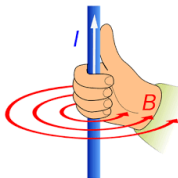


Elektromanyetik Uyumluluk (EMC) ve PCB Uygulamaları

FATİH SERDAR SAYIN

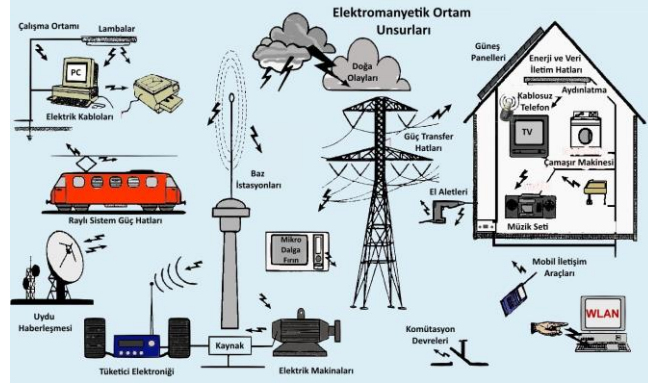
Elektromanyetik Dalga Nedir?

- ❖ Elektromanyetik dalga bir yükün ivmeli hareketi sonucunda ortaya çıkan dalgadır. Bir iletken üzerinde akmaya zorlanan elektrik yükünün farklı iletken kesimlerinden veya komponentler üzerinden geçerken ortama yaydığı sinyaldir. Temelde içerisinde akım akmakta olan bir iletken tel etrafında telin elektriksel alanına dik bir manyetik alan oluşur. Tel içerisinde akmakta olan akımın zaman bağılı olarak değiştiği takdirde iletken elektromanyetik ışımaya başlamaya başlar. (Maxwell ve Hertz'in çalışmaları)



Elektromanyetik Ortam Nedir?

- ❖ Elektromanyetik ortam , dalga yayabilme özelliği olan farklı türde cihazların oluşturduğu çevredir.
- ❖ Elektromanyetik bir ortamın etkinliği belirleyen iki temel unsur dalgaların frekansı ve genliğidir.



EMI Nedir ?

- ❖ EMI (Elektromagnetic Interference, **Elektromanyetik Girişim**)

Elektromanyetik girişim, çeşitli kaynaklar (**RF ve Mikrodalga vericileri, Anahtarlamalı Güç Kaynakları(SMPS), Yüksek akımlı ve Yüksek Gerilimli Sürücü Sistemleri, Elektrik Ark Kaynağı Makineleri, ESD, Yıldırımlar vb.**) tarafından oluşturulan elektromanyetik gürültü sinyallerinin, elektronik bileşenlere sahip cihazlara (**Biyomedikal Cihazlar, Tüketici Elektroniği Ürünleri vb.**) farklı seviyelerde (**Kablo, Konektör, PCB vb.**) nüfus ederek sistem çalışmasını olumsuz yönde etkilemesidir.

Sürekli ve Süreksiz Gürültü Kaynakları

❖ **Sürekli gürültü kaynakları**, kesintisiz veya periyodik olarak elektromanyetik kirlilik yayan sistem ve cihazlardır. Bu tip cihazlara örnek olarak aşağıdaki sistemler gösterilebilir.

- i. 50 / 60 Hz Güç Kaynağı
- ii. SMPS Güç Kaynağı
- iii. RF Vericiler
- iv. Elektrik Motorları (Asenkron, BLDC)



❖ **Süreksiz gürültü kaynakları** ise ne zaman ve ne oranda etki oluşturacağı belirlenemeyen elektromanyetik gürültü kaynaklarıdır. Bu tip kaynaklara ilişkin örnekler aşağıda verilmiştir.

- i. Yıldırımlar
- ii. ESD (Electrostatic Discharge) Elektrostatik Boşalma
- iii. Ark Kaynak Makineleri



ESD (Electrostatic Discharge)

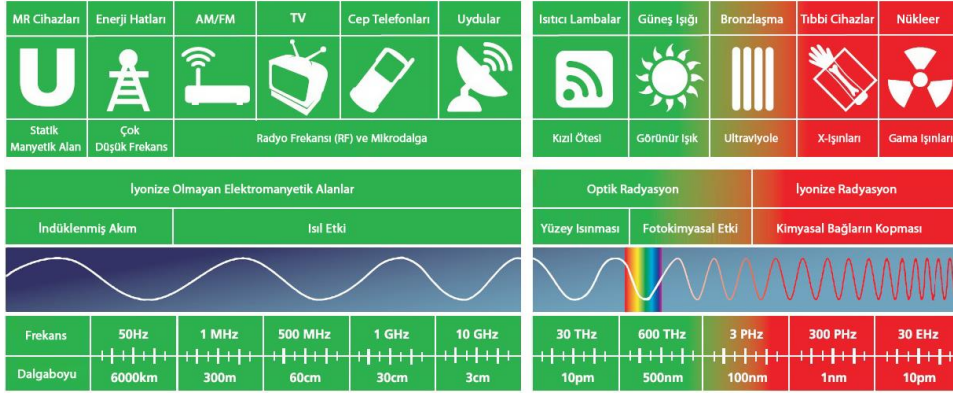
❖ Bir insan veya nesne üzerinde birikmiş olan statik yüklerin topraklı bir yüzeye karşılaşmasıyla meydana gelen geçici süreli yük boşalmasıdır.

❖ Elektrostatik boşalma, nano saniyelik zaman diliminde yüksek gerilimlere ulaşabilen onlarca amperlik akımların akabildiği durumlardır. 300 MHz civarında bant genişliğine sahip bozucu sinyaller oluşturabilmektedir.

❖ EMC uygulama sahasında mühendisleri endişeye sevk eden süreksiz girişim kaynaklarından biridir. Ne zaman ve hangi şiddette baş göstereceği belli olmayan kirlilik unsurlarıdır.

❖ Düşük enerjili olsalar bile barındırdıkları farklı frekans ve genlikteki sinyaller yoluyla elektronik sistemlerin içindeki parazitik kapasitans ve indüktanslarla kolaylıkla eşleşebilirler. Bu eşleşmeler ön görülmesi mümkün olmayan arızalara sebebiyet verebilir.

Elektromanyetik Spektrum



Kaynak Cihaz ve Mağdur Cihaz Nedir ?

- ❖ Girişime sebep olan elektromanyetik dalgaları üreten her cihaz kaynak cihaz olarak ifade edilmektedir.
- ❖ Kaynak tarafından yayılan ışımaya maruz kalan ve bundan etkilenen cihazlar ise mağdur cihazlar olarak tanımlanmaktadır.
- ❖ Elektronik bir cihaz çalışma ortamındaki diğer cihazlardan etkilenebildiği gibi aynı zamanda onlar üzerinde de girişime sebebiyet verebilir. Yani hem kaynak hem mağdur rolünü oynayabilir.

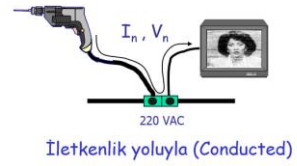
Elektromanyetik Kuplaj Nedir?

❖ EMC literatüründe **kuplaj** kavramı, elektromanyetik girişimlerin elektronik sistemlere ulaşabilmek adına kullandığı yolları tanımlamaktadır.

❖ Temelde iki farklı kuplaj mekanizması bulunmaktadır.

1. **Uzaysal Işıma (Radiated)**

2. **Elektriksel İletim (Conducted)**



EMI Arayüzleri

❖ Elektronik bir cihazın girişime maruz kaldığı noktalar dört grupta toplanmaktadır.

➤ **RE (Radiated Emission)**

Işıma Yoluyla Emisyon

➤ **RS (Radiated Susceptibility)**

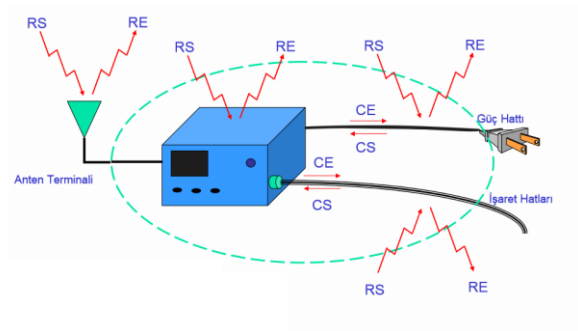
Işıma Yoluyla Bağışıklık

➤ **CE (Conducted Emission)**

İletim Yoluyla Emisyon

➤ **CS (Conducted Susceptibility)**

İletim Yoluyla Bağışıklık



EMC Nedir ?

❖ EMC (Electromagnetic Compatibility, **Elektromanyetik Uyumluluk**)

Elektromanyetik uyumluluk kavramı, elektronik sistemlerin çalışmasını negatif yönde etkileyebilecek bozucu girişimlere karşı olan bağışıklık düzeyini ve çalışma sahasında bulunan diğer cihazların fonksiyonelliğini ne oranda etkilediğini ifade etmek için kullanılmaktadır.

Günümüzde EMC uygulamaları, farklı teknik özelliklere sahip elektronik cihazların bir arada düzgün çalışabilmesini garanti edebilmek adına standartlar tarafından belirlenen sınır değerlere göre düzenlenir.



EMC Standartları ve Uygulamaları

- ❖ Teknik özellikleri farklı cihazların birbirleri ile etkileşime girmeden sağlıklı biçimde çalışabilmesini sağlamak üzere alınan önlemler ve yapılan testleri kapsayan elektromanyetik uyumluluk süreçleri, farklı endüstri kollarında ortak EMI sınırlamalarını koruyabilmek için standartlara tabi hale getirilmiştir.
- ❖ Elektromanyetik girişime ilişkin sınırlandırmalar cihazların etkileşim içinde olduğu varlık veya sistemler göz önüne alınarak belirlenir. Örneğin kalp pili gibi bireylerin hayati fonksiyonlarını etkileyen medikal ürünlerin EMC düzenlemeleri ve hata tolerans bantları bir tüketici elektroniği olan cep telefonlarından oldukça farklıdır.

Standart İncelemesi 60601 - 1 - 1, 60601 - 1 - 2

❖ EMC regülasyonlarına ilişkin örnek olarak verilebilecek standartlar biyomedikal cihazlar elektriksel güvenlik standardı olarak isimlendirilen 60601 serisi standartlardır.

❖ **60601 - 1 - 2** Biyomedikal cihaz EMC düzenlemelerini,

* Burst, RS, CS, RE, CE Testleri

❖ **60601 - 1 - 1** Biyomedikal cihaz LVD Düzenlemelerini içermektedir.

* Kaçak Akım Testi

* Topraklama Direnci Testi

* İzolasyon Direnci Testi

* Yüksek Voltaj Testi



EMC Uygulama Seviyeleri

1. Ekranlama
2. Topraklama
3. Kablolama
4. Filtreleme
5. Koruma
6. İzolasyon
7. Baskı Devre

PCB Üzerinde EMI ve ESD Önleyici Yaklaşımlar

1. PCB tasarımına başlamadan önce sistemin barındırdığı farklı devre topolojilerinin belirlenmesi ve baskı devre üzerinde nasıl konumlandırılması gerektiği düşünülmelidir. Bu işleme **Bölüntüleme (Partitioning)** adı verilmektedir.

□ Devre şeması içerisinde;

- Analog devre grupları (Opamplar, Komparatörler),
- Dijital Devre Grupları (Saat Darbesi üreteçleri(Clock Pulse, PLL), I2C, SPI, UART, CAN hatları),
- Sürücü Devreleri (Mosfet, IGBT vb. sürücü entegreleri, Snubber devreleri),
- İzolasyon Devreleri (Optik Çiftler, İzolasyon Trafoları),
- Güç Elektroniği Devreleri (AC-DC veya DC – DC Buck, Boost, Buck – Boost Çeviriciler vb.),

Sistemin fiziksel şartları göz önünde bulundurularak karşılıklı gürültü kaynakları gibi davranmayacakları noktalara yerleştirilmelidir.

PCB Üzerinde EMI ve ESD Önleyici Yaklaşımlar

1. Baskı devre üzerindeki veri güç iletim yolları elektron akışına en az miktarda direnç gösterecek şekilde çizilmelidir. Hatların dönüş yaptığı noktalarda geniş açılı kıvrımlar tercih edilmelidir. Bu şekilde elektron akışının dar kesimlerden geçişi esnasında ortaya çıkan ısının farklı tipte metallerin bulunduğu PCB üzerinde Termoelektrik bir etkinlik göstermesinin önüne geçilmiş olur. (Seebeck Etkisi)
2. Yüksek akım taşımakta olan PCB hatları mümkün olduğunca geniş tutulmalıdır. Dar kesitli bir iletken geniş kesitli bir iletkene kıyasla akıma karşı daha yüksek direnç gösterir. Dolayısıyla üzerinde çokça ısı enerji ortaya çıkar.
3. Veri ileti gerçekleştiren devre yollarının empedansı mümkün olduğunca eşitlenmelidir. Bunun için yılan kavi PCB izleri tercih edilebilir. Veri iletim hatlarının empedans eşitlendiği takdirde hatlar üzerinde oluşan elektromanyetik alanlar eşit şiddet oluşacak ve aralarında çapraz iletim (Cross Talk) sorunlarının meydana gelme olasılığı azalacaktır.

PCB Üzerinde EMI ve ESD Önleyici Yaklaşımlar

1. Aralarında belirli bir mesafe olan ve içerisinde akım akmakta olan iki devre yolu kapasitör davranışı sergileyerek devre üzerinde kontrolsüz elektrik alanlarının oluşmasına veya komponentlere gerilim enjeksiyonuna sebebiyet verebilir. Bu tarz durumlar kapasitif kuplaj olarak adlandırılır ve ortaya çıkan bu elemanlara parazitik kapasitans adı verilmektedir.
2. İçerisinde farklı frekanslarda alternatif akım akmakta olan bir tel bobin davranışı sergileyebilmektedir. Sinyalin dalga boyunun $1/20$ 'sinden uzun her yol anten davranışı sergileyebilir ve çevresinde bileşenlere gerilim indükleyebilir. Bu yolla oluşan girişimler indüktif kuplaj olarak isimlendirilir. Anten davranışı sergileyen bu yollara ise parazitik indüktanslar denmektedir.
3. İndüktif ve kapasitif kuplaj mekanizmalarını en aza indirebilmek için PCB'nin ön tasarım aşamasına yeterli zaman ayrılmalıdır.

PCB Üzerinde EMI ve ESD Önleyici Yaklaşımlar

1. Devresini tamamlamak üzere toprağa akmakta olan sinyalin yolculuğunu en kısa mesafede sonlandırmak önemlidir. Güç veya veri sinyalleri taşıyan hatların PCB etrafında çevrelediği bölgelerde akım döngüleri ve manyetik alanlar meydana gelir.
2. Akım döngülerini minimuma indirmek adına baskı devre tasarımında **Toprak Düzlemleri** (Ground Planes) kullanılmaktadır. PCB üzerinde uygun boşluklar yekpare bakır yüzeyler doldurulur. Devre elemanlarının toprak hattı bağlantıları da bu düzlemlere en yakın noktalara yerleştirilir.
3. Devre tasarımı içerisinde yüksek frekanslı yayın yapan devrelerin bulunduğu kısımlar PCB uygulamalarına özel olarak tasarlanmış **Faraday kafesleri** vasıtasıyla devre içi girişimlere engel olacak şekilde kullanılabilir.

PCB Üzerinde EMI ve ESD Önleyici Yaklaşımlar

1. PCB seviyesinde elektromanyetik girişimin engellenmesinde, kullanılan komponentlerin kılıf tipleri de etkili olmaktadır.
 - ❑ Örneğin SMD tipte yüzey montajlı komponentlerin yüzeye sayesinde yakınlığı elektromanyetik girişimlerin toprak hattı düzlemine aktarılması kolaylaşmaktadır.
 - ❑ SMD devre elemanlarının büyük çoğunluğu seramik içerdiğinden iyi EMI izolasyonu sağlar.
 - ❑ Parazitik kapasitans ve Endüktans miktarları düşüktür.
 - ❑ Çeşitli avantajları olmakla beraber SMD komponentlerin büyük çoğunluğu yüksek güç uygulamalarında kullanılamamaktadır.

PCB Üzerinde EMI ve ESD Önleyici Yaklaşımlar

- Analog ve Dijital toprak hatlarının birbirinden ayrılması,
- Isı transferi ve Seebeck etkisi(özellikle montaj kısmında), Thermal Relief'lerin kullanımı
- Reset Supervisor'lar
- PTC Fuse
- ESD ve TVS Diyotlar , Buffer IC, EMI Power Switch
- Ferrit Nüveler(PCB ve Kablo Tipi)
- Topraklama
- Besleme kaynağına ilişkin gürültüler ve Bypass Kondansatörleri
- Test Point'ler
- Optik izolasyon

EMI Ölçümleri ve Ekipmanları

- ❖ Cihazların EMI seviyelerinin ölçülmesi ve EMC standartlarınca belirlenmiş sınır değerlere olan uygunluğunun test edilebilmesi için özelleşmiş test ortamları ve laboratuvar cihazları kullanılmaktadır.
- ❖ Yüksek maliyetli bu cihazlar EMC alanında test ve raporlama yeterliliği ilgili kurumlarca akredite edilmiş test firmalarının bünyesinde bulunmaktadır.
- ❖ Bununla beraber her üretici veya tasarımcı tasarladığı sistemin EMI yayılım seviyesi hakkında bilgi edinebilmek adına uygun maliyetli test ekipmanlarını geliştirebilir ve satın alabilir. Bu ekipmanların nasıl üretileceğine ilişkin EMC literatüründe çeşitli kaynaklar bulunmaktadır.
- ❖ Bu ekipmanlardan bazıları RF tespit problemleri, manyetik ve elektrik alan problemleri, spektrum analizörleri ve osiloskoplardır.



Kaynakça

- ❑ **EMC/EMI Gürültü Azaltma ve Korunma, Ekranlama, Topraklama ve PCB Tasarımı**, Çeviri : Çiğdem Özşar, Aydın Bodur, TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası Yayınları , 1. Basım, 2008, Ankara
- ❑ **Electromagnetic Compatibility Engineering**, Henry W. Ott, John Wiley & Sons, 2009, New Jersey
- ❑ **Testing For EMC Compliance - Approaches and Techniques**, Mark I. Montrose, Edward M. Nakauchi, IEEE, 2004
- ❑ **EMI/EMC Elektromanyetik Girişim ve Uyumluluk**, Fatih Üstüner, TÜBİTAK UME Sunum, 2011

Teşekkür

Sunum sona ermiştir.
Dinlediğiniz için Teşekkürler ederim.

