

Elektronik Devrelere Sahip Cihaz Tasarımında
Elektromagnetik Uyumluluk (EMC)
V1.0

Hazırlayan: Mahmut ÇETİN

Eylül 2013 @İSBAK Ar-Ge

Giriş

EMC : ElectroMagnetic Compatibility (Elektromagnetik Uyumluluk)

EMI: ElectroMagnetic Interference (Elektromagnetik Girişim)

EMC esas olarak bir elektromanyetik kaynaktan yayılan dalgalar ve bunların diğer cihazları etkilemesini konu alır. Bu durumda elektromanyetik dalga oluşturan bir kaynak saldırgan olarak, bu saldırıdan etkilenen cihazlarda kurban olarak isimlendirilir. Etkilenen cihaz kaynağın kendisinde olabilir. Bu etkileşim sistemlerin istenen verimlilikte çalışmasına engel teşkil eder. Sorunun temeli, saldırganın saldırısını engellemek ve kurbanın bu saldırıdan etkilenmesini en aza indirmek veya bağışıklılığını oluşturmak olarak ifade edilebilir. Yayılım ve bağışıklık seviyesi hiç bir zaman sıfıra indirilemez, yapılan tasarımlar ve alınan önlemlerle belirlenen tolere edilebilir sınırlar altında kalması sağlanır.

Herhangi bir elektronik sistemin elektromagnetik uyumlu olabilmesi için,

- Diğer sistemlerin neden olduğu elektromagnetik dalgalardan etkilenmemesi,
- Kendisinin neden olduğu elektromagnetik dalgalardan etkilenmemesi gerekir.

Bu çalışma, tasarladığımız elektrik ve elektronik sistemlerin maruz kaldığı elektromagnetik yayımlara karşı bağışıklılığını arttırmak ve en az seviyede yayılım yapmasını sağlayacak şekilde tasarımlarımızı gerçekleştirmek için dikkat edilmesi gereken noktalar hakkında bize yardımcı olması için hazırlanmıştır.

Bilindiği üzere EMC ve EMI konusu çok geniş bir alanı kapsamaktadır. Bu dökümanda ağırlıklı olarak PCB ve cihaz tasarımı üzerine konular işlenmiştir. Manyetik alanlar, filtre tasarımı, ekranlama, komponentlerin ideal ve ideal olmayan karakteristikleri vb. konular kendi içerilerinde ayrı ayrı ele alınması gereken kapsamlı konulardır. Dökümanı genel olarak dikkat edilmesi gereken noktalar şeklinde ele alabiliriz.

Neden EMC olmalı, ticari ve teknik olarak etkiler, örnekler:

Elektromagnetik girişimin neden olduğu sorunların örnekleri günlük yaşantımızda sıkça karşımıza çıkmaktadır. 90 lı yıllarda ve 2000 li yılların başlarında özellikle elektromagnetik uyumluluğa sahip olmayan cihazlarda bu problem net olarak görülmekteydi. Gelişen teknoloji ile birlikte farklı alanlarda birçok yenilikler ortaya çıkmakta ancak tasarımda dikkat edilmeyen elektromagnetik uyumluluk kriterleri istenmeyen sonuçlar ortaya çıkmasına neden olmaktaydı.

Geçmişte yaşanmış, meşhur olarak tabir edebileceğimiz ve sonuçları ciddi zararlar olarak ortaya çıkmış bir kaç örnek verebiliriz. 1982 yılında Falkland savaşı sırasında HMS Sheffield destroyeri uydu haberleşmesi amacıyla, bu sistemi etkileyen füze algılama sistemini kapatınca bir Exocet Füzesi ile batırılmıştır. Gemi ağır hasara uğramıştır, mürettebattan kayıplar olmuş, zarar 200 milyon doları aşmıştır. 1980'li yıllarda ABD Kara Kuvvetlerine ait beş adet Black Hawk UH-60 tipi helikopter, çevredeki vericilerin uçuş kontrol sisteminde yol açtığı girişimden kaynaklı meydana gelen hatalar sonucu değişik tarihlerde kazaya uğradı. 22 kişi öldü. Aynı şekilde 1967 yılında USS Forrestal uçak gemisinin güvertesinde gemi radarından yayılan elektromanyetik etkinin uçağa takılı bir roketi ateşlemesi sonucu 134 kişi ölmüş, 32 uçak kullanılamaz hale gelmiş ve 172 milyon dolardan fazla maddi hasar meydana gelmiştir.

Bunlara ek olarak günlük hayatımızdan basit örnekler verecek olursak;

- Düşen bir yıldırımın telefon sistemlerini, evlerdeki elektronik cihazları çalışmaz duruma getirmesi.
- Evlerde elektrik süpürgesi, saç kurutma makinesi vb. ev aletlerinin TV görüntüsünde karlanmaya neden olması.
- Radyo dinlerken polis telsizlerinin araya girmesi.
- Havaalanı radarlarının dizüstü bilgisayarlarından etkilenmesi.
- Cep telefonlarının araç ABS fren sistemlerini etkilemesi.
- Baskı devrelerde sızıntı.
- Cep telefonu ile konuşurken bilgisayarda gürültü oluşması.

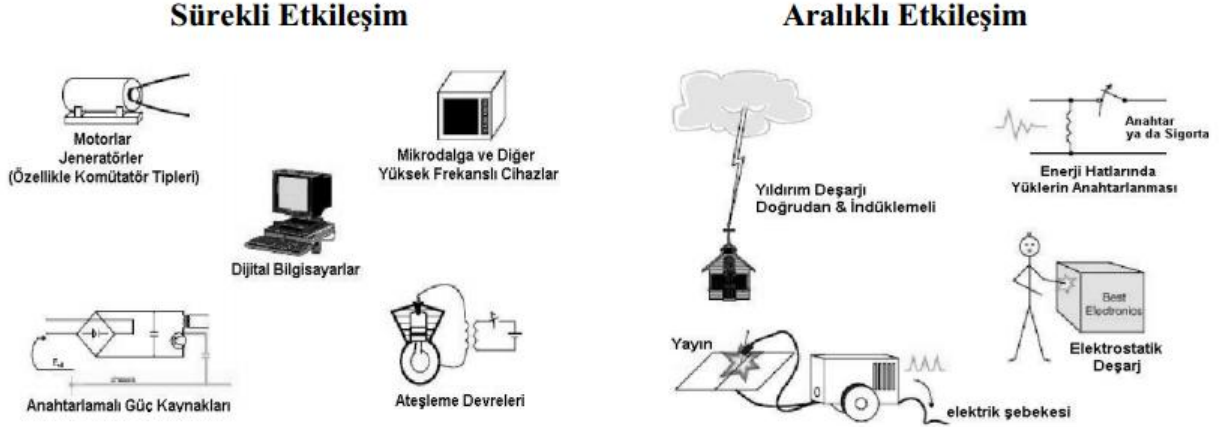
Teknolojinin kullanımının iyice yaygınlaşması ile birlikte elektronik cihazlardan çıkan kirliliği sınırlamak ve elektronik cihazları girişimlere karşı daha da dayanıklı şekilde tasarlamak zorunlu hale gelmiştir. Bazı ülkeler çözüm olarak kendi standartlarını belirlemişlerdir. Bu ülkelere cihaz satmak isteyen firmalar cihazlarını gerekli testlerden geçirerek bu standartlara uygunluğunu belgelemelidir. Avrupa'da da ocak 1996 dan itibaren EMC standartları ürünlerde sağlanması gereken zorunlu koşullar arasında yer almaktadır. Avrupa da satılmak istenen bir ürün gerekli testlerden geçer ve istenilen kriterleri sağlar ise CE işareti taşımaya hak kazanır ve ancak bu şekilde satılabilir.



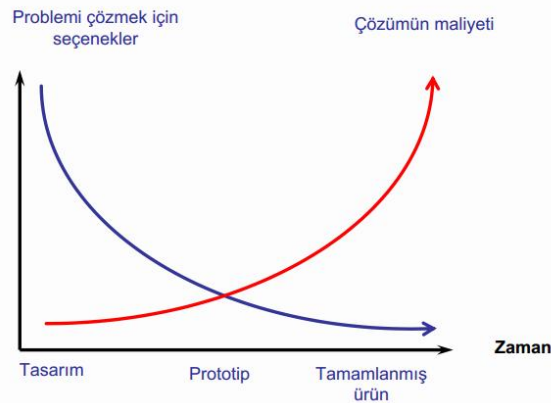
Sistemlerin sağlıklı şekilde çalışmasının yanında bahsedilen bu durum sonucunda elektronik cihaz/sistem tasarımında elektromagnetik uyumluluk, diğer geleneksel tasarım ilkeleri kadar önemli bir kriter haline gelmiştir.

Elektromagnetik Yayılım Kaynakları

Elektrikle çalışan cihazların tümünde bir etkileşim mevcuttur. Bu etkileşim aralıklı ve sürekli olarak iki grupta incelenebilir.



