

## 1. Genel Tanım

Tüm elektrikli, elektronik ve elektromekanik cihazlar enerjilendirildiğinde çevreye değişken genliklerde ve dalga boylarında elektromanyetik sinyal yayarlar.

**EMI (Elektromanyetik Girişim):** Bir cihazın veya sistemin yaydığı, başka cihazlarda parazit etkisi oluşturan elektromanyetik sinyal emisyonudur. Aynı zamanda RFI (Radyo Frekans Girişimi) olarak da isimlendirilmiştir.

**EMC (Elektromanyetik Uyumluluk):** Bir cihaz veya sistemin elektromanyetik ortamında (EME) diğer cihazların elektromanyetik girişiminden (EMI) etkilenmeden çalışabilmesi ve bu ortamda tolere edilemeyecek seviyelerde EMI oluşturmamasıdır.

Kısaca, tasarlanacak olan cihaz ve sistemlerin EMC sınırlarının dışına çıkmaması hem üretilen cihazın hem ortamda bulunan diğer cihazların uzun ömürlü ve sağlıklı çalışabilmesi için önem arz etmektedir.

## 2. Elektromanyetik Alan

Bir cihazın veya sistemin elektromanyetik girişimini ve girişime karşı olan duyarlılığını kabul edilebilir seviyelere düşürebilmenin pek çok yöntemi vardır. Bu yöntemleri maddeler halinde yazmadan önce bu etkilere sebep olan bazı temel konuları ele alalım.

Elektromanyetik alan, elektromanyetik girişimin temelini oluşturmaktadır. Maxwell yasasına göre  $(\nabla \times B = \mu_0 J - \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial E}{\partial t})$  zaman içerisinde değişen elektrik alanı bir manyetik alana sebep olur. Bu nedenle elektrik ve manyetik alanlardan ayrı ayrı bahsetmek yerine çoğu zaman bu ikisi "elektromanyetik alan" olarak birlikte tanımlanır. Yani, elektromanyetik alanı, elektrik ve manyetik alanların kombinasyonu olarak düşünebiliriz. Kısaca bazı bilgileri hatırlamamız gerekirse;

**Elektrik Alan:** Bir cihaz veya sistem enerjilendirildiğinde, cihazı çevreleyen ortamda elektrik alanları oluşturur. Akım oluşmuyor olsa bile elektrik yüklerini kutuplamasından kaynaklı olarak ortam ve diğer cihazlar ile arasında bir potansiyel fark oluşturacağından elektrik alanları meydana gelecektir.

**Manyetik Alan:** İletkenler üzerinden akan akımın genlik ve frekans değeri yükseldikçe EMI değeri yükselir ve EMC sınırları içerisinde kalmak o kadar zorlaşır.

Neredeyse tüm PCB seviyesindeki EMI'den korunma yöntemleri bu iki alan çeşidini etkileyen faktörleri baz alarak oluşturulmuştur. Örneğin, temel olarak bu iki alan çeşidinin şiddeti de kaynaklar arası mesafe ile ters orantılıdır. Dolayısıyla buradan yapacağımız "PCB tasarımımızda yüksek potansiyel fark oluşturacak devre yollarının arasına veya akım genliği yüksek olan anahtarlamalı devre yollarının yakınına düşük genlikli hassas iletim yolları yerleştirilmemelidir" çıkarımı doğru olacaktır. (bk. [Şekil 4](#)). Veya sivri köşeler sızıntı alanların ve akıların oluşmasına sebep olduğundan "PCB iletim yolunun kendisinden daha az etkilenmesi, çevre iletim yollarına olan duyarlılığının artmaması ve ortamda daha az EMI oluşturmaları için PCB iletim yolunun üzerinde bulunan sivri köşelerin yuvarlatılması gerekmektedir" çıkarımı da doğru olacaktır. (bk. [Şekil 3](#))

### 3. EMC Yeterliliklerinin Önemi

Elektromanyetik Uyumluluk (EMC) sinyal olarak yayılan veya bir şekilde iletilen elektromanyetik parazitin (EMI) kontrol edilmesidir. Yetersiz bir EMC, PCB'nin yeniden tasarlanmasını gerektiren ana nedenlerinden biridir. Her PCB tasarımının ilk denemelerinin tahmini %50'si bir nedenden dolayı başarısız olur, çünkü istenmeyen EMI yayılır ve/veya buna duyarlıdır.

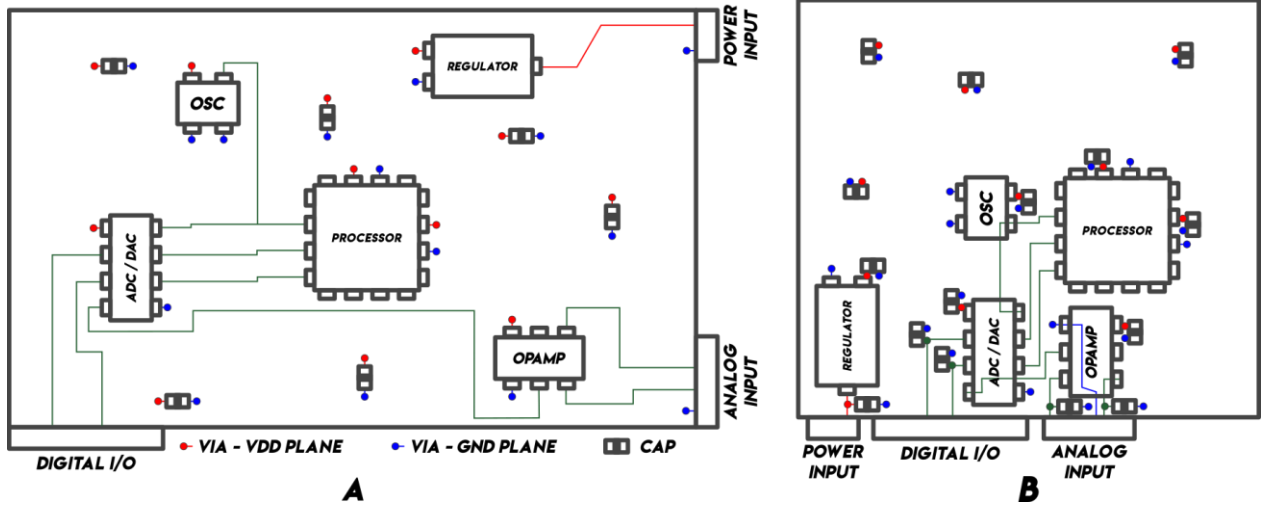
PCB tasarımcılarının EMC konusunda en çok hata yaptıkları nokta şudur: Günümüzde, tasarlanan yeni ürünler artık kablosuz bağlantısı olan, dolayısıyla ortamdaki her türlü parazite karşı duyarlı olacak ve bünyesindeki harmonik parazitleri dış ortama yayacak hali hazırda bir anten kullandıklarını göz önünde bulundurmamalarıdır. Kendi tasarladıkları ürünlerde kablosuz bağlantı özelliği olmasa bile, herhangi bir ürünün çalışma ortamında bulunan diğer cihazların neredeyse tamamının bu tür özelliklere sahip olduklarını unutmamak gerek!

EMC, PCB tasarımın başlangıcından itibaren göz önünde tutulması gereken bir unsurdur. EMC yetersizliği, ürünün performansında ve/veya çevresindeki ürünlerin performansında düşüşe sebep olarak, markanın/ürünün itibar kaybetmesine, hatta ürünün piyasadan geri toplanarak tasarımın en baştan değiştirilmesine kadar giden maliyetli bir yola neden olabilir. Bu yüzden PCB tasarımlarında ilk başta kabul edilebilir bir maliyet bütçesi EMC için ayrılarak daha sonrasında meydana gelebilecek yüklü maliyetlerin önüne geçilmiş olur.

### 4. PCB Seviyesinde EMI'den Korunma Yöntemleri

Her PCB tasarımında, tüm EMC kurallarını uygulamaya çalışmak ve aşırı korumalı bir strateji izlemek projelerde uzun gecikmelere, malzeme seçim yelpazesinde daralmaya ve malzeme maliyetlerinin artmasına neden olabilir. Kurallar, üzerinde çalıştığımız proje için geçerli olup olmadığına göre ayrı ayrı değerlendirilmelidir.

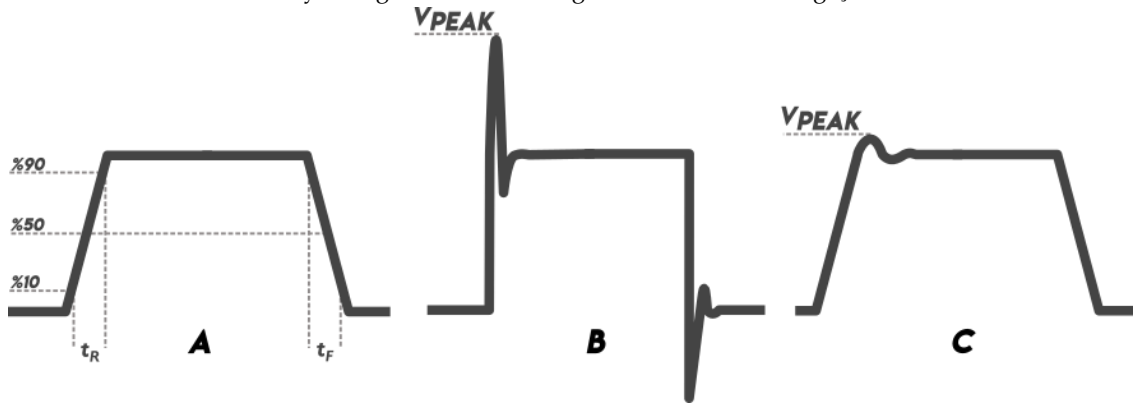
- 1- PCB Tasarımında iletim hatlarının ve komponentlerin fiziksel özelliklerine dikkat edilmelidir(*Şekil 1*).
  - a. Kullanılacak IC'lerin besleme girişleri mutlaka filtrelenmeli ve bu filtre olabildiğince besleme girişlerine yakın olmalıdır (Özellikle mikro denetleyici gibi düşük gerilimle çalışan hassas IC'ler).
  - b. İletim hatları gerek parazit empedansları önlemek gerekse EMI duyarlılığını azaltmak için mümkün olduğunca kısa ve ince tutulmalıdır.
  - c. CLK sinyallerinin yoğun olduğu merkezi sistemler, hassas (Düşük genlikli, yüksek frekanslı veya düşük enerjili) sinyallerin giriş ve çıkış yapacağı konnektöre olabildiğince yakın tutulmalıdır. Eğer bir CLK devresinin dış ortama giriş çıkışı yoksa PCB'nin merkezinde tutulmalıdır.
  - d. Yüksek frekanslı devre tasarımlarında iletim hattı uzunluğuna ve kalınlığına fazladan önem verilmeli ve PCB tasarımında bu sinyallerin bulunduğu bölgelerin iki konnektör arasında kalmamasına dikkat edilmelidir.
  - e. Kullanılacak osilatör ve kristallerin dış korumasına GND voltajı uygulanmalıdır.
  - f. Yüksek frekans içeren her sinyal yolu (Örneğin osilatör sinyal çıkışı, Usart, I2C, SPI gibi haberleşme giriş çıkışları) ve/veya zayıf analog sinyal yolları olabildiğince kısa tutulmalıdır.
  - g. PCB'ye giriş yapan her sinyal filtrelenmelidir.
  - h. Kullanılan filtre (Decoupling) kondansatörlerinin yüksek ve düşük voltaj katmanlarına giden via'lar olabildiğince birbirine yakın olmalıdır.
  - i. PCB alanının fazlalık olarak kalan kısmına (eğer kesilmeyecek ise), yüksek ve düşük voltaj katmanlarında meydana gelebilecek dalgalanmaları önlemek için filtre kapasitörleri yerleştirilmelidir.



Şekil 1: (A) 4 Katmanlı PCB tasarımı, (B) EMC kurallarına uygun 4 Katmanlı PCB tasarımı.

2- Anahtarlama uygulanan iletim hatlarına dikkat edilmelidir. (Şekil 2)

- Kullanılan anahtarlama dalgalarının yükselme ( $t_R$ ) ve düşme ( $t_F$ ) süreleri olabildiğince yüksek tutulmalıdır. Böylece ani voltaj ve akım değişimlerinden meydana gelecek yüksek radyasyonun önüne geçilir. Benzer nedenden dolayı anahtarlama dalgalarının tepe noktalarına dikkat edilmelidir.
- Yüksek genlikli akım anahtarlama, PCB tasarımı uygun şarj/deşarj yeteneği ile tasarlanarak besleme akımında meydana gelebilecek ani dalgalanmalarının önüne geçilmelidir.



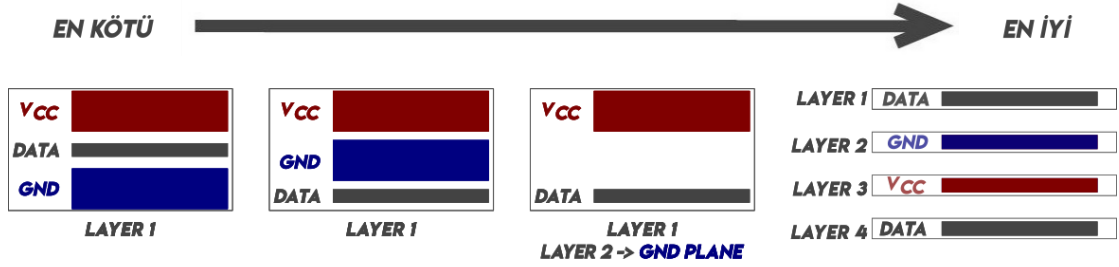
Şekil 2: (A) Yükselme ve düşüş zamanlarının gösterilmesi, (B) Anahtarlama uygulamalarında ani radyasyon dalgalanmalarına sebep olabilecek kare dalga, (C) Radyasyon dalgalanmasının asgari seviyede olmasını sağlayacak kare dalga.

3- İletim hattı üzerinde bulunan sivri kenarların yuvarlatılması gerekmektedir. (Şekil 3)



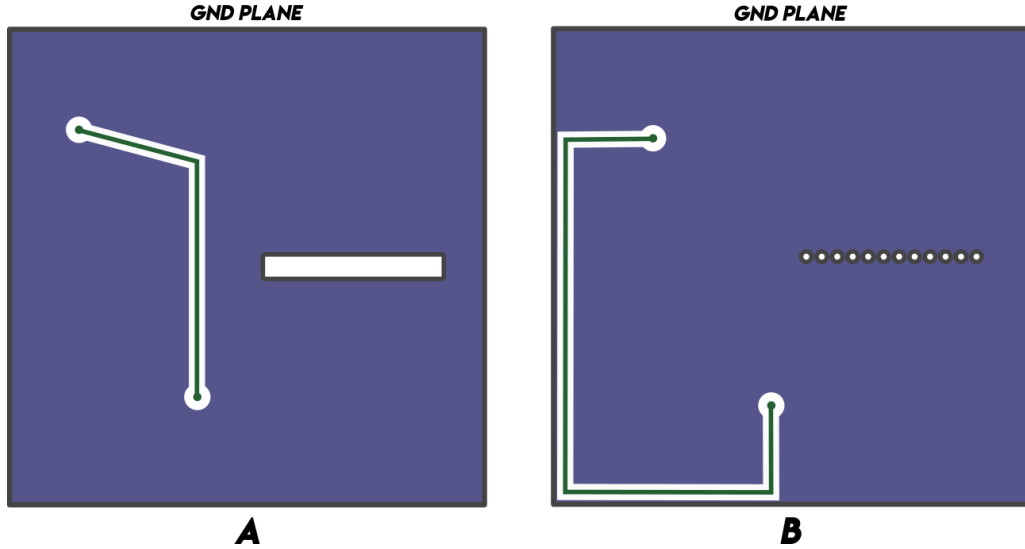
Şekil 3: Sırasıyla iletim hatlarının EMC'ye uygunluğu.

- 4- Yüksek potansiyel fark oluşturacak devre yollarının arasına veya akım genliği yüksek olan anahtarlamalı devre yollarının yakınına, düşük genlikli hassas iletim yolları yerleştirilmemelidir. (Şekil 4)



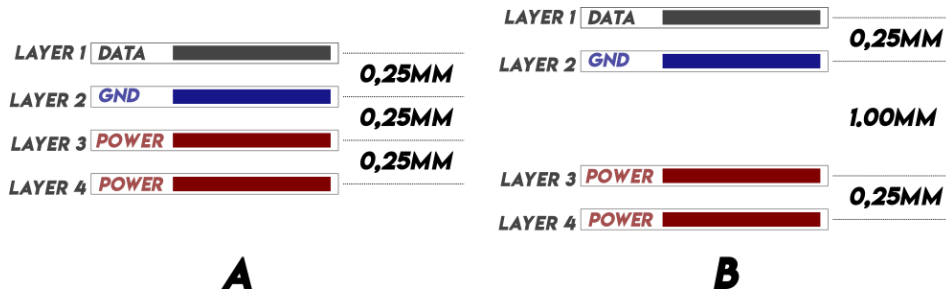
Şekil 4: Sırasıyla hassas (Düşük genlikli, yüksek frekanslı veya düşük enerjili) iletim hatlarının yerleştirilmesi.

- 5- GND katmanı kesinlikle bölünmemelidir. Aksi takdirde ayrılan parçalar da EMI'den ve/veya PCB üzerinde bulunduğu bölgedeki dalgalanmalardan kaynaklı olarak potansiyel fark meydana gelecektir. Bu ise cihazda gürültüye, hassasiyet kaybına ve ürün ömrünün kısalmasına neden olacaktır. Besleme geriliminin farklı bir PCB'den karşılandığı uygulamalarda mesafe uzak ise iletim kayıplarını azaltmak için flat kabloların bir yerine iki tanesini GND olarak kullanabiliriz. Bu uygulamadan uygulamaya farklılık gösterebilir. Ancak işin aslı, PCB tasarımlarında geri dönüş yollarının (GND) hiçbir zaman bölünüp parçalanmaması gerekmektedir. (Şekil 5)



Şekil 5: (A) EMC'ye uygun olmayan bir GND katmanı tasarımı, (B) EMC kurallarına uygun bir GND katmanı tasarımı.

- 6- Yüksek genlikli akım anahtarlama devre tasarımı ile düşük akım devre tasarımı bir nedenden dolayı aynı bölgede bulunması gerekiyorsa, yüksek genlikli anahtarlamanın bulunduğu katman ile diğer veri hatlarının bulunduğu katman arası mesafe arttırılmalıdır. (Şekil 6)



Şekil 6: (A) Katmanlar arasındaki mesafenin gösterilmesi, (B) Katmanlar arasındaki mesafenin arttırıldığının gösterilmesi.

- 7- Bazı analog sinyal uygulamalarında referans voltajı gerekir. Bu durumda referans voltajını tek bir noktadan vermek gerekecektir. İki veya daha fazla referans voltajı gösterildiğinde analog sinyalin geri dönüş yolunda bölünmeler meydana gelecek ve sinyalin gürültü almasına neden olacaktır. (Şekil 7)



Şekil 7: (A) Aynı hattın iki farklı yerde referanslandığının gösterilmesi, (B) Sinyal hattının tek bir noktadan referanslanmasının gösterilmesi.

## 5. Sonuç

EMC, PCB tasarımının başlangıcından itibaren göz önünde tutulması gereken bir unsurdur. Tasarlanacak PCB'ye göre EMI'den korunmak için uymamız gereken kurallar vardır. Ve bu kurallar incelendiğinde, hemen hepsinin temelinde kirchhoff, maxwell, faraday kanunları ve benzer kanunlar yer almaktadır. Bunun farkındalığı ile hareket edildiğinde kullanılan yöntemi neden kullandığımızı kavramak çok daha kolay olacaktır.