama etkinliği bu üç kaybın toplamı** olarak yazılır.

$$S_E = S_R + S_A + S_{MR}$$

25.12.2008

Yrd.Doç.Dr.Şükrü ÖZEN

47

Ekran Etkinliği İçin Seviye Tanımları

| Ekran Zayıflatma Seviyesi (dB) | Düzeş Tanımı |
|--------------------------------|--------------|
| 0-10dB | Kötü |
| 10-30dB | Zayıf |
| 30-60dB | Orta |
| 60-90dB | İyi |
| >90dB | Mükemmel |

25.12.2008

Yrd.Doç.Dr.Şükrü ÖZEN

48

Kaynağa olan mesafeye göre ekranlama etkinliği ifadeleri[1]



| Uzak Alan | Yakın Alan | |
|---|---|---|
| Düzlemsel Dalga $\eta = 377\Omega$ | Elektrik Alan Baskın $\eta > 377\Omega$ | Manyetik Alan Baskın $\eta < 377\Omega$ |
| $S_A = 131.8d\sqrt{f(Hz)\sigma_r\mu_r}$ | $S_A = 131.8d\sqrt{f(Hz)\sigma_r\mu_r}$ | $S_A = 131.8d\sqrt{f(Hz)\sigma_r\mu_r}$ |
| $S_R = 168.2 + 10\log\left(\frac{\sigma_r}{f \cdot \mu_r}\right)$ | $S_{RE} = 321.74 + 10\log\left(\frac{\sigma_r}{\mu_r r^2 f^3}\right)$ | $S_{RH} = 14.6 + 10\log\left(\frac{f r^2 \sigma_r}{\mu_r}\right)$ |
| $S_{MR} = 0$ | $S_{MR} = 0$ | $S_A \geq 10dB$ ise $S_{MR} \approx 29.6 + 10\log(f\mu_r\sigma_r d^2)$ |
| $S_E = S_A + S_R$ | $S_E = S_A + S_R$ | $S_E = S_A + S_R + S_{MR}$ |

Bu ifadelerde f(Hz), r(m) ve d(m) olarak alınmıştır.

Bazı metallerin bakıra göre bağlı sabitleri



| Malzeme | σ_r | μ_r |
|-----------------------|------------|---------|
| Gümüş | 1,05 | 1 |
| Bakır | 1 | 1 |
| Altın | 0,7 | 1 |
| Alüminyum | 0,61 | 1 |
| Pirinç | 0,26 | 1 |
| Bronz | 0,18 | 1 |
| Teneke | 0,15 | 1 |
| Kurşun | 0,08 | 1 |
| Nikel | 0,2 | 100 |
| Paslanmaz Çelik (430) | 0,02 | 500 |
| Çelik (SAE 1045) | 0,1 | 1000 |

σ_r : bağlı iletkenlik, μ_r :bağlı manyetik sabit

Ekranlama Malzemelerinin Sınıflandırılması



- ❖ 1- Ekranlama Etkinliği Yüksek Malzemeler:
 - ✦ Çelik, bakır, paslanmaz çelik gibi malzemelerden yapılmış ve tamamen metal kaplı kutu **(80-120 dB ekranlama etkinliği)**
- ❖ 2- Ekranlama Etkinliği Standart Malzemeler:
 - ✦ İletken metal tabakalar ya da Metal parçacıklı plastikler **(20-40 dB ekranlama etkinliği)**
- ❖ 3- Ekranlama Etkinliği Zayıf Malzemeler:
 - ✦ Metalleştirilmiş kumaş yapılar İletken kağıt malzemeler **(iletken polimerler) (15-30 dB ekranlama etkinliği)**

25.12.2008

Yrd.Doç.Dr.Şükrü ÖZEN

51

Ekran Etkinlik Seviyeleri (SE-dB)



| Ekranlama Etkinliği (S _E) | Edış/Eiç | Ekran Seviyesi |
|---------------------------------------|----------|----------------|
| 10dB | %32 | Kötü |
| 20dB | %10 | Alt Sınır |
| 30dB | %3.6 | Ortalama |
| 60dB | %0.1 | İyi |
| 90dB | %0.0031 | Çok İyi |
| 120dB | %0.0001 | Mükemmel |

$$S_E = 20 \log \frac{\text{Kaynak tarafındaki alan şiddeti (E}_{dış})}{\text{Ölçülen taraftaki alan şiddeti (E}_{iç})} \quad [\text{dB}]$$

25.12.2008

Yrd.Doç.Dr.Şükrü ÖZEN

52

Ekranlama Etkinliğinin Frekans, Malzeme ve Kanyak özelliğine göre (MA, EA, DD) Değerlendirilmesi



| Ekran Malzemesi | Frekans f (kHz) | Soğurma Kaybı (SA)* (Tüm Alanlar için) | Yansıma Kaybı | | |
|---|-----------------|--|-----------------|---------------|-----------------|
| | | | Manyetik Alan** | Elektrik Alan | Düzlemsel Dalga |
| Manyetik Malzeme ($\mu_r=1000, \sigma_r=0.1$) | f<1 | Kötü-zayıf | Kötü | Mükemmel | Mükemmel |
| | 1<f<10 | Orta-iyi | Kötü-zayıf | Mükemmel | Mükemmel |
| | 10<f<100 | Mükemmel | Zayıf | Mükemmel | İyi |
| | 100<f | Çok Mükemmel | Zayıf-orta | İyi | Orta-iyi |
| Manyetik Olmayan Malzeme ($\mu_r=1, \sigma_r=1$) | f<1 | Kötü | Zayıf | Mükemmel | Mükemmel |
| | 1<f<10 | Kötü | Orta | Mükemmel | Mükemmel |
| | 10<f<100 | Zayıf | Orta | Mükemmel | Mükemmel |
| | 100<f | Orta-iyi | İyi | Mükemmel | Mükemmel |

*0.08 mm kalınlığına sahip ekran için Soğurma Kaybı

** Kaynaktan 1m mesafe için Manyetik Alan yansıma Kaybı

25.12.2008

Yrd.Doç.Dr.Şükrü ÖZEN

53

Ekranlamada Genel Yaklaşımlar



- 1-Sadece kritik devreler ekranlanmalıdır.
 - ↳ Önemli bir performans iyileştirmesi olmaksızın gereksiz yere maliyet artışına neden olur.
- Pratikte hem ışımaya yapan kaynak hem de kurban ekranlanmalıdır.
- Ekranlama etkinliği ekranlamanın mekanik donanımına bağlıdır.
 - ↳ Paslanma,
 - ↳ yüksek kontak direnci,
 - ↳ EM sızıntılar
 - ↳ ve ekran açıklıkları

25.12.2008

Yrd.Doç.Dr.Şükrü ÖZEN

54

Ekranlamada Genel Yaklaşımlar



- Ekran, içerisine yerleştirilen devrenin toprağına elektriksel olarak bağlanmalıdır.
 - ↳ Yani korunan devrenin sinyal toprağı ile ekran bağlanmalıdır.
 - ↳ Ekranın fiziki boyutu $\lambda/20$ den küçükse, tek bir bağlantı noktası yeterli olur,
 - ↳ değilse birkaç noktadan daha belli aralıklarla bağlantı yapılmalıdır

25.12.2008

Yrd.Doç.Dr.Şükrü ÖZEN

55

Ekran Üzerindeki EM Kaçaklar



- Pratik uygulamalarda ekranlar üzerinde:
 - ↳ bağlantı noktaları,
 - ↳ anahtarlar,
 - ↳ ölçü aletleri,
 - ↳ havalandırma,
 - ↳ kablo bağlantıları vb. nedenlere bağlı olarak açıklıklar ve delikler bulunabilmektedir.
- Bu açıklık ve delikler ekranda süreksizliğe neden olmakta ve ekranlama etkinliğini azaltmaktadır.

25.12.2008

Yrd.Doç.Dr.Şükrü ÖZEN

56

Ekran Üzerindeki EM Kaçaklar



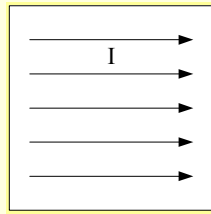
- Özellikle manyetik alanın ekranlanması bu açıklıklar nedeniyle kaçaklar meydana gelir.
- Bir ekran üzerindeki süreksizlik noktaları nedeniyle oluşan kaçak miktarı temel olarak üç ana faktöre bağlıdır.
 - ↳ 1-Açıklık boyutu,
 - ↳ 2-Dalga empedansı ve
 - ↳ 3-Kaynak frekansı

25.12.2008

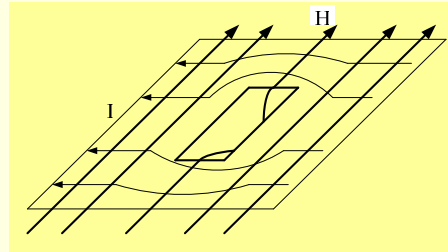
Yrd.Doç.Dr.Şükrü ÖZEN

57

Ekrandaki Açıklıklar



Ekran üzerinden indüklenmiş ekran akımlarının dağılımı



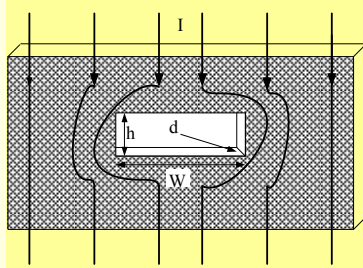
Üzerinde bir açıklık bulunan ekranda manyetik alan kaçağının oluşumu

25.12.2008

Yrd.Doç.Dr.Şükrü ÖZEN

58

Ekrandaki Açıklıklar



Frekans [MHz], W ve d [mm] olmak üzere ekranlama etkinliği:

$$S_E = 100 - 20 \log W - 20 \log f + 27.3 \frac{d}{W} \quad [\text{dB}]$$

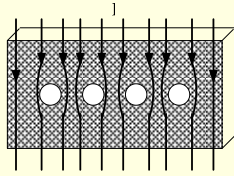
Ekran üzerinde dikdörtgen yapıda bir açıklık olması durumunda akım dağılımı

25.12.2008

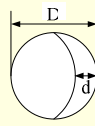
Yrd.Doç.Dr.Şükrü ÖZEN

59

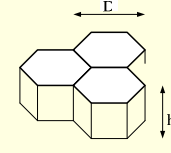
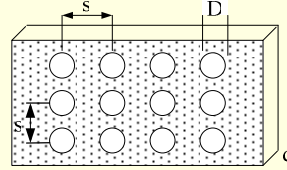
Ekrandaki Açıklıklar



Ekran üzerindeki delikler ve ekran akım dağılımı



Havalandırma amaçlı çok sayıda açıklığa sahip ekran



Arı peteği şeklinde açıklık modeli

Genel olarak en büyük genişliği **D** olan herhangi bir açıklık için ekran zayıflatması şu ifade ile verilir. ($f < f_c$, f_c kesim frekansı)

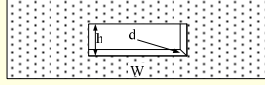
$$S_A \approx 30 \frac{d}{D} \quad [\text{dB}]$$

25.12.2008

Yrd.Doç.Dr.Şükrü ÖZEN

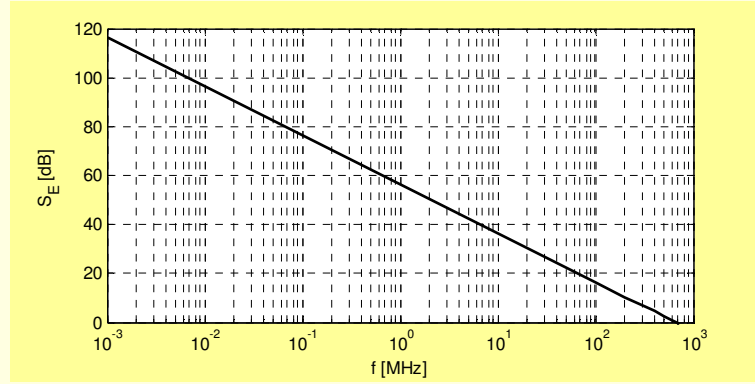
60

Örnek:



Bir bakır ekran üzerinde bulunan açıklık için ekran etkinliğindeki zayıflamanın frekansa göre değişimi

$W=150\text{mm}$, $d=h=0.1\text{mm}$



25.12.2008

Yrd.Doç.Dr.Şükrü ÖZEN

Kesim frekansı $f=1\text{GHz}$

61

ÖZET

EKRANLAMA

Manyetik Alanın Ekranlaması

- ✓ Daha çok düşük frekanslarda ($f < 30 \text{ MHz}$) önem arz eder.
- ✓ Ekran Zayıflaması frekansla artar.
- ✓ Ekran direnci mümkün olduğunca düşük tutulmalıdır.
- ✓ Delikler ve açıklıklar daha az önemlidir.

Elektrik Alanın Alanın Ekranlaması

- ✓ Daha çok yüksek frekanslarda ($f > 30 \text{ MHz}$) önem arz eder.
- ✓ Değişik parçalar arasındaki **kontak direncinin** kalitesi önemlidir (izole edilmiş parçalar anten gibi davranır).
- ✓ Delikler ve açıklıkların etkisi frekansa bağlıdır.
- ✓ Kablo bağlantısı ya da havalandırma nedeniyle bırakılan açıklıklar ekranlamayı etkiler.

25.12.2008

Yrd.Doç.Dr.Şükrü ÖZEN

62

ÖZET



- ❖ Ekranlı bir yapıya giren tüm kablolar filtrelenmelidir.
- ❖ Ekranlı kabloların ekranlı bir yapıya giriş noktasında ekranları gövdeye bağlanmalıdır.
- ❖ Yansıma kaybı elektrik alanlar ve düzlemsel dalgalar için oldukça büyüktür.
- ❖ Yansıma kaybı düşük frekanslı manyetik alanlar için küçük değerlerde kalır.
- ❖ Manyetik alanların ekranlanması elektrik alana nazaran daha zordur.

25.12.2008

Yrd.Doç.Dr.Şükrü ÖZEN

63

ÖZET




- ❖ Düşük frekanslı manyetik alanların ekranlanması için manyetik malzemeler kullanılmalıdır.
- ❖ E-alan, Düzlem dalga ve yüksek-frekanslı manyetik alanların ekranlanmasında iyi iletken malzemeler kullanılmalıdır.
- ❖ Ekrandaki açıklıkların neden olduğu kaçak miktarı açıklığın en büyük boyutuna bağlıdır.
- ❖ Ekran üzerinde aynı toplam alandaki çok sayıdaki deliğin neden olduğu kaçak miktarı, aynı alandaki daha büyük boyutlu açıklığın neden olduğu kaçak miktarından azdır.


25.12.2008

Yrd.Doç.Dr.Şükrü ÖZEN

64




Kablolar ve Ekranlama



Yrd.Doç.Dr.Şükrü ÖZEN

25.12.2008 65



Kablolar

- Kablolar, EMU kalitesi bakımından en önemli sistem parçalarıdır.
- Sistemde istenmeyen gürültü sinyalleri kablolar aracılığı ile taşınırlar. Kablolar,
 - İletim yolu olarak
 - Anten gibi davranarak ışımaya kaynağı olarak işlev görürler.
- Sistem içerisinde ve sistemler arasında kapalı çevrim alanlarına neden olurlar, ve halka anten etkisi yaratabilirler.

25.12.2008 66

Yrd.Doç.Dr.Şükrü ÖZEN

Kablolar



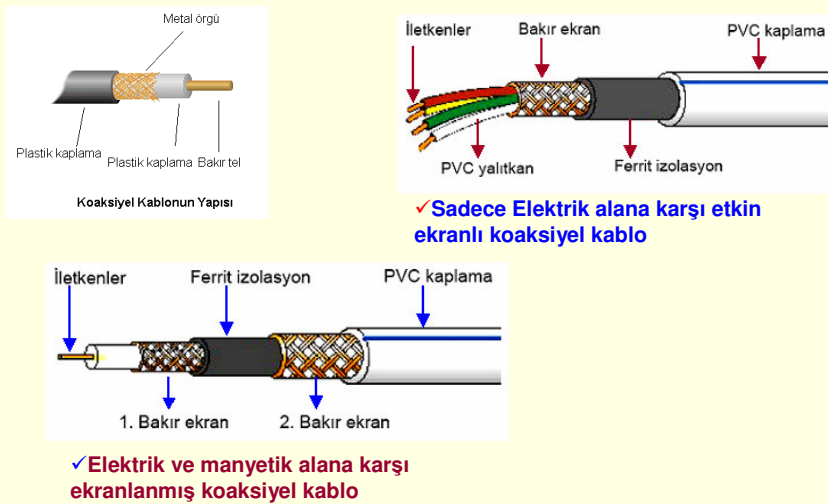
- EMU da kablo kalitesini belirleyen en temel unsurlar:
 - ↪ Kablo ekran malzemesi ve kalitesi
 - ↪ Kablo ekranının topraklanmasıdır.
- Girişim riskinin yüksek olduğu ortamlarda ekranlı kablolar kullanılmalıdır.
 - ↪ **Koaksiyel kablolar ekranlı kablolardır.**
 - ◆ Tek ve çift ekranlı kablo tipleri mevcuttur
 - ◆ Elektrik alan ve manyetik alanın ekranlanması için ekran yapıları farklıdır.
 - ◆ Burgulu kablolar da manyetik alan girişiminde etkin kablo tipidir.

25.12.2008

Yrd.Doç.Dr.Şükrü ÖZEN

67

KOAKSİYEL KABLO

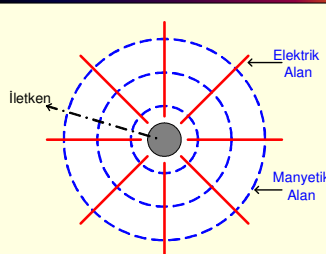


25.12.2008

Yrd.Doç.Dr.Şükrü ÖZEN

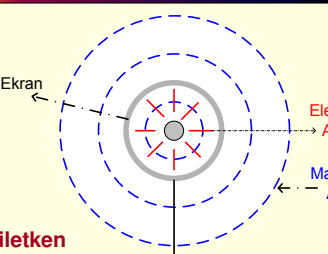
68

Akım taşıyan iletkenlerde E ve H alan değişimi



Elektrik Alan
Manyetik Alan

iletken

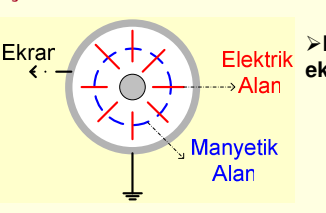


Elektrik Alan
Manyetik Alan

Ekran

➤ Akım taşıyan bir iletken çevresinde E ve H alanlar

➤ Ekranlı bir iletken çevresinde E ve H alanlar; ekran tek noktadan topraklı



Elektrik Alan
Manyetik Alan

Ekran

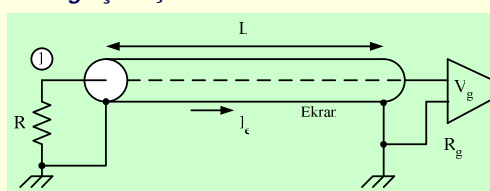
➤ Ekranlı iletken çevresindeki alanlar; ekran topraklı ve ekran akımı iletken akımına eşit fakat ters yönlü

- İletkenler arası girişim şekilleri:
- 1- İletkenler arası kapasitif kuplaj
- 2- İletkenler arası manyetik kuplaj

25.12.2008 Yrd.Doç.Dr.Şükrü ÖZEN 69

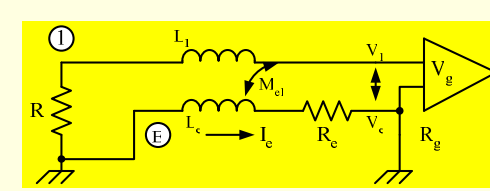
KABLOLARIN EKSPANLANMASI VE KUPLAJ ETKİSİ

▪ Kablo ekranlamalarında temel amaç kapasitif ve endüktif yolla gerçekleşen EMG in azaltılmasıdır.



Kablo ekranlaması

R direnci sıfıra eşit alınabilir. Rg ise sonsuz değerde kabul edilir.



Eşdeğer devre

L : Kablo boyu
le : Ekran akımı
V1 : İç iletken gerilimi
Ve : Ekran gerilimi
L1 : İç iletken endüktansı
Le : Ekran endüktansı
Me1 : Ekran ile iletken arası karşılıklı endüktans
Vg : Giriş gerilimi (Fark gerilimi)

Ortak Mod akımına bağlı transfer empedansı:

$$Z_T = \frac{V_e - V_1}{LI_e}$$

25.12.2008 Yrd.Doç.Dr.Şükrü ÖZEN 70

EKRANLI İLTKEN MANYETİK KUPLAJ MODELİ

A) Ekranı iki uçundan topraklı kablo manyetik kuplaj modeli

B) Eşdeğer devresi

a) Topraklanmamış kablo ekranı ve manyetik kuplaj modeli

b) Eşdeğer devresi

25.12.2008 Yrd.Doç.Dr.Şükrü ÖZEN 71

Ekranlı kablo manyetik kuplaj modeli

Ekran kesim frekansı:

$$\omega_c = \frac{R_e}{L_e} \Rightarrow f_c = \frac{R_e}{2\pi L_e}$$

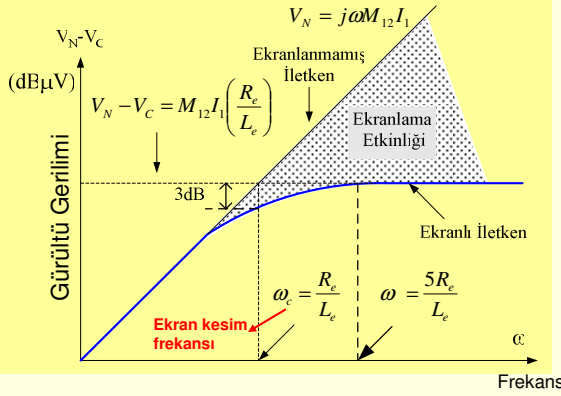
iç iletken üzerindeki gürültü gerilimi:

$$V_N - V_C = j\omega M_{12} I_1 \left(\frac{\omega_c}{j\omega + \omega_c} \right)$$

- Burada V_C , ekran akımı I_e nedeniyle iç iletkende (2) indüklenen gerilimi
- V_N ise I_1 gürültü akımının iç iletkende indüklediği gerilimi
- $V_N - V_C$ iç iletken üzerindeki gerilimi temsil etmektedir.

25.12.2008 Yrd.Doç.Dr.Şükrü ÖZEN 72

EKRANLI ve EKRANLANMAMIŞ İLETKEN ÜZERİNDEKİ GÜRÜLTÜ GERİLİMİNİN FREKANSLA DEĞİŞİMİ



❖ **EMU da kullanılacak ekranlı kabloların kesim frekansları f_c bilinmelidir.**

✓ $f < f_c$ iken ekranlama etkili olmaz.

✓ $f > f_c$ durumunda etkin ekranlama sağlanır.

- Ekran üzerinden akım akmaya devam ettikçe, kesim frekansının yaklaşık 5 katı bir frekans değerinden büyük frekanslar için mükemmel ekran etkinliği sağlanır ve bu bölgede manyetik alana karşı etkili ekranlama elde edilir.

25.12.2008

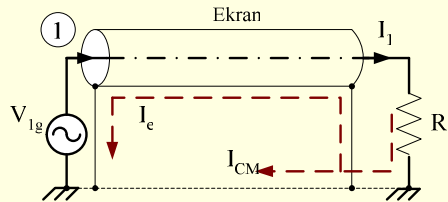
Yrd.Doç.Dr.Şükrü ÖZEN

73

KABLO EKRANLARININ TOPRAKLANMASI



- Ekranın tek noktadan topraklanması **elektrik alan** kuplejı için etkili olurken,
- Manyetik gürültü kuplejı üzerinde **çok az bir etkiye** sahiptir.
- Manyetik kuplejda ekran ve toprak dönüşündeki akımlar önemlidir.



✓ Toprak üzerinden akan akımlar ekran etkinliğini azaltacaktır (I_{CM}).

✓ Ekran kesim frekansısı üst bölgesinde ekran akımı merkez iletken akımına yaklaşıır.

✓ Etkin bir ekranlama elde edebilmek için dönüş akımının ekran üzerinden akmasının sağlanması gerekir.

25.12.2008

Yrd.Doç.Dr.Şükrü ÖZEN

74

KABLO EKРАНLARININ TOPRAKLANMASI



- Dönüş akımının tamamının ekran üzerinden akması sağlanır. Bu yöntem **düşük frekanslar** için etkin bir ekranlama sağlar.
- İki ucundan topraklı bir iletkeni manyetik alan girişiminden korumak için, **iletken ekranlanmalıdır ve ekran iki ucundan topraklanmalıdır.**
 - ❖ Bu, ($f > f_c$) ekran kesim frekansından büyük frekanslarda iyi manyetik alan ekranlaması sağlar.
- **Frekans $< 5f_c$** olduğu zaman; dönüş akımının çoğunluğu toprak düzlemi kullanacağından, kablunun **manyetik alan ekranlama etkinliği** azalacaktır.

25.12.2008

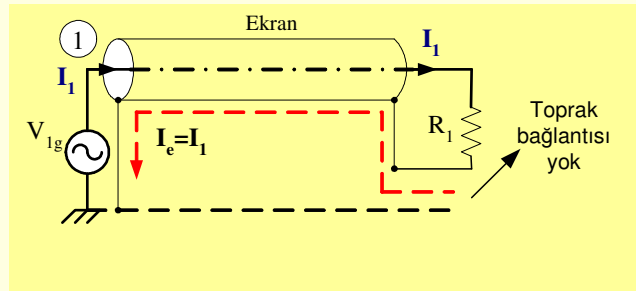
Yrd.Doç.Dr.Şükrü ÖZEN

75

KABLO EKРАНLARININ TOPRAKLANMASI



- Şekilde görüldüğü gibi kablo sonundaki toprak bağlantısı iptal edilirse; **dönüş akımının tamamı ekran üzerinden akar.**
 - ↳ Bu, genellikle **$f < f_c$** için uygun bir yöntemdir.
- Ekranın 2 ucundan topraklanması, toprak dönüş yolu üzerinden bir miktar akım akacağı için ekranlamayı azaltır.



25.12.2008

Yrd.Doç.Dr.Şükrü ÖZEN

76

KABLO EKSPANLARININ TOPRAKLANMASI



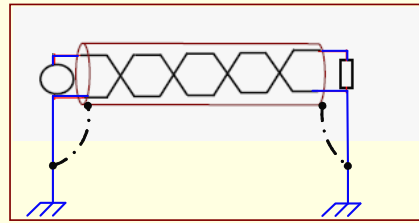
- ❖ Kablo ekranı iki ucundan topraklandığı zaman, oluşan toprak çevrimindeki gürültü akımları nedeniyle manyetik alana karşı sınırlı bir ekranlama sağlanır.
- ❖ Kablo ekranı sadece bir uca topraklanmış olsa bile, gürültü akımları ekrana olan kapasitif kuplaj yoluyla hala ekran üzerinden akabilir.
- ❖ Bu nedenle düşük frekanslarda çok iyi bir ekranlama elde edebilmek için, ekran sadece sinyal dönüş iletkeni olmamalı aynı zamanda bir ucu da mutlaka topraktan izole olmalıdır.

25.12.2008

Yrd.Doç.Dr.Şükrü ÖZEN

77

Ekranlanmış Burgulu Çift İletken



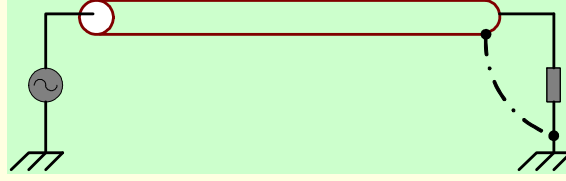
- Elektrik alan etkili biçimde ekranlanır
- Manyetik alan etkili biçimde zayıflatılır

25.12.2008

Yrd.Doç.Dr.Şükrü ÖZEN

78

Ekranı Yük Tarafından Topraklı Kablo



- Elektrik alan etkili biçimde ekranlanır
- Manyetik alan için ekranlama sağlamaz.

25.12.2008

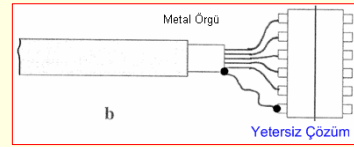
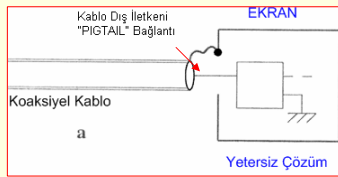
Yrd.Doç.Dr.Şükrü ÖZEN

79

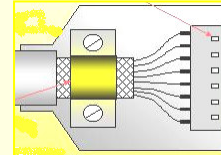
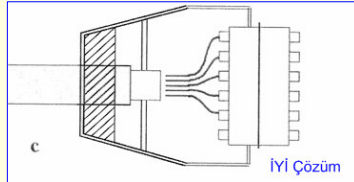
Ekran Konnektör Bağlantısı



- ✓ EMU uygulamalarında kablo konnektör bağlantıları da çok dikkatli yapılmalıdır.



Koaksiyel kablunun dış iletkeni ekrana bağlanmıştır. Bu kolay ve pratik bir çözümdür, ancak yüksek frekanslarda anten etkisi oluşarak EM ışıma meydana gelir.




360° derece bağlantı sağlayan ekranlı D-Tipi bağlantı konnektörü

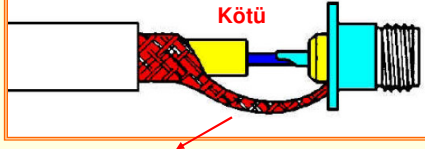
25.12.2008

Yrd.Doç.Dr.Şükrü ÖZEN

80

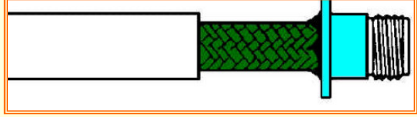
Ekran Konnektör Bağlantısı





Kötü

Yüksek frekanslarda bir anten gibi davranarak ışıma yapacaktır.




İyi

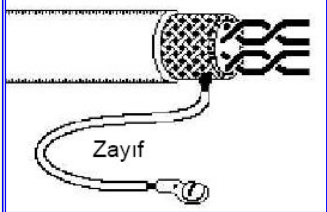
Uygun bir Ekran Sonlandırması için:

- ❖ 1-Toprak bağlantı empedansı çok küçük olmalıdır.
- ❖ 2-360° de çok net bir Ekran teması sağlanmalıdır.


25.12.2008
Yrd.Doç.Dr.Şükrü ÖZEN
81

Kablo Ekranlarının Toprak Bağlantı Örnekleri

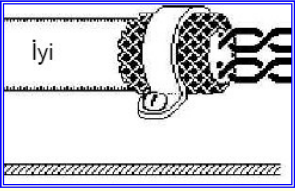




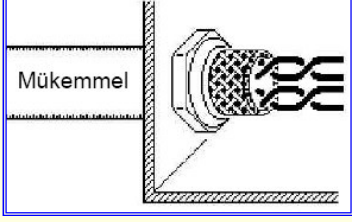
Zayıf



Fena değil



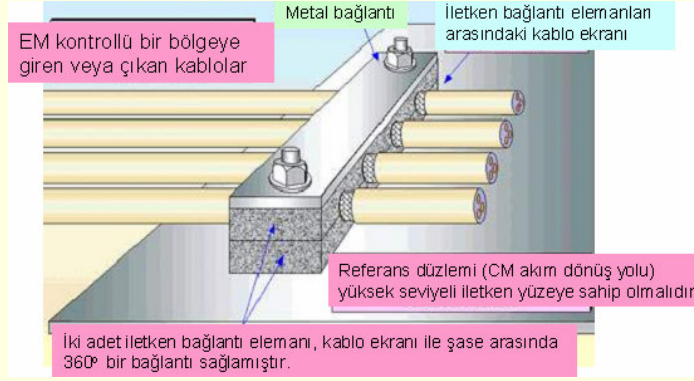
İyi



Mükemmel

25.12.2008
Yrd.Doç.Dr.Şükrü ÖZEN
82

Kablo Ekranlarının Toprak Bağlantı Örnekleri



25.12.2008

Yrd.Doç.Dr.Şükrü ÖZEN

83


Ekranlı Kablo Bağlantı Elemanları



25.12.2008

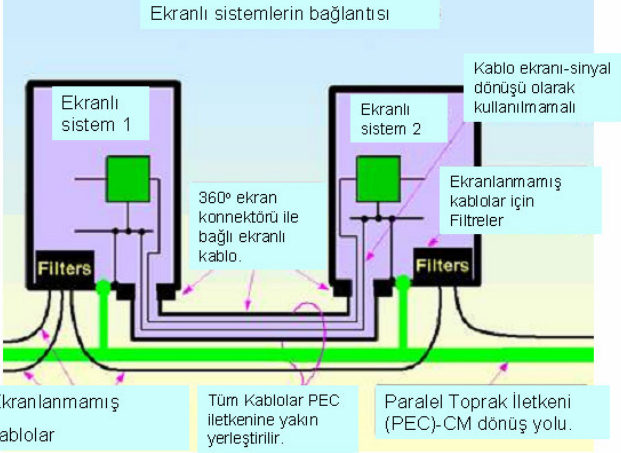
Yrd.Doç.Dr.Şükrü ÖZEN

84



Ekranlı Sistemler Arasında Kablo Bağlantıları

Ekranlı sistemlerin bağlantısı




Ekranlanmamış kablolar

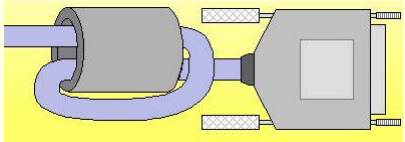
Tüm kablolar PEC iletkenine yakın yerleştirilir.

Paralel Toprak İletkeni (PEC)-CM dönüş yolu.

25.12.2008
Yrd.Doç.Dr.Şükrü ÖZEN
85



Ferrit Bilezik

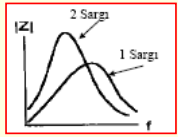


➤ İstenmeyen yüksek frekanslı işaretleri süzmek için ferrit bilezik içersinde işaret kabloları sargı şeklinde dolaştırılabilir.

➤ Sargı sayısı ferrit bileziğin empedans etkisini artırır ancak ferromanyetik rezonans frekansını düşürür.

➤ Pratikte, sargılar arası kaçak kapasitif etki oluştuğundan, ikiden fazla sarım kullanılmaz.

Yüksek frekanslarda saçılı kapasitesi minimuma çekmek ve zayıflamayı artırmak için Ferrit bilezikler (şok) kullanılır.



25.12.2008
Yrd.Doç.Dr.Şükrü ÖZEN
86

EMU Contaları



- Örgülü contalar
- Elastomer contalar
- Tekstil contalar
- Spiral yay contalar
- Karbon Katkılı
- Elastomer contalar

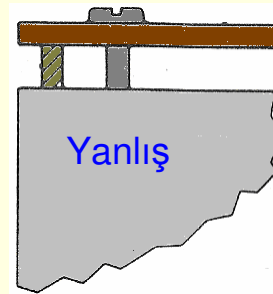
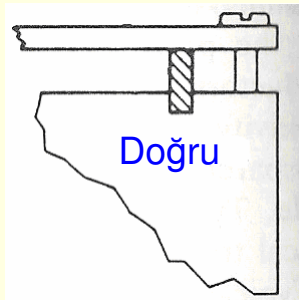


25.12.2008

Yrd.Doç.Dr.Şükrü ÖZEN

87

Ekranla EM Girişimin önlenmesi



Ekranlı kutularda doğru Conta bağlantıları

25.12.2008

Yrd.Doç.Dr.Şükrü ÖZEN

88

KABLO BAĞLANTILARI



- ❖ Kabloları birbirine, belli bir panele ya da yüzeye bağlarken sıkı temas çok önemlidir. Sıkı geçme yanında geniş şeritlerle topraklama sağlanması da önemlidir.
- ❖ Çevre yüzeylerin iyi teması açısından iletken katkı plastikler, contalar ya da yağlar kullanılır. İletken katkı plastikler ve contalar ucuz ve kolay monte edilebilir olmalarına karşın izolasyonu düşük ve ömürleri kısadır.
- ❖ Uygulamada plastik, örgülü, tekstil, karbon katkı conta tipleri kullanılır. Yağlar sıkı geçme sağladığından iyi izolasyon sağlarlar, kendi kendilerini aşınmaya karşı korurlar, ancak pahalı ve montajı zordur.

25.12.2008

Yrd.Doç.Dr.Şükrü ÖZEN

89

KABLO BAĞLANTILARI

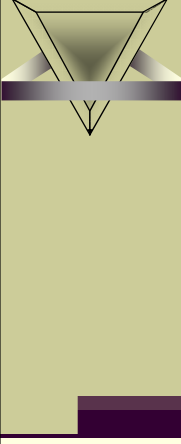


- ❖ Yüzey montajlarında iletkenlerin kontak yüzeyleri temiz olmalı ve tam temas sağlanmalıdır. Yüzeyler arasında yağ, toz ve pas gibi maddeler bulunmamalıdır.
- ❖ Yüzey montajlarında zamanla paslanma önemli bir EMU sorunu oluşturur. Paslanmanın iki temel nedeni şunlardır:
 - ❖ **Galvanik Etki:** Farklı türden iki metalin oluşturduğu kontak yüzeyindeki rutubetten kaynaklanır. Zamanla bir pil gibi yüzeyi aşındırır.
 - ❖ **Elektrolitik Etki:** Nem ve bağlantılar üzerinden akan akım bağlantı üzerinde elektrolitik etkiler oluşturur. Bu etki kullanılan metallere bağımsızdır.


25.12.2008

Yrd.Doç.Dr.Şükrü ÖZEN

90



TOPRAKLAMA




25.12.2008

Yrd.Doç.Dr.Şükrü ÖZEN

91

TOPRAKLAMA



- IEEE topraklama tanımını
- “Bir elektrik devresi yada cihazın, iletken bir ara bağlantı ile, istemli ya da istem dışı olarak, yeryüzü (toprak potansiyeline) yada toprak yerine geçebilecek büyüklükte referans olan bir yüzeye bağlanması”

↪ şeklinde vermiştir.

25.12.2008

Yrd.Doç.Dr.Şükrü ÖZEN

92

TOPRAKLAMA



- EMG problemlerinin azaltılmasında uygun yapılmış bir topraklama çok önemlidir.
- Özellikle EMG sinyallerinin topraklanmasında **frekans** faktörü belirleyici rol oynar.
- Bundan dolayı EMG sinyal topraklamaları, 50Hz DC ve AC hatlar için yapılan topraklamaya göre bazı farklılıklar içerir.

25.12.2008

Yrd.Doç.Dr.Şükrü ÖZEN

93

TOPRAKLAMA




- Tüm iletkenler belli bir Z empedansına sahiptirler. Empedans genellikle $Z=R+jX_L$ yapısındadır.
 - ↳ $X_L=2\pi fL \rightarrow f \uparrow \propto Z \uparrow$
- EMU da sinyal topraklaması yanında 50 Hz güç topraklaması çok daha az öneme sahiptir.
 - ↳ Güç toprağı üzerinde ölçülen gerilim değeri genellikle 100-200mV lar mertebesinde veya V mertebesindedir.
 - ↳ Güç topraklamasında tek noktadan topraklama güvenlik için gereklidir.

25.12.2008

Yrd.Doç.Dr.Şükrü ÖZEN


94



Pratikte toprak yerine geçebilecek yapılardan bazıları:

- • Çelik kafes binalar
- • Araç gövdesi (otomobil, uçak, gemi, uzay gemisi)
- • Su boruları
- • Toprak elektrotlu sistemler
- • Topraklama plakası ve kafesi vb.

25.12.2008
Yrd.Doç.Dr.Şükrü ÖZEN
95



TOPRAKLAMA

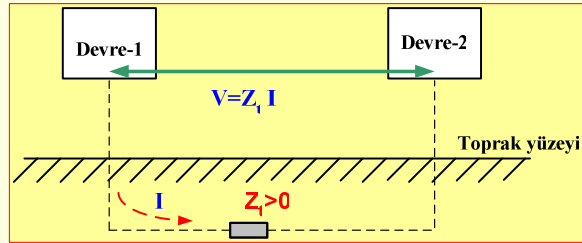
- Farklı birimlerin veya elemanların bağlantı yapılarına göre, farklı topraklama biçimleri mevcuttur.
- EMG açısından öne çıkan ve yaygın kullanılan Temel Yöntemler:
 - ↪ Tek-nokta topraklaması
 - ↪ Çok-nokta topraklaması
 - ↪ Hibrit Topraklama
- Bu topraklama yöntemlerinden hangisinin kullanılacağı topraklanacak sistemin çalışma frekans sınırları ile ilgilidir.
 - ↪ Sinyal frekansı **300kHz** e kadar olan analog devreler tek-nokta topraklaması için uygundur.
 - ↪ Buna karşın sinyal frekansı MHz lerde olan analog/dijital devreler için çok-nokta topraklaması tercih edilir.

25.12.2008
Yrd.Doç.Dr.Şükrü ÖZEN
96

Toprak Empedansı



- İyi bir EMU topraklaması, sinyal referans gerilimleri için sıfır empedans düzlem olarak düşünülebilir.
- Pratik uygulamalarda, iki toprak noktası arasındaki ortak empedans üzerindeki toprak akımına bağlı olarak, iletim yolu girişim meydana gelir.



Sıfır olmayan toprak empedansı nedeniyle ortak empedans girişimi

25.12.2008

Yrd.Doç.Dr.Şükrü ÖZEN

97

Tek-Nokta Topraklaması



- ❖ Her alt sistem referans toprağa ayrı ayrı bağlanır.
- ❖ Pratikte basit yapısı nedeniyle **Seri-Bağlı** sistem yapısı kullanılır.
- ❖ Küçük sistemler için oldukça kullanışlıdır.
- ❖ Farklı güç seviyeleri içeren büyük yapıli sistemlerde kullanılmamalıdır.
- ❖ Yüksek seviyeli devre yapıları daha büyük toprak akımına neden olur, bu diğer alt seviyeli devrelere zarar verebilir.

25.12.2008

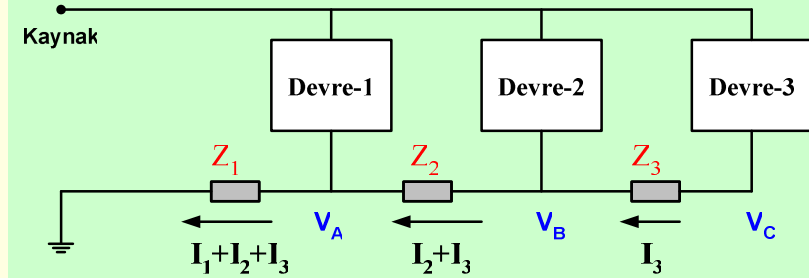
Yrd.Doç.Dr.Şükrü ÖZEN

98

Tek-Nokta Topraklaması ($f \ll$)



Seri Bağlı Sistem:



$$V_A < V_B < V_C$$

Farklı sistem noktaları arasında gerilim farklarına neden olabilir

25.12.2008

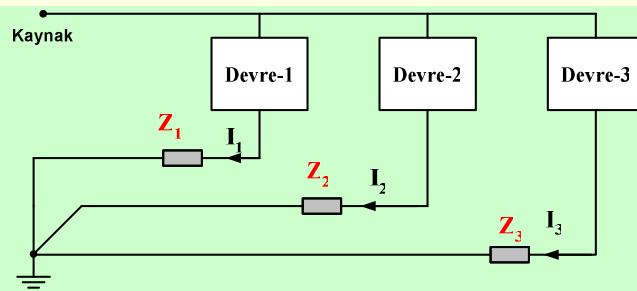
Yrd.Doç.Dr.Şükrü ÖZEN

99

Tek-Nokta Topraklaması ($f \ll$)



Paralel Bağlı Sistem:



- Paralel bağlı toprak sistemi $f \ll$ için çok tercih edilir.
- Tesis bakımından sağlıklı fakat kablo uzunluğu bakımından ekonomik değildir.

$f >$ için Z artar.

25.12.2008

Yrd.Doç.Dr.Şükrü ÖZEN

100

Tek-Nokta Topraklama Sisteminde:



- $f \uparrow \Rightarrow \uparrow XL=2\pi fL$ ve buna bağlı olarak toprak empedansı $Z \uparrow$ artar.
- Yüksek Frekanslarda iletken boyutu $\lambda/4$ ün tek katlarında bir uzunluğa erişirse;
 - Toprak iletken empedansı daha yüksek değerlere ulaşabilir.
- Bu durumda sadece Z artmayacak, aynı zamanda iletken **bir anten** gibi davranarak **IŞIMA** ya neden olacaktır.

25.12.2008

Yrd.Doç.Dr.Şükrü ÖZEN

101

Tek-Nokta Topraklama Sisteminde:

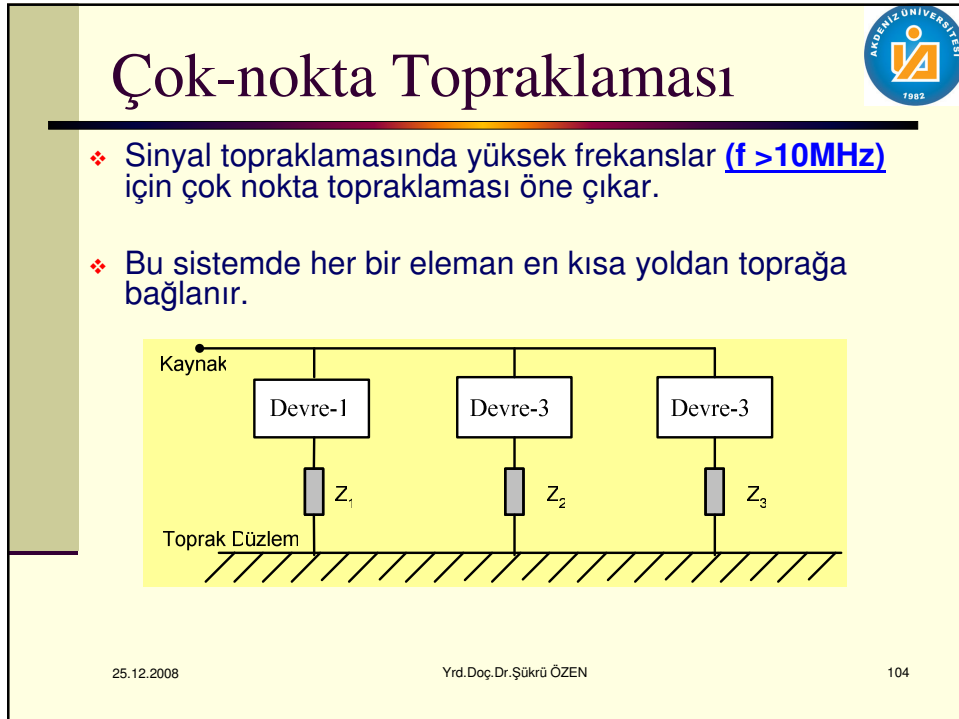
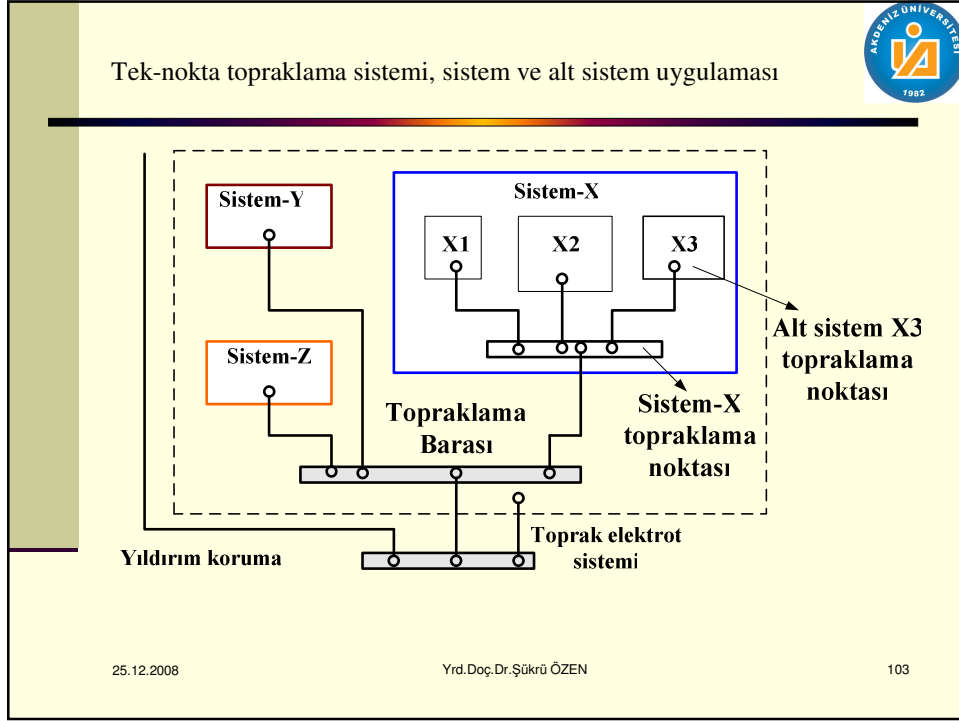


- Toprak iletkeni boyu L ,
 $\hookrightarrow L \leq \lambda/20$ olması gerekir.
- Böylece Toprak iletkeni **ANTEN** davranışı gösteremez.
- Toprak empedansı Z_T düşük tutulur.
- Yüksek Frekanslarda Tek-nokta topraklaması tercih edilmez.

25.12.2008

Yrd.Doç.Dr.Şükrü ÖZEN

102



Çok-nokta Topraklaması



- YF larda ve dijital devrelerde toprak empedansını minimuma indirmek için kullanılır.
- Yüksek frekanslarda iç sistemler arasında farklı notalarda farklı gerilimler oluşabilir.
- Bu potansiyel farklarını **sıfır toprak potansiyeline** getirebilmek için **çok noktadan yapılan topraklama** iyi sonuç verir.
- Çünkü her bir devre elemanı ortak toprak empedansı üzerinden akar.

25.12.2008

Yrd.Doç.Dr.Şükrü ÖZEN

105

Frekansa Göre Topraklama Tipi Seçimi

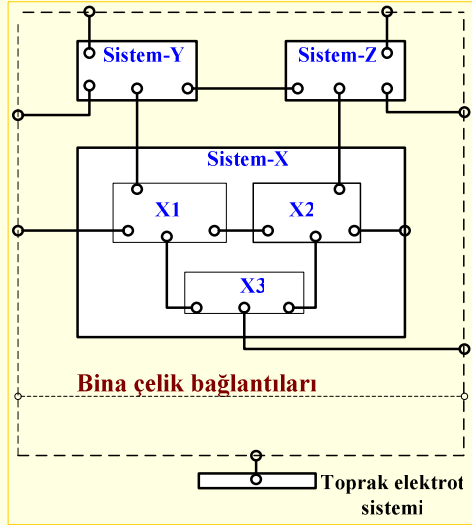


- **$f \leq 1 \text{ MHz}$** \Rightarrow Tek-Nokta Topraklaması
- **$f > 10 \text{ MHz}$** \Rightarrow Çok-Nokta Topraklaması
- **$1 \leq f < 10 \text{ MHz}$** \Rightarrow Aralığında Tek-Nokta Topraklaması kullanılabilir.
- Ancak; topraklama iletken boyutu **$L < \lambda/20$** olmalıdır.
- Şayet **$L > \lambda/20$** \Rightarrow Çok-Nokta Topraklaması uygulanabilir.

25.12.2008

Yrd.Doç.Dr.Şükrü ÖZEN

106

Sistem ve alt sistem içeren **çok-nokta** topraklama örneği

25.12.2008

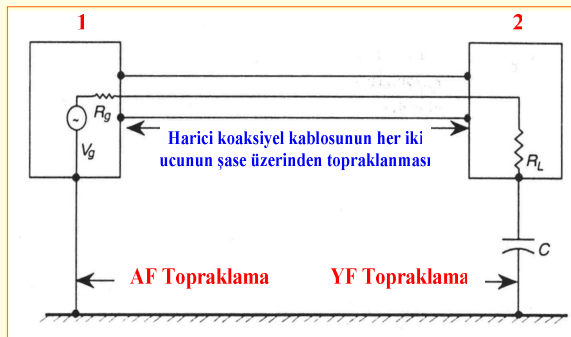
Yrd.Doç.Dr.Şükrü ÖZEN

107

Hibrit Topraklama



Farklı frekanslarda topraklama yapısı değişebilen toprak sistemidir.



➤ $f \ll$ için **Tek-nokta** topraklaması (C açık devre)

➤ $f \gg$ için **Çok-nokta** topraklaması (C Kısa devre)

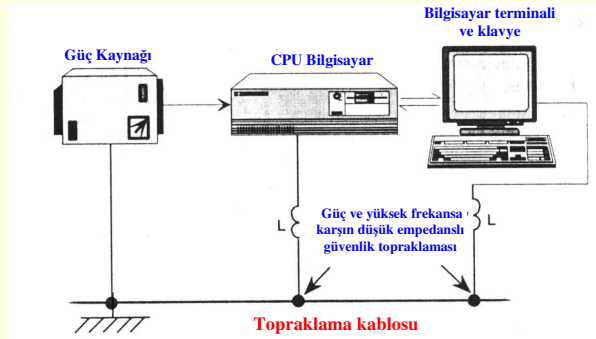
- Hibrit topraklama tasarımında, **toprak düşük frekanslarda tek nokta**, **yüksek frekanslarda çok noktali** toprak gibi işlev görür.

25.12.2008

Yrd.Doç.Dr.Şükrü ÖZEN

108

Hibrit Topraklama



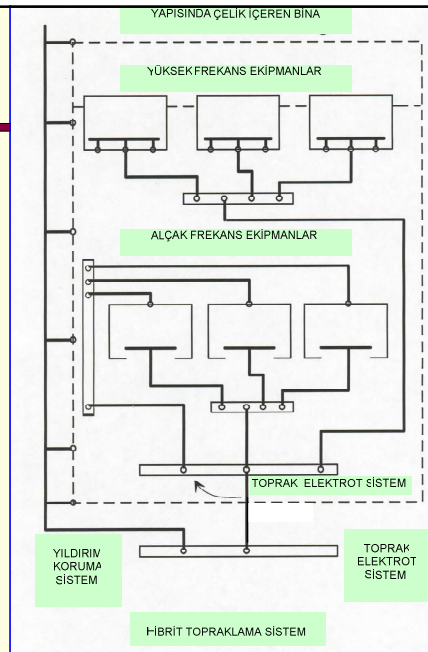
- $f \ll$ için Çok-nokta topraklaması olarak işlev görür (L kısa-devre)
- $f \gg$ için Tek-nokta topraklaması olarak işlev görür (L açık-devre)

25.12.2008

Yrd.Doç.Dr.Şükrü ÖZEN

109

Hibrit Topraklama



25.12.2008

Yrd.Doç.Dr.Şükrü ÖZEN

110

YÜK FREKANLARDA KABLO EKRANI TOPRAKLAMASI



- **$f < 1\text{MHz}$ için:**
- Ekran normal olarak tek-uçtan topraklanır
- Aksi halde büyük değerli 50Hz gürültü akımları ekran üzerinde dolaşabilir ve sinyal iletkenine girişim yapar.
- Tek uçtan yapılan topraklama, ekran-toprak çevrimini ortadan kaldırır ve manyetik girişimi yok eder

25.12.2008

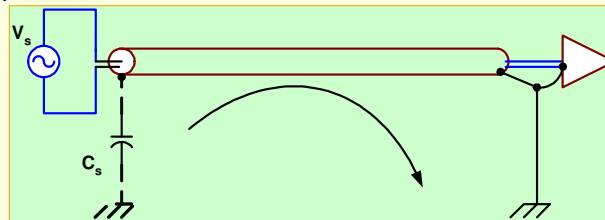
Yrd.Doç.Dr.Şükrü ÖZEN

111

YÜK FREKANLARDA KABLO EKRANI TOPRAKLAMASI



- **$f > 1\text{MHz}$ ise veya $L > \lambda/20$ ise:**
- Bu durumda kablo ekranı 1 den fazla noktadan topraklanmalıdır ki ekran potansiyeli toprak potansiyelinde kalsın.
- $f \gg$ olduğu zaman ekran ile toprak arasında oluşan saçılı kapasite problemi ortaya çıkar. Bu durumda ekran-toprak arasında kapalı çevrim oluşur.



Yüksek frekanslarda saçılı C_s ile oluşan ekran-toprak çevrimi

25.12.2008

Yrd.Doç.Dr.Şükrü ÖZEN

112

YÜK FREKANLARDA KABLO EKRANI TOPRAKLAMASI



- $f > 1\text{MHz}$ de “skin effect” kuplaj etkisin azaltır.
- Gürültü akımları ekran yüzeyinden akmaya başlar.
- Sinyal ekranın iç yüzeyinden akmaya devam eder.
- Çoklu noktadan topraklama; koaksiyel kablo kullanılması durumunda yüksek frekanslarda manyetik alana karşı ekranlama etkinliğini artırır.

25.12.2008

Yrd.Doç.Dr.Şükrü ÖZEN

113

YÜK FREKANLARDA KABLO EKRANI TOPRAKLAMASI



- Şekilde görüldüğü gibi, C_s saçılı kapasite eşdeğeri yerine gerçek değerli bir kapasite bağlanırsa Hibrit Topraklama sağlanmış olur.
- Bu yapı düşük frekanslarda tek-nokta topraklama sı olacaktır.
- Yüksek frekanslarda C_s kısa devre olur ve sistem çok-nokta topraklamaya dönüşür.
- Bu konfigürasyon sistemin geniş bir frekans aralığında çalışmasını sağlar

25.12.2008

Yrd.Doç.Dr.Şükrü ÖZEN

114

ÖZET



- Alçak frekanslarda Tek-nokta topraklaması kullanılmalıdır.
 - YF da ve dijital devre topraklamalarında Çok-nokta topraklama sistemi kullanılabilir.
 - 2 yada daha fazla noktada toprağa bağlı hatlarda, bağlantı noktaları arasında ortak mod için gerilim düşümü oluşabilir.
 - Topraklama hattının en uzun boyutu, en yüksek frekanstaki en küçük dalga boyu ile kıyaslanır.
- ↪ Pratikte; **Topraklama Boyu $\lambda/10$** kuralı yeterli bir yaklaşım sağlar.

25.12.2008

Yrd.Doç.Dr.Şükrü ÖZEN

115

ÖZET



- YF da, sinyal kabloları etrafındaki ekranlar, genellikle bir noktadan daha fazla noktada topraklanmalıdır.
- Düşük frekanslı sistem en az üç ayrı toprak dönüşüne sahip olmalıdır.
 - Sinyal toprağı
 - Gürültü Toprağı
 - Donanım toprağı
- Sinyal devresi 2 ucundan topraklanmış ise, oluşan toprak çevrimindeki
 - Manyetik alanlar
 - Toprak Fark gerilimlerinin neden olduğu gürültülere hassas hale gelir.
- Toprak çevrimlerini yok etme yöntemleri:
 - ↪ İzolasyon trafosu
 - ↪ CM Şok Bobini
 - ↪ Optik kuplör
 - ↪ Diferansiyel Amplifikatörler

25.12.2008


Yrd.Doç.Dr.Şükrü ÖZEN

116



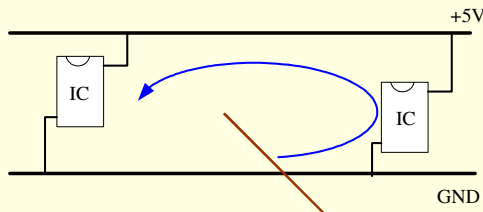
BASKI DEVRELERDE (PCB) PRATİK EMG KONTROL YÖNTEMLERİ

25.12.2008
Yrd.Doç.Dr.Şükrü ÖZEN
117




PCB tasarımında özellikle ESD etkisine karşı temel önlemler

- Basit PCB devresi için sinyal ve toprak hattı arasında oluşan kapalı çevrim örneği:



- Sinyal-toprak hattı arasındaki **ÇEVİRİM ALANININ** küçültülmesi gerekir.
- Bunun için Sinyal ve Toprak iletkenleri birbirlerine yakın yerleştirilmelidir.



25.12.2008
Yrd.Doç.Dr.Şükrü ÖZEN
118

AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
1982

➤ Sinyal ve Toprak iletkenleri birbirlerine yakın yerleştirilmelidir.

25.12.2008 Yrd.Doç.Dr.Şükrü ÖZEN 119

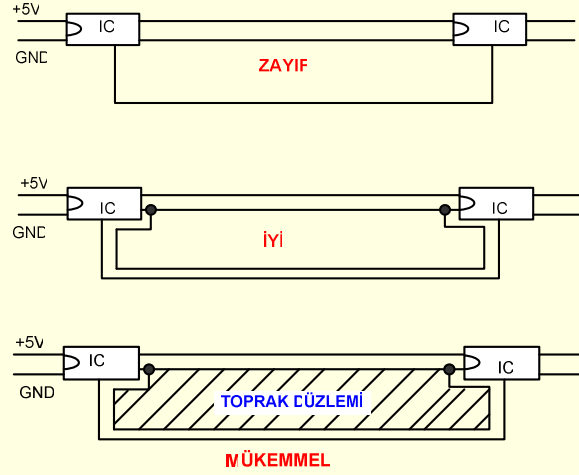
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
1982

➤ Paralel iletken yollar azaltılmalıdır.

Dairesel (Loop) anten olarak işlev görürler.

25.12.2008 Yrd.Doç.Dr.Şükrü ÖZEN 120

➤ Sinyal yolları toprağa yakın olmalıdır.

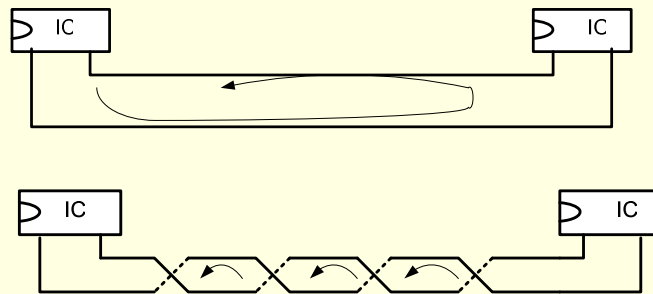


25.12.2008

Yrd.Doç.Dr.Şükrü ÖZEN

121

➤ Özellikle hassas elemanlarda, uzun sinyal ve güç hatları için belli aralıklarla iletkenlerin toprak hattı ile yerleri değiştirilebilir (transpose).



Böylece çok küçük alana sahip kapalı çevrimlerin oluşması sağlanır.

25.12.2008

Yrd.Doç.Dr.Şükrü ÖZEN

122

➤Mümkünse Sinyal Beslemelerinin PCB Köşeleri Yerine Merkezden Yapılması

25.12.2008 Yrd.Doç.Dr.Şükrü ÖZEN 123

ÖZET

- Sistemde endüktans etkisi azaltılmalıdır. Bunun için L ya da akımın değişim hızı (di/dt) minimuma çekilmelidir.
- Endüktansın azaltılmasında devre yerleşimi en önemli faktördür.
- Çevrim kapatan devre yollarının alanları olabildiğinde küçültülmelidir.
- Eleman bacakları kısa tutulmalıdır.
- İşaretin gidiş ve dönüş yolları birbirine yakın tutulmalıdır.
- Mümkün ise burgulu (*twisted pair*) hatlar kullanılmalıdır.
- Ana işaret hatları referansın yakınında olmalıdır.
- Yüzey montajlı elemanların kullanımı tercih edilmelidir.

25.12.2008 Yrd.Doç.Dr.Şükrü ÖZEN 124

TEŞEKKÜRLER



Yrd.Doç. Dr. Şükrü ÖZEN

sukruozen@akdeniz.edu.tr ,Tel:0 242 3106302 veya 3106786

Akdeniz Üniversitesi

Mühendislik Fakültesi

Elektrik-Elektronik Müh. Bölümü,07200 Antalya

**Akdeniz Üniversitesi Endüstriyel ve Medikal Uygulamalar
Mikrodalga Araştırma Merkezi
(EMUMAM)**

***EMC ve Biyoelektromanyetik
Araştırma Grubu***

25.12.2008

Yrd.Doç.Dr.Şükrü ÖZEN

125

Kaynaklar

- Şükrü Özen, Niyazi Arı, Elektromanyetik Uyumluluk, Palme Yayınevi 2008
- Leven Sevgi, Tasarımdan Üretime Elektromanyetik Uyumluluk, Eksen Yayıncılık,2006
- IEEE, IEE, URSI yayınları
- C.R. Paul, Introduction to Electromagnetic Compatibility, John Wiley Interscience, NY, 1992.
- David Morgan, IEE A Handbook for EMC testing and Measurement, Peter Peregrinus Ltd., 1996
- Don White, The EMC, Telecom and Computer Encyclopedia Handbook, emfemi control inc. Viginia, USA
- Marshman Ch. Guide to the EMC DIRECTIVE 89/336/EEC 1995
- ICNIRP, International Non-Ionizing Radiation Committee of the IRPA
- Guidelines on limits of Exposure to Radio Frequency EM Fields in the Frequency
- Mardiguan M. Electrostatic Discharge, Inc. Gainesville 1986
- Sten Benda, *Interference-free electronics, Design and applications*, Studentlitteratu, Sweden, 1991
- Jasper J. Goedbloed, *Electromagnetic Compatibility*, Prentice Hall, 1990
- Michel Mardiguan, *Controlling Radiated Emissions by Design*, Second Edition, Kluwer Academic Publisher, 2001
- V.Prasad Kodali, *Engineering Electromagnetic Compatibility*, IEEE Pres, 1996
- Rocco F. Ficchi, *Practical Design for Electromagnetic Compatibility*, Hayden Book Company, INC, 1971
- Henry W. Ott, *Noise Reduction Techniques in Electronic Systems*, 2nd Edition, John Wiley & Sons, 1988

25.12.2008

Yrd.Doç.Dr.Şükrü ÖZEN

126