Yapmış olduğumuz PCB tasarımlarındaki EMC ye uygun olmayan tasarımlar, devamlı çalıştıklarından dolayı "sürekli etkileşim kaynakları" sınıfına girmektedirler. Başta kendisi olmak üzere sistemde çalışmakta olan diğer tüm cihazların çalışmasını etkileyebilirler. Bu tür problemlerin tespiti tasarımda yada üretimde yapılmış somut bir hata olmadığından dolayı uzmanlık gerektirir ve problemin çözümü çok uzun sürebilir. Cihazların çalışmasında bir problem olmamasının yanında testlerden cihazın belirlenen sınırların altında olduğunu ispatlayarak geçmesi gerekmesi onların satılabilmesinin şartlarından birini oluşturmaktadır. Tüm bu durumlar göz önüne alındığından sistemin ve sistemi oluşturan tüm elemanların tasarım aşamasında iyice gözden geçirilmesi ve her adımın sağlam bir şekilde atılması gerekmektedir. Prototip aşamasında üretilecek kartlar iyice test edilmeli EMC ye aykırı tasarım noktaları mutlaka üretimden önce düzeltilmelidir. Revizyon maliyetleri tasarım aşamasında minimum iken üretim aşamasından sonra maksimum seviyeye çıkmaktadır. Aşağıdaki grafik tam olarak durumu anlatmaktadır.

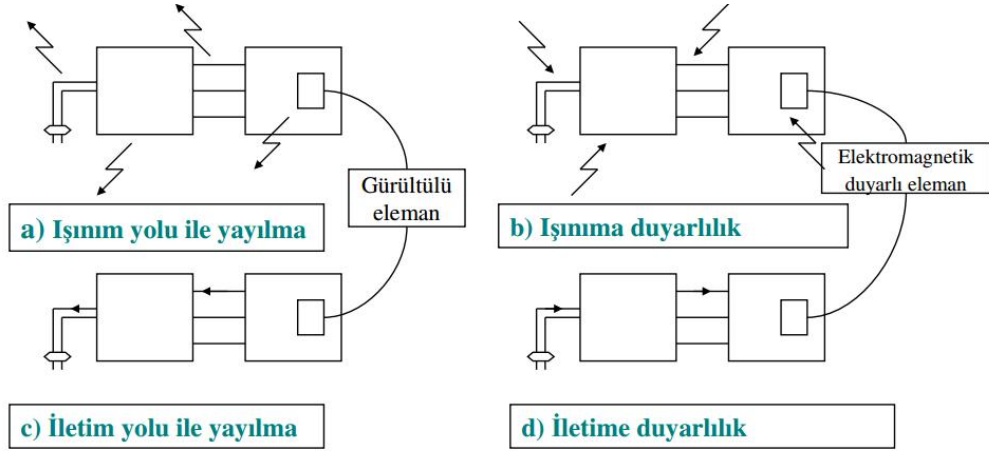


Testler ve test ortamları

Elektromagnetik uyumluluk testi için bir elektronik cihazın neden olduğu elektromagnetik alanların ölçümü gereklidir. Bu ölçümler özel olarak tasarlanmış test odalarında özel cihazlarla gerçekleştirilmektedir.

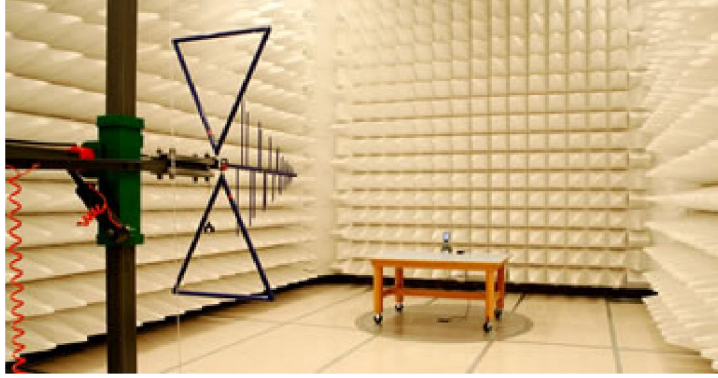
Cihazlar ışıınım ve iletim başlığı altında 4 farklı teste tabi tutulurlar:

1. Işıınım yolu ile
 - yayılma (radiated emissions)
 - duyarlılık (radiated susceptibility)
2. İletim yolu ile
 - yayılma (conducted emissions)
 - duyarlılık (conducted susceptibility)



- a) Işıınım yolu ile yayılma: Cihazın etrafına yaymış olduğu manyetik alan bir anten vasıtası ile ölçülür
- b) Işıınım duyarlılık: Cihaza anten vasıtası ile bir manyetik alan uygulanır. Cihazın bu manyetik etki altında çalışması ve fonksiyonlarını yerine getirip getiremediği incelenir
- c) İletim yolu ile yayılma: Cihazın beslenmekte olduğu şebeke hattına yapmış olduğu yayılım ölçülür.
- d) İletime duyarlılık: Cihaza beslenmiş olduğu şebeke hattından gürültü uygulanır. Bu maruz kaldığı gürültü karşısında çalışması ve fonksiyonlarını yerine getirip getiremediği incelenir.

Ölçüm laboratuvarlarından bir kaç görüntü:

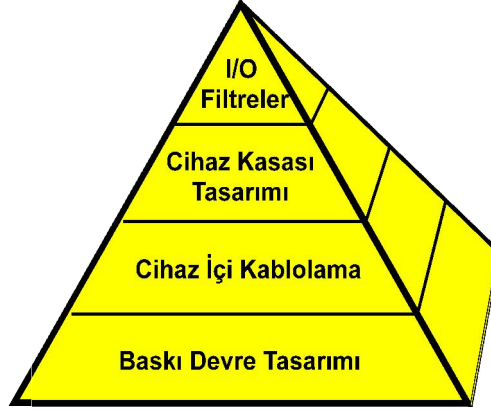


Elektronik Sistem Tasarımında EMC Kuralları

Dikkat Edilmesi Gereken Noktalar

Tüm anlatılan, EMC ye uyumluluk kurallarının uygulanabilmesi için kullanmakta olduğumuz PCB tasarım programını etkin şekilde kullanabiliyor, istediğimiz çizimi rahatlıkla yapabiliyor olmamız gerekmektedir. Bununla birlikte bir çok PCB programı anlatılan kuralların hızlıca uygulanabilmesi için hazır "tool"lara da sahiptir.

Tasarlanan cihazın EMC kurallarını sağlaması için dikkat edilmesi gereken bir çok nokta vardır. Bu noktalar kendi içerisinde gruplandırarak anlatmaya çalışılmıştır.



Kabaca elektromagnetik uyumluluğun (EMC) sağlanması için dikkat edilecek noktaları belli başlıklar altında toplayacak olursak bunlar:

- Topraklama (Grounding)
- Ekranlama (Shielding)
- Bağlama (Bonding)
- Filtreleme (Filtering)
- Kablolama (Cabling)
- Devre Tasarımı (Circuit Design)
- Fiziksel Ayırım (Separation)

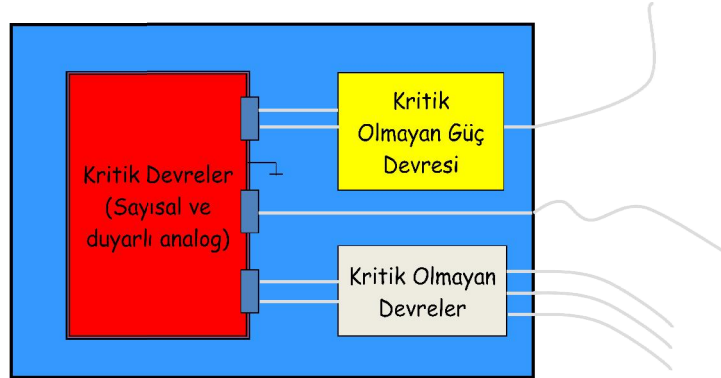
1. PCB TASARIMINDA DİKKAT EDİLMESİ GEREKENLER

1- Bir pcb tasarımı birçok sınıftaki farklı devreyi aynı kart üzerinde bulundurabilir. Bu devrelerin her biri farklı akım, gerilim ve frekans aralıklarında çalışmaktadır.

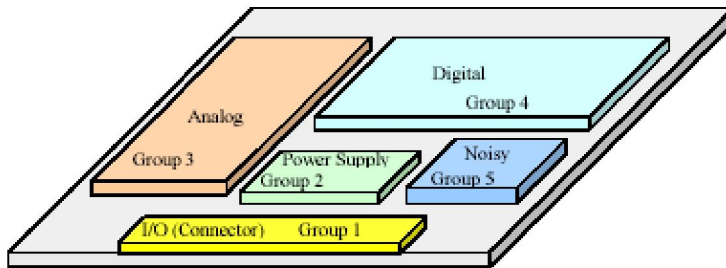
Bu devre tipleri:

- Ses frekansı
- RF
- Sayısal
- Güç
- Elektromekanik
- Analog devreleridir.

Bu tarz devrelerde mutlaka sistemi kısımlara ayırmalı devre üzerindeki elemanların yerleşimini ve pcb tasarımını da ona göre yapmalıdır. Kısımlara ayırmada amaç devreyi EMC açısından kritik ve kritik olmayan kısımlara ayırmaktır. Kısımlara ayırmada özen gösterilmeyen devrede aynı tipteki devreler kartın değişik bölgelerinde yer alabilir. Bu da karta giriş çıkışların yaygınlaşmasına yol açar ve gelen girişim yüksek seviyeli toprak gerilimleri oluşturur. Ayrıca devreden kaynaklanabilecek gerilimlerin kabloları kuplajını kolaylaştırır.

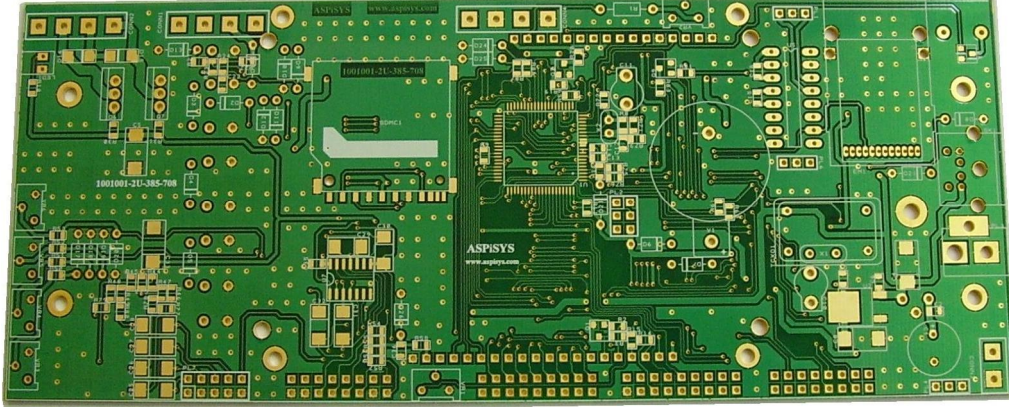


Baskı devre dahilinde girişimin en büyük nedeni yüksek akımlı bir hattın düşük gerilimle çalışan bir devreye gerilim endüklemesidir. Bu genelde iki farklı karaktere sahip devrelerde görülür. Bu nedenle yüksek akım taşıyan devreler düşük gerilime duyarlı devrelerin yanında kullanılırken dikkatli olunmalıdır. Baskı devre tasarımında ilk kural yukarıda da belirtildiği üzere devreleri gerilim/akım seviyeleri açısından sınıflandırmak ve farklı sınıftaki devreleri birbirinden uzaklaştırmaktır.



2- PCB üzerindeki GND yüzeyi arttırmak için elemanlar ve bağlantıları mümkün olduğunca iyi düzenlenmelidir. Bunun içinde pcb üzerine komponent yerleşimi kurallar dahilinde birbirine en yakın şekilde yapılmalı bağlantı yolları en kısa şekilde olmalıdır.

3- İki katmanlı PCB'lerde toprak yüzeyin yapılacağı yerlerde via (geçiş deliği) kullanılarak diğer tabakaya geçilmelidir.



4- Üst ve alt katmanlardaki grid hatları bir yüzeyde yatayken diğer yüzeyde dikey olmalıdır. Bu kural yolların anten etkisi oluşturmaması için çok önemlidir.

5- Boş kalan kısımlara kaplanan GND hattının etkinliğini arttırmak için GND hattında Via'lar aralarında en az 0,5 inch olacak şekilde yerleştirilmelidir. Bu via'lar en az 0,4 mm kalınlıktaki yollarla birbirine bağlanmalıdır. Bu bir Faraday kafesi sağlayarak 5 Ghz 'e kadar olan frekansları içermeyi sağlar. 3. maddedeki örnek pcb üzerinden bu uygulama görülebilir.

6- Çok katlı PCB'lerde tavsiye edilen yerleştirme şekli her katın gruplar halinde yerleştirilmesi ve bir alt kat ile üst kat yolları arasında 90 derece fark yapılmasıdır.

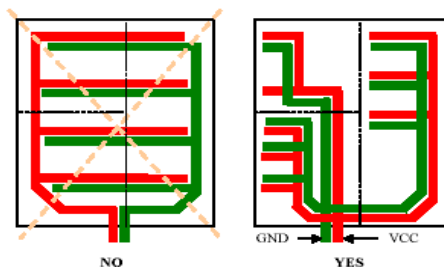
7- Data hatları mümkün olduğunca kısa tutulmalı ve bir toprak hattı bunlara komşu yapılmalıdır. En düşük değerlikli bit en çok kullanıldığından toprak hattı buna yakın olmalıdır.

8- Güç kaynağı daima devrenin güç giriş noktasına yakın yerleştirilmeli ve güç hatları kısa tutulmalıdır.

9- Hacimli kapasitelere daima bir veya iki yüksek frekanslı kapasite paralel bağlanmalıdır.

10- Hızlı düşüş ve çıkış yapan yüksek anahtarlama akımlarını taşıyan yollar diğer paralel yollardan en az 3 mm uzak tutulmalı veya aralarda koruma maksatlı toprak yollar geçirilmelidir.

11- Daima güç sinyali ve toprak hattı birbirine yakın ve paralel yapılmalı veya çok katlı PCB'lerde bir kattan güç sinyali giderken diğer üst katmanda toprak gitmelidir.



12- Vcc (Clean power) yolu asal filtrelenmemiş batarya gücü, ateşleme, yüksek akım veya hızlı anahtarlama sinyali taşıyan yollara paralel yapılmamalıdır.

13- Devrenin ihtiyacı olduğu kadar, güç ve işlemler için yeterli en düşük frekans kullanılmalıdır. Fazlası kullanılmamalıdır.

14- PCB üzerindeki tüm yollar mümkün olduğunca kısa ve geniş tutulmalıdır. Tüm yollar PCB'nin köşegen uzunluğundan daha kısa tutulmalı ve uzunluk genişlik oranı 1/10 olmalıdır.

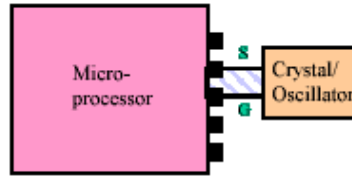
15- Pili veya ateşlemeyi sezen cihazlar PCB'nin güç girişinde I/O portlarına yakın konulmalıdır.

16- Pilden kesintisiz akım çeken devreler tasarlarken pil giriş hattına yeterli akım depolamayı sağlayacak kapasite bağlanmalıdır .

17- Yakın gruplanmış güç anahtarları ve yüksek akım devreleri, dijital, düşük seviyeli analog ve röle devrelerinden ayrı tutulmalıdır.

18- Toprak ve diğer yollar kristal osilatör gibi gürültülü parçaların altından geçirilmemelidir.

19- Kristal osilatörleri ve darbe (clock-saat) üretici devreleri I/O portlarından uzak, clock verdikleri işlemciye yakın yerleştirilmelidir. Ayrıca yol uzunluğu minimuma indirilmeli ve yollar aynı yüzeyde olmalıdır.



20- Tüm kritik ağlar, mesela clocklar veya veri yollarının etrafı topraklanmalıdır.

21- Diyot, transistor, işlemcinin önüne RF filtre koyarak RF frekanslarından etkilenmelerini önleyebiliriz.

22- Yüksek frekans sinyallerini taşıyan yollar ile düşük frekans sinyallerini taşıyan yolları birbirinden ayrı tutmak gerekir. Yüksek frekanslı işaret taşıyan yolu toprağa mümkün olduğunca yakın yapmalıyız.

23- Tüm zıt sinyal hatların birbirine komşu yaparak birbirlerinin manyetik alanlarını ortadan kaldırabiliriz.

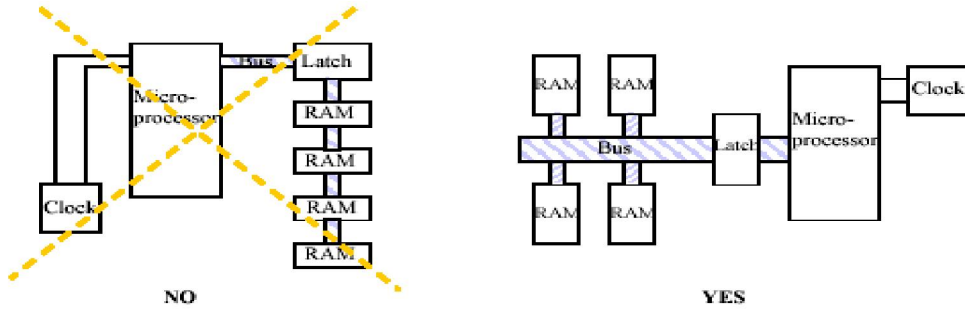
24- Sinyal yollarını komşu katmanlarda birbirine 90 derece açı ile yapmak cross-talk olayını azaltmamıza yardım eder.

25- İniş ve çıkış zamanlı, duty cycle ve anahtarlama sinyallerinin temel frekansını kontrol etmek harmoniklerin oluşmasını azaltmamıza yardım edecektir.

26- Kullanılmayan tüm işlemci girişleri istenmeyen rastgele anahtarlama ve gürültü üretiminin olmaması için sonlandırılmalıdır. Tüm kullanılmayan işlemci portları, istenmeyen rastgele anahtarlama ve gürültü oluşumunu engellemek için çıkış olarak tanımlanabilir.

27- Yüksek hızlı yolları PCB'nin köşelerinden uzak tutmalıyız.

28- Tüm clock, data, adres, bus-bağlantıları olabildiğince kısa ve direk olmalı ve toprak hattı ile beraber olmalıdır.Yani dijital bus uzunluğunu minimuma indirmeliyiz.



29- Yüksek hızlı dijital sinyaller bir araya toplanmalı ve I/O portlarından mümkün olduğunca uzak yerleştirilmelidir.

30- Düşük frekanslı akım düşük dirençli yoldan akar, yüksek frekanslı akım ise en düşük endüktanslı yoldan akar

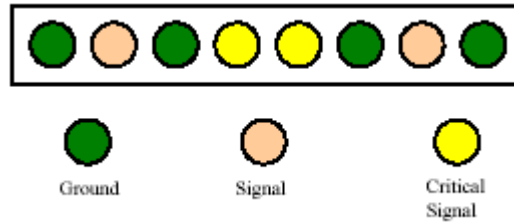
31- Analog devreler I/O portlarına mümkün olduğunca yakın olmalıdır.

32- Tüm analog girişlerde daima alçak geçiren filtre kullanılmalıdır.

33- Analog yolların yakınlarına daima güvenlik toprağı konulmalıdır.

34- Kritik sinyaller asla korumalı şerit kablo dışında olmamalıdır.

35- PCB'ye şerit kablo takarken daima multiple-ground kullanılmalıdır .



36- Çıkış bufferlarını azaltmak radyasyon emisyonunu düşürür.

37- Elektrostatik boşalmadan dolayı zarar görebilecek hassas elemanlar asla çıkış portlarına yakın veya erişilebilir açıklıkta olmamalıdır.

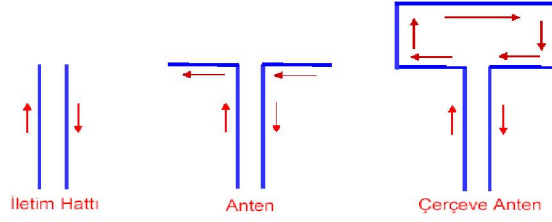
39- Baskı devre üzerinde yerel ekranlama uygulanmalıdır.

42- Uygun dekuplaj kapasitesi kullanmak eleman gürültüsü ve besleme parazitlerini azaltır

43- İzole iletken adacıkları EMI ışıını kaynağı gibi davranır.

44- Eşit ve zıt akımlar EMI 'yi azaltır.

46- İletim hatlarında anten etkileri söz konusudur. İletim hattı frekansa bağlı olarak anten gibi davranabilir.



47- Akımların gidiş ve dönüş yolları mümkün olduğu kadar birbirine yakın olmalıdır. Devreler arası girişimin önlenmesinde bu temel bir kuraldır.

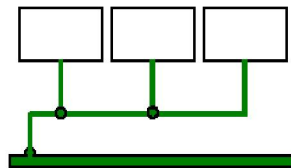
2. PCB DE TOPRAK HATTI TASARIMINDA DİKKAT EDİLMESİ GEREKENLER

EMC açısından en önemli unsur yaptığımız tasarımdaki toprak hattıdır. Toprak hattı doğru şekilde tasarlandığında cihazımızın hem ısıtım yapmasını engeller hem de girişimlere karşı çok dayanıklı olmasını sağlar. Doğru şekilde tasarlanmadığında ise cihazımızın bir verici anten gibi ışıma yapmasına ya da alıcı bir anten gibi çalışıp çevredeki en ufak bir ışımadan etkilenmesine neden olabilir. Toprak hattı girişimin cihaza girebileceği ve cihazdan çıkabileceği bir akım yolu olarak düşünülebilir. Aynı zamanda giriş akımlarının işaret devrelerini etkilemesini engelleyici bir araç olarak göz önüne alınmalıdır. Topraklama, sistemin dış bağlantıları için referans noktası oluşturur. Bu referans noktası sistem için referans bir eşpotansiyel teşkil edebilecek olsa da pratik de bu toprak akımları sebebi ile zor bir seviyedir. Devrenin işaret dönüş akımları çok düşük olsa dahi dışarıdan etki eden alanlar altında toprak geriliminde oynama görülebilir.

1- Toprak akımları daima bir halkanın parçası olarak dönerler. EMC açısından halkayı öyle bir tasarlamalıyız ki endüklenen gerilim seviyesi olabildiğince düşük olsun. Bu da ancak toprağın kompakt ve yerel yapıya sahip olmasıyla mümkündür.

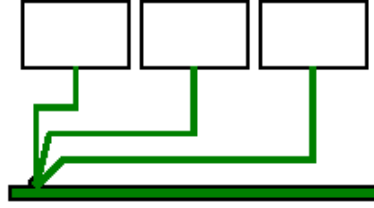
2- Bir toprak sisteminin en önemli işlevi kritik yerlerde oluşabilecek girişim gerilimini istenen işaret seviyelerinin altında tutabilmektir. Bunu yapabilmek için bu kritik noktalarda düşük transfer empedanslı yollar oluşturmalıdır.

3- PCB tasarımlarında 3 farklı topraklama tekniği mevcuttur. Tek noktadan topraklama sadece düşük seviyeli ve düşük frekanslı devrelerde kullanılmalıdır. (1 MHz'den küçük)

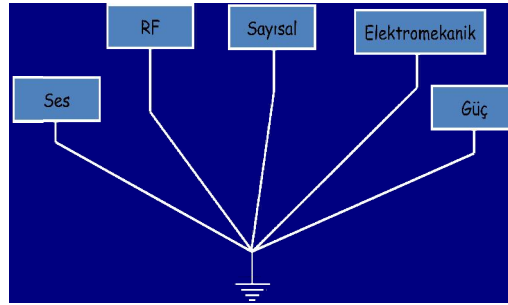


Single-Point Ground

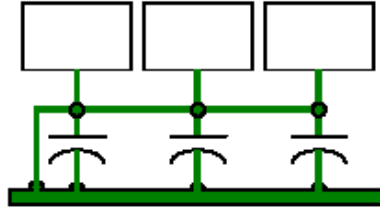
4- Multi-point topraklama yüksek frekanslı devrelerde düşük empedans sağlamak için kullanılmalıdır.(1 MHz'den büyük)



Multi-Point Ground



5-Single point topraklama yöntemi alçak frekanslar için iyidir. Fakat yüksek frekanslarda yüksek empedansa neden olur. Multipoint topraklaması yüksek frekanslar için iyidir. Hybrid topraklama yöntemi ise düşük frekanslar için single point gibi , yüksek frekanslar için multipoint gibi davranır.



Hybrid Ground

Topraklama teknikleri hakkında:

Tek-nokta toprakları düşük frekansta işlevleri olan yüksek frekansta kullanılmaması gereken yapılardır. Yüksek frekanslarda uzun topraklama telleri yüksek empedans göstermeye başlar ve eğer uzunlukları dalga boyunun yirmide birinden fazla olduğu durumda ışıma karakteristikleri gösterirler.

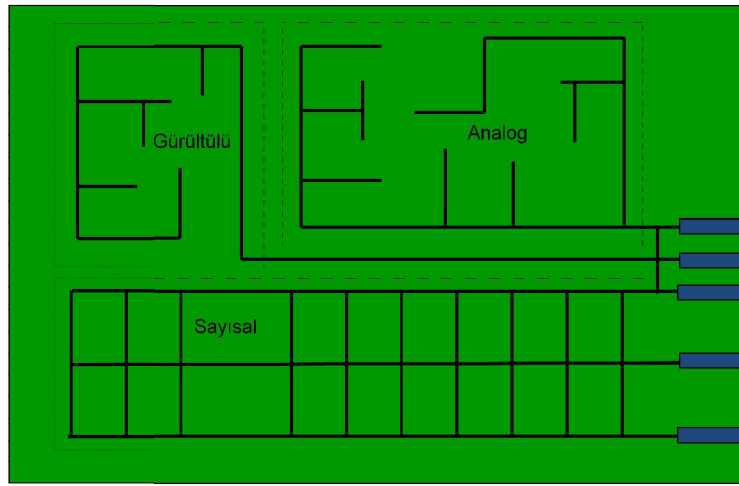
Çok-nokta toprağı düşük frekanslarda kullanımı uygun değildir. Çünkü tüm devrelerden gelen toprak akımları ortak bir empedansı (toprak düzlemi) paylaşmaya başlarlar.

TEK NOKTA MI ÇOK NOKTA MI?

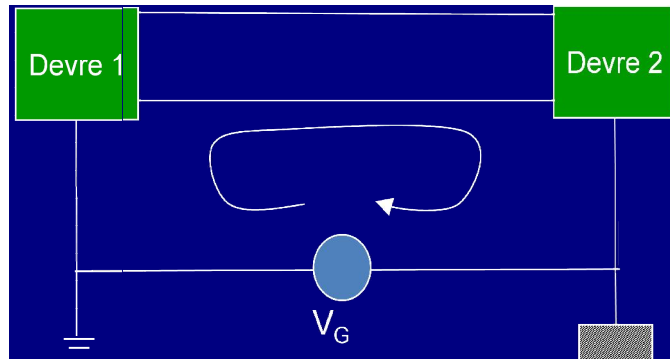
- Tek-nokta toprağı 1 MHz'in altındaki frekanslarda kullanımı uygun olan toprak şeklidir.
- Çok-nokta toprağı ise 10 MHz'in üstünde tercih edilmelidir.

- 1 ile 10 MHz arasında eğer toprak bağlantıları kısa tutulabiliyorsa tek-nokta toprağı kullanılabilir.
- Çok-nokta toprağı sayısal ve yüksek işaret seviyesine sahip RF devreleri için kullanılması şarttır.
- Analog ses frekansı devreleri için tek nokta toprağı kullanılması şarttır. Çünkü geniş toprak yüzeyleri veya grid yapıları dışardan manyetik alan kuplajına karşı alıngandır. Örneğin 50 Hz girişimi bu devrelerden uzak tutmak çok zordur. Yüksek frekanstan ve yüksek seviyelerde çalışan devreler ise bu gürültüden etkilenmezler.
- Lokal olarak yapılan çok nokta toprağı ana sisteme tek nokta toprağı şeklinde bağlanabilir.

Tipik bir topraklama haritası:



Topraklama konusunda en çok dikkat edilmesi gereken noktalardan birisi de toprak halkalarıdır. Birbirine bağlanmış iki devrenin toprak noktaları arasında seviye farkı oluşabilir buda iki devre arasında gürültülere yol açar. Tek nokta ve çok nokta topraklamalarda da toprak halkalarına dikkat etmek gereklidir.

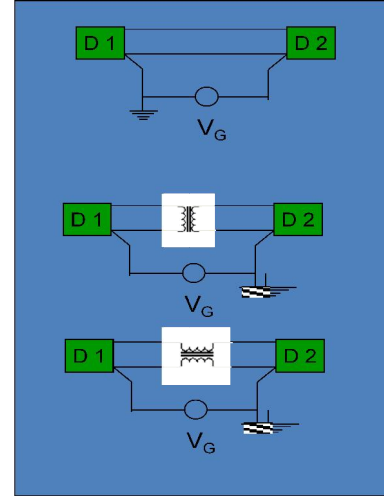


Toprak halkalarından meydana gelen gürültüleri gidermek için çözümler:

Topraklardan biri kaldırılır ve iki devre birbirinden izole edilir.

Bu izolasyon

- Trafo ile
- Ortak Mod durdurucusu ile
- Optokuplörler ile
- Dengeli devreler ile yapılabilir.

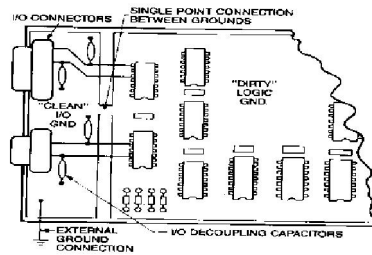


TOPRAK PROBLEMLERİ:

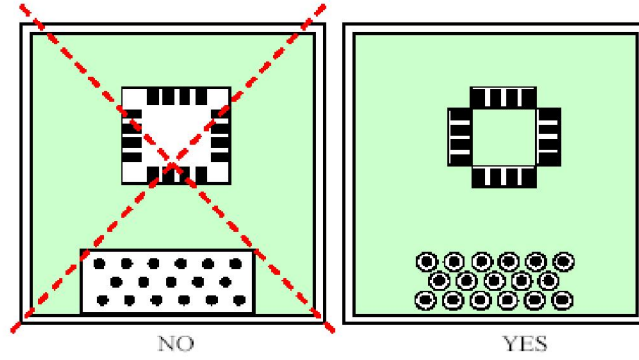
- Toprak problemleri genelde ortak empedans kuplajının sonuçlarıdır. Ortak empedans problemi aşağıdaki durumlarda ortaya çıkar:
 - Yüksek empedanslı toprak (çok yüksek endüktans)
 - Yüksek toprak akımı (50 Hz güç akımları veya manyetik alan kuplajından ortaya çıkan)
 - Yüksek duyarlılıklı (düşük gürültü eşğine sahip) devreler toprağa bağlandığında
- Tek-nokta toprağı düşük frekanslarda bu problemlere çözüm getirir. Çok-nokta toprağı ise yüksek frekanslardaki çözümdür.

SAYISAL DEVRELERDE TOPRAK:

- Sayısal devrelerin yoğun olduğu baskı devrelerde çok-nokta toprak sistemi kullanılmalıdır.
- Bununla birlikte baskı devreye güç girişi tek-nokta toprağı şeklinde olmalı, böylece sayısal devreler arasında akan akımın güç hattıyla ilişkisi kesilmelidir.

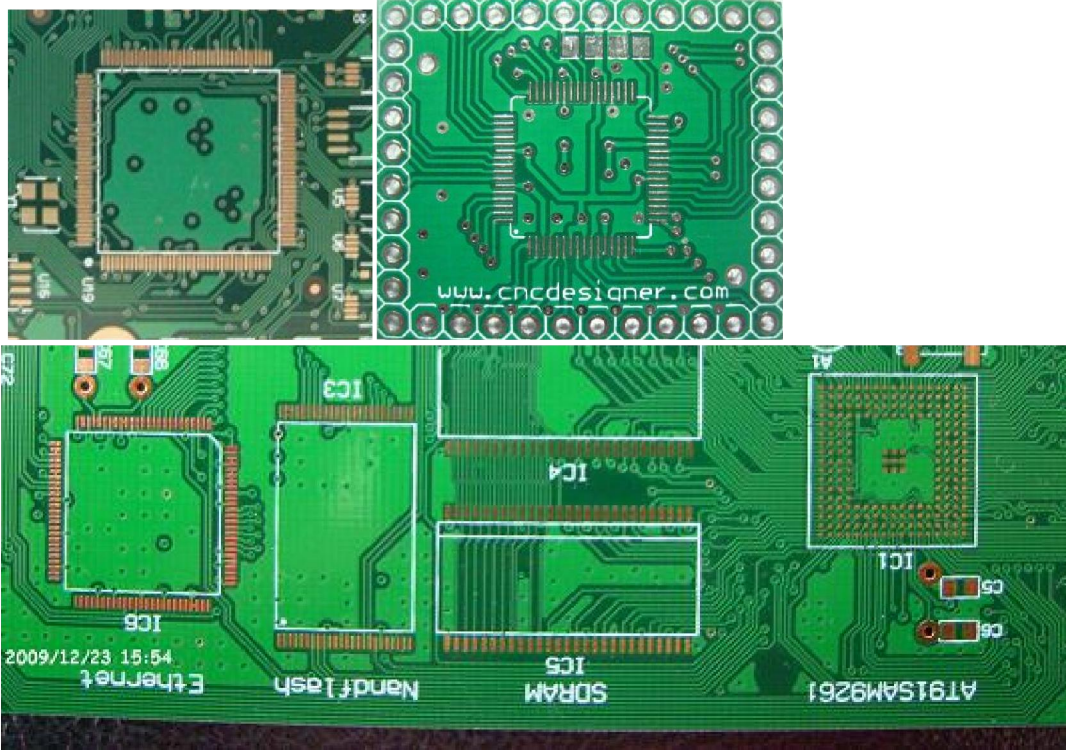


6- Mümkün olduğunca toprak yüzeyleri (ground plane) her bir elemanın ve bağlantılı olduğu yolların altına yerleştirilmelidir.



Kullanılan mikroilemcilerin altına mutlaka GND hattı yerleştirilmelidir. İşlemcinin alt kısmına mümkün olduğunca via ve yol çizilmekten kaçınılmalıdır. Yol ve via yerleştirmek zorunda kalırsa dahi kalan boşluklara mümkün olduğunca toprak hattı doldurulmalıdır.

Bir kaė rnek:



7- İki katlı devrelerde gç yolları ile toprak yolları birbirine komşu yapılmalı veya bir yüze gç yolları yapıldıysa alt yüzde toprak yolları yapılarak döngü bölgesi azaltılmalıdır.

8- Her yüksek hızlı IC'nin altına toprak döşenmelidir.

9- Via'ları kullanarak her katta toprakları birleştirmek daha düşük RF empedansının eldesine yardım edecektir

10- Aynı ağa ait toprak yüzeyleri birbirine düşük empedanslı elemanlarla bağlanmalıdır.

11- Yüksek frekanslı dijital devreler ve alçak seviyeli analog devrelerden dönen topraklar birbirine karıştırılmamalıdır. Analog, dijital ve güç sinyallerinin birbirlerinin devresine girmesi önlenmelidir.

12- Toprak ana yollarını dalga boyunun $1/20$ 'sinden kısa tutmak radyasyon yayılımının az olmasını ve düşük empedans sağlar.

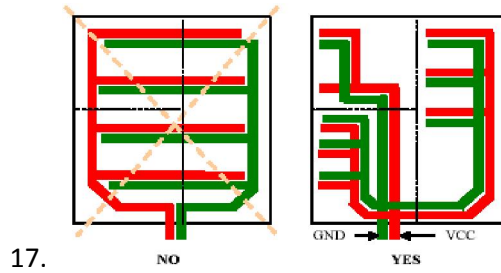
13- Toprak hattı tüm konnektörlerin olduğu yerlerin çevresine yerleştirilmelidir. Böylece zamanla değişen akımların yerel toprakları altüst etmesini engellemiş oluruz.

14- Tüm toprak genişlik-uzunluk oranı $1/10$ 'den büyük olmalıdır.

15- Toprak döngülerinden kaçınılmalıdır. Radyasyon yayım kaynağı olabilir. Döngüye küçük bir boşluk koymak DC devrelerde işe yarayabilir. Ama yüksek frekanslı devrelerde boşluk kapasitesi anten etkisi yapar.

16- Toprak hattı mümkün olduğunca güç katı ve diğer elemanların altına yayılmalıdır.

17- Daima güç sinyali ve toprak hattı birbirine yakın ve paralel yapılmalı veya çok katlı PCB'lerde bir kattan güç sinyali giderken diğer üst katmanda toprak gitmeli.

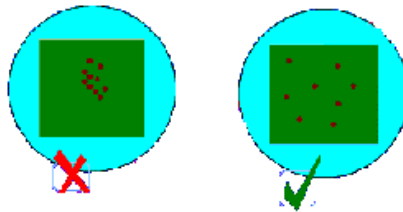


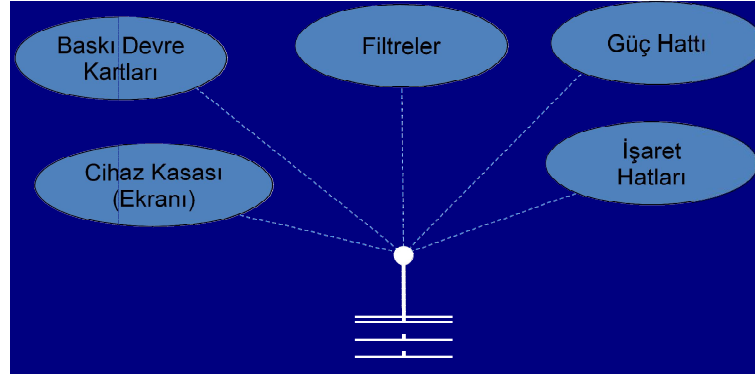
18- Tüm anahtarlama modlu güç kaynaklarının-SMPS yolları bir tabakaya yönlendirilmeli ve toprakları döngü alanını azaltmak için komşu yüzeye doğrudan yönlendirilmelidir.

19- Toprak ve diğer yollar kristal osilatör gibi gürültülü parçaların altından geçirilmemelidir. Kristallerin altı gnd hattı ile kaplanmamalıdır.

20- Tüm kritik ağlar, mesela clocklar veya veri yollarının etrafı topraklanmalıdır.

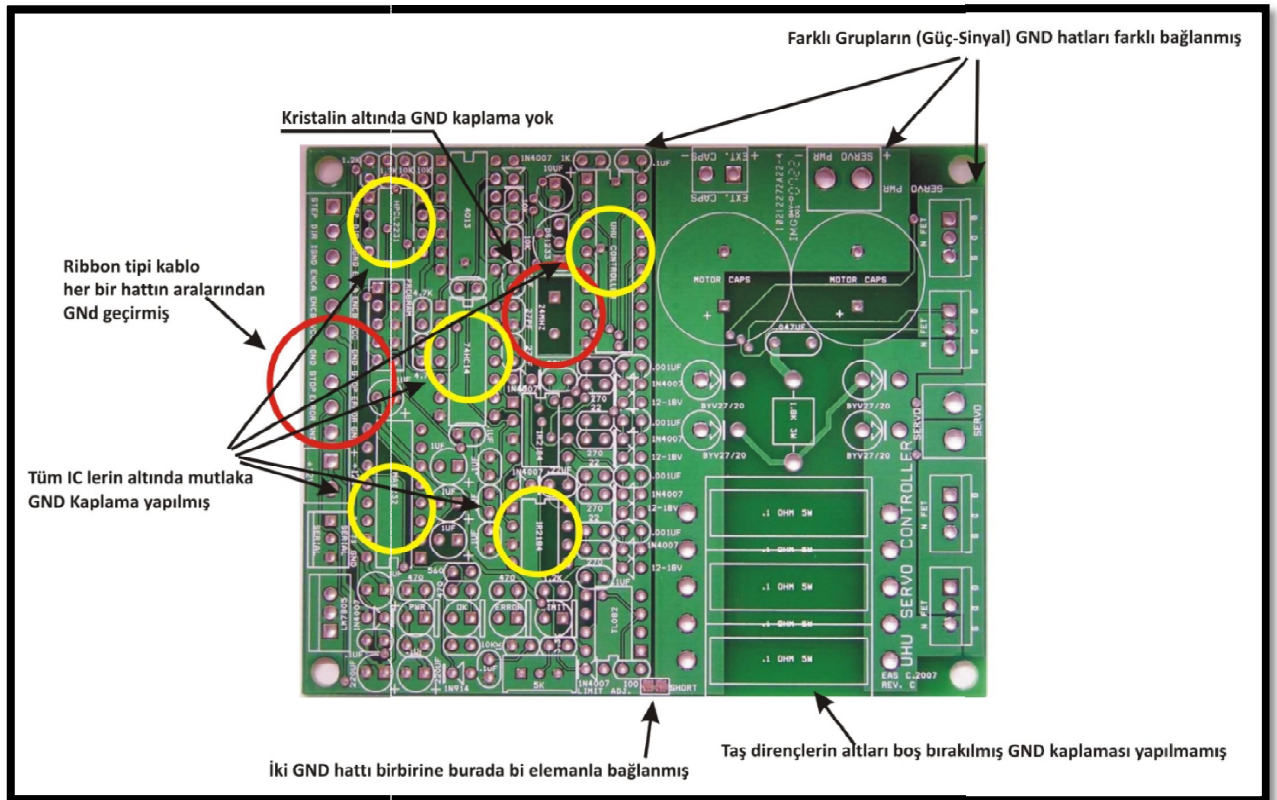
21- Toprak plakasının iletkenliği yüksek olmalı ve toprağa bağlantılar homojen yayılmalıdır.





Toprak, cihaz içinde mevcut veya dışarıdan gelen tüm elektriksel işaretler için bir referans noktası oluşturduğundan dolayı, şekilde de görüldüğü üzere tüm parçalar aynı referans noktasına bağlanmalıdır. Bu bağlantılara da cihazın tüm noktalarında referans voltajının aynı seviye de olması için ayrıca dikkat edilmeli olabildiğince düşük empedansa sahip şekilde bağlantı yapılmalıdır.

Aşağıda bir adet örnek devre üzerinde anlatılan kuralların uygulandığı noktalar görülebilir.



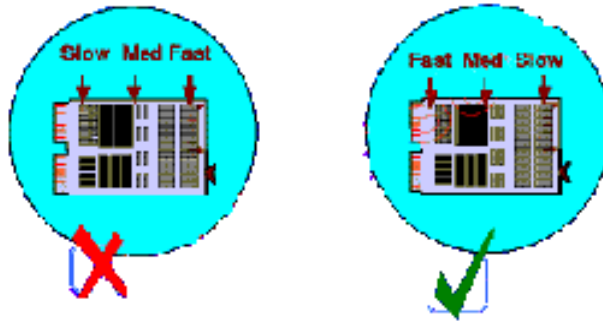
3- YÜKSEK / DÜŞÜK FREKANSLARDA DİKKAT EDİLMESİ GEREKENLER

1- Yüksek frekanslı dijital devreler ve alçak seviyeli analog devrelerden dönen topraklar birbirine karıştırılmamalıdır. Analog, dijital ve güç sinyallerinin birbirlerinin devresine girmesi önlenmelidir.

2- Yüksek frekans düşük endüktanslı seramik kapasiteler işlemciyi kuplajlamak için kullanılmalıdır. 15 MHz'e kadar olan devrelerde 0,1 uf , 15 MHz üstündeki devrelerde 0,01 uf dekuplaj kapasitesi kullanılır. İşlemcinin güç bacağına mümkün olduğunca yakın yerleştirilmelidir.

3- 10 MHz'in üzerindeki RF iletimi için koaksiyel kablo kullanılmalıdır.

4- Yüksek frekanslı elemanlar besleme katına en yakın yerleştirilmelidir.



5- 10 MHz altı işaretleri maskelemek için kullanılan kablonun tek ucundan topraklamak yeterli iken

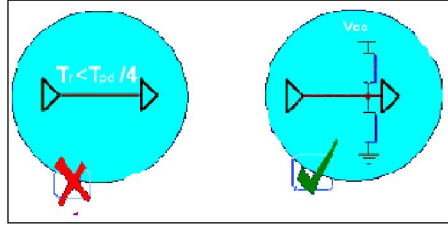


6- 10 MHz üstü işaretleri maskelemek için kullanılan kablonun iki tarafından da topraklanmalıdır.

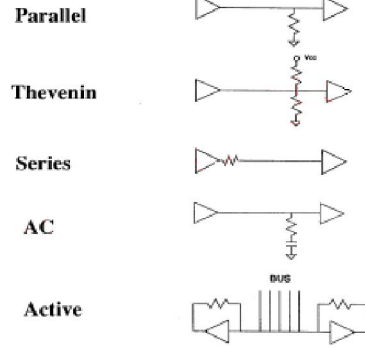


7- İdealde, işaret hatları mikroşerit olmalı ve her durumda da toprak plakası bulunmalı.

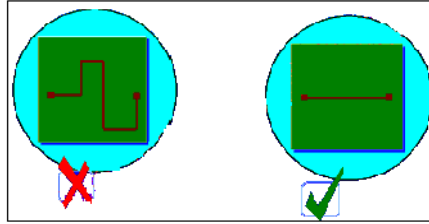
8- Yüksek frekans işaret hatları mutlaka sonlandırılmalıdır.



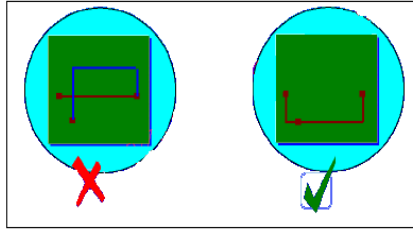
Sonlandırma Teknikleri



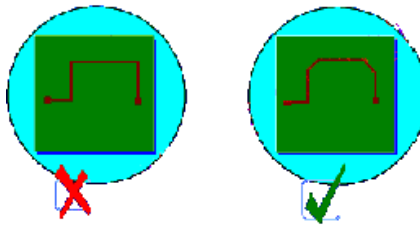
9- Yüksek frekans işaret hatları olabildiğince kısa tutulmalı dır.



10- Yüksek frekans işaret hatları kapalı çevrimler oluşturmamalıdır.



11- Keskin köşeli dönüşlerden kaçınılmalıdır.



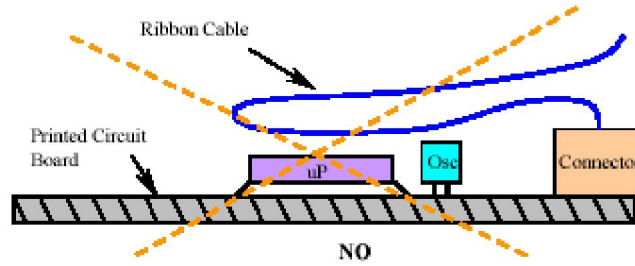
12- Boyları çeyrek yada yarım dalga civarındaki sonlandırılmamış hatlar anten gibi ışınlım yaparlar.

4-ÜRETİMDE DİKKAT EDİLMESİ GEREKENLER, ÜRETİMDEN KAYNAKLI SORUNLAR

EMC çok disiplinli ve tasarım-üretim-kullanım zincirinin her halkasında göz önünde tutulması gereken önemli bir mühendislik problemidir. Tasarlanan ve üretilen her cihazda farklı şekillerde karşımıza çıkabilir. PCB tasarımları topraklamalar düzgün yapılırsa bile üretimde yapılan bazı hatalar cihazın elektromagnetik yayılım yapmasına ya da yayılımlara karşı hassas olmasına neden olabilir. Üretimde dikkat edilmesi gereken konuları filtre yerleşimi, ekranlama, kablolama ve cihaz kasası şeklinde başlıklara da ayırabiliriz. Özellikle filtre yerleşimi istenen performansın alınması açısından hayati öneme sahiptir.

Kablolama:

1- Şerit kablolar ve jumperlar işlemciden ve osilatörden uzak tutulmalıdır. Genellikle LCD bağlantıları buna neden olabilmektedir.



2- Kablolar, elektrik alan kaynaklarından (distribütörler), manyetik alan kaynaklarından (alternatörler ve selenoid) en az 5 inch (12 cm) uzakta tutulmalıdır.

3- Işınım yolu ile yayılma bandı (30 MHz-40 GHz) ve kısmen iletkenlik yolu ile yayılma bandı (150 KHz-30 MHz) içinde kabloların karakteristiği genellikle ideal karakteristiklerinden uzaktır. Bu frekanslarda kablo indüktansı önem kazanır. Paralel hatlarda kablolar arası kapasitans önem kazanır.

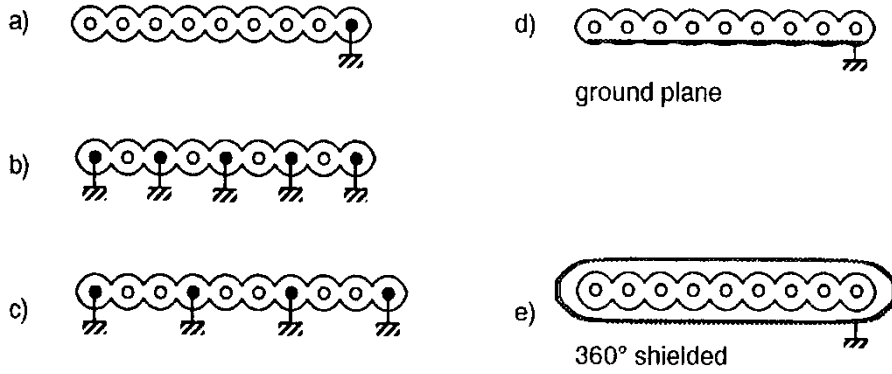
4- Cihaz içi kablolama mümkün olduğunca az yapılmalı, yapıldığında da olabildiğince kısa tutulmalıdır.

5- Hangi bağlantı şekillerinde ne tür kablo kullanılması gerektiği ve kalınlıkları vb. gibi unsurlara mutlaka dikkat edilmelidir.

Cihaz içi kablo döşemesinde kablolar belli kategorilere ayrılabilir ve her bir kategorinin yerleşim yeri farklıdır:

- Kategori 1: AC güç hatları; cihaz gövdesine bitişik taşınır.
- Kategori 2: DC güç hatları; cihaz gövdesine bitişik taşınır fakat 1. kategorideki kablolardan uzakta taşınır.
- Kategori 3: Analog işaret hatları; kategori 1 ve 2 den uzakta taşınır.
- Kategori 4: Sayısal işaret hatları; diğer kategorilerden mümkün olduğunca uzakta taşınmalıdır.

Ribbon kabloların tasarımı ve bağlantılarında aşağıdaki şekilde bağlantıların yapılması düşük halka alanı, düşük crosstalk ve minimum ortak empedans sağlar.

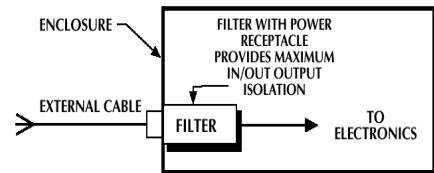


Unshielded - conductor configurations

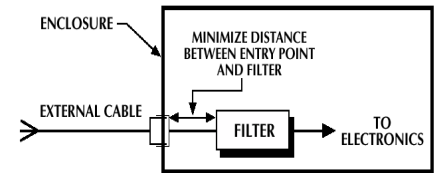
Güç filtresi yerleşimi:

6- İletim yolu ile etkileşimi önlemek amacıyla için filtre kullanılabilir. Ancak filtreleri kullanırken de dikkat edilmesi gereken noktalar bulunmaktadır.

7- Filtre kutusunun kasaya montajı olabildiğince çok düşük empedans seviyesinde gerçekleştirilmelidir. (düşük empedans tüm frekans aralığında gerçekleştirilmelidir.)

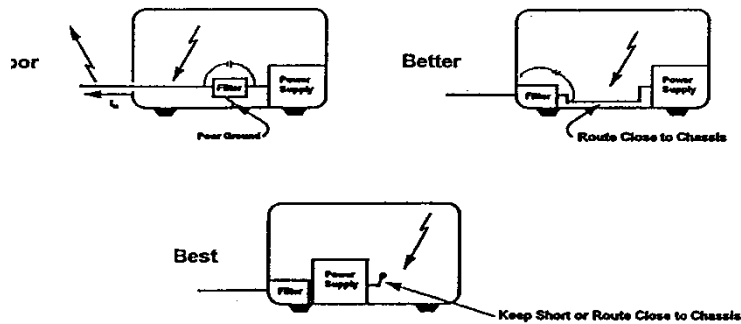


CASE 1 - FILTER WITH BUILT-IN RECEPTACLE

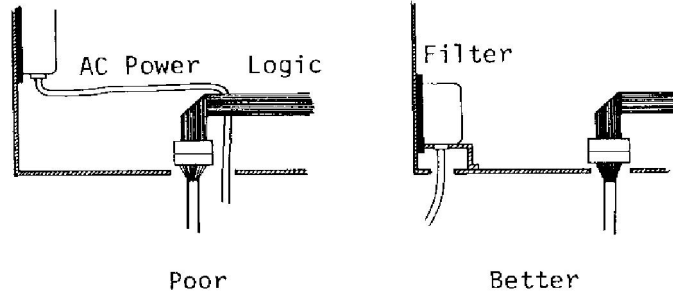
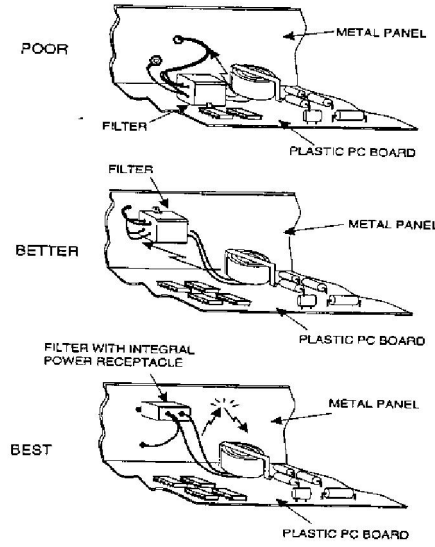


CASE 2 - FILTER WITHOUT BUILT-IN RECEPTACLE

POWER LINE FILTER MOUNTING



Resimden de görülebileceği üzere en iyi bağlantı şekli filtrenin direk olarak kasanın girişine bağlanması ve filtre çıkışının direk olarak power supply modüle bağlanmasıdır.



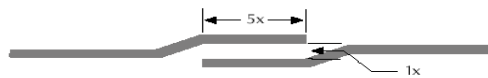
AC besleme kablolarının girişleri lojik&analog giriş çıkışlardan olabildiğince uzakta cihaza giriş çıkışı yapılmalıdır.

8- Elektronik cihazın metal bir kutu içine yerleştirilerek izolasyonu yapılmalıdır. Bunun yapılmasının iki temel amacı bulunur. Dışarıdan gelen yayılımı engellemek ve dışarıya yayılımı engellemek.

9- Kasanın mekanik tasarımı esnasında mutlaka ekranlama özelliği göz önüne alınmalıdır. Ekranlı kasa hem ekranlamayı sağlamalı hemde dış çevre koşullarına dayanıklı olmalıdır.

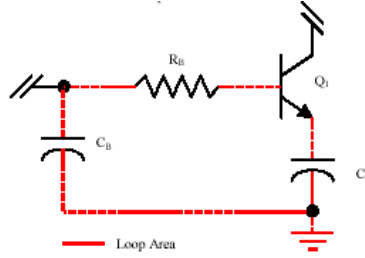
10- Kasanın yapısındaki devamsızlıklar(açıklıklar) ekranlama performansını bozar ve elektromagnetik enerjinin açıklıklardan girme ihtimalini kuvvetlendirir. EMI contaları akım devamlılığının mümkün olduğunca sağlanması için kullanılabilir. Contalarda dikkat edilmesi gereken husus contaya uygulanan basıncın optimum uygulanmasıdır.

11- Birleşim noktalarında örneğin cihaz kapağı vb yerlerde iki iletken yüzey birbirine basarak birleştirilebilir. Bu durumda birbirine basan yüzeylerin genişliği iki yüzey arasındaki boşluğun 5 katı olmalıdır.



4- KOMPANENT SEÇİMİNDE ve KULLANIMINDA DİKKAT EDİLMESİ GEREKENLER

- 1- Hacimli kapasitelere daima bir veya iki yüksek frekanslı kapasite paralel bağlanmalıdır.
- 2- Hacim kapasitesi dekaplaj kapasitesinden en az 10 kat büyük olmalıdır.
- 3- Güç yollarına yerleştirilen ferritler 1 MHz'in üzerindeki istenmeyen sinyallerin zayıflamasına neden olur. Uygun kullanıldığında etkilidir. Ama bu ferritleri kullanmak AC akımlarda direnç gösterir.
- 4- Güç anahtarlama transistörlerinin soğutucusu, transistör tabı ile aynı potansiyele bağlanmalıdır. (Besleme yada toprak) Bazen soğutucu yalıtılabilir. Bu da parazitik bir kapasite yaratır.
- 5- Tüm analog girişlerde daima alçak geçiren filtre kullanılmalıdır.
- 6- Ön gerilim (bias) direnci transistörün bazına olabildiğince yakın yapılırsa transistörün on-off olması durumundaki RF sinyalini önler.
- 7- Baz ile emetör arası bypass kapasitesi transistöre olabildiğince yakın bağlanmalıdır.

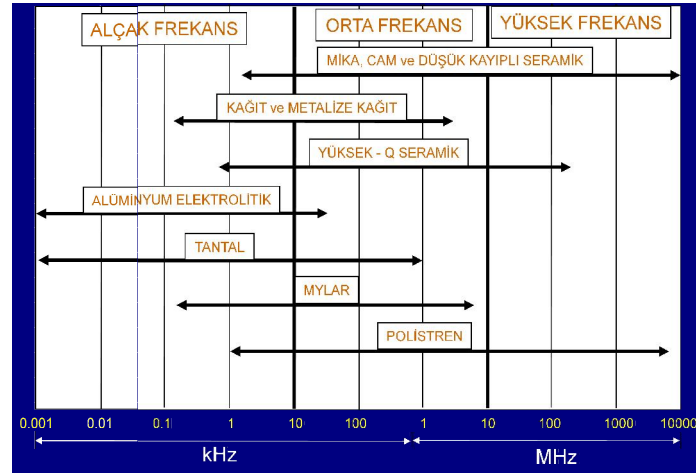


8- Kondansatörler frekansa bağlı olarak farklı karakteristik gösterebilir. Seramik kondansatörler ısıtım yolu ile yayılmanın bastırılmasında, elektrolitik kondansatörler ise iletim yolu ile yayılımın bastırılmasında kullanılabilir. Kondansatör rezonans frekansında dekaplaj kapasitörü olarak kullanılabilir.

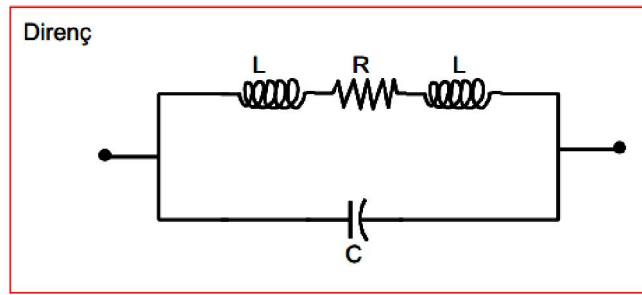
Kondansatör konusunda ayrıntılı bilgi: <http://tr.wikipedia.org/wiki/Kondansat%C3%B6r>

9- Dirençler yüksek frekanslarda idealden uzaklaşabilir, frekansa bağlı karakteristiği yapım tekniğine bağlıdır. Dirençler deki endüktans bacak uzunluklarından kaynaklanır. Parazitik kapasite özellikle yüksek değerli dirençler için sorun oluşturur. Dirençlerin termal gürültü kaynakları oldukları da unutulmamalıdır.

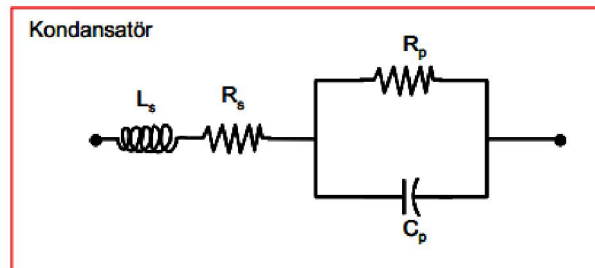
10- Kondansatör seçiminde çalışma frekansına özellikle dikkat edilmelidir. Kondansatörün kullanılabileceği maksimum frekans, elemanın parazitik endüktansı ile sınırlıdır. Aşağıdaki şekilde kapasitörler ve kullanılabilecek hız sınırları görülebilir.



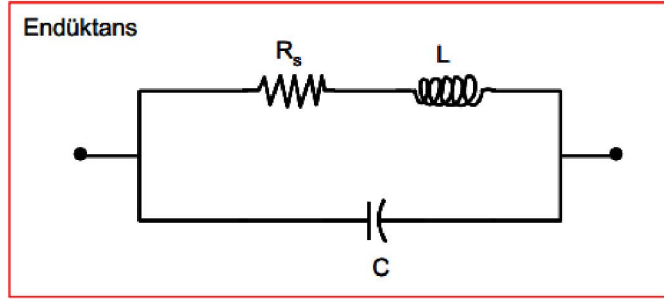
11-Basit bir direnç elemanının uygulamadaki davranışlarını daha gerçekçi açıklayan bir modeli şekilde resmedilmiştir. R değerindeki direncin gerçek hayattaki etkisi L değerinde iki seri endüktans ve C değerinde paralel bir kondansatörden oluşan bir devre ile modellenmektedir.



12- Bir kondansatör yüksek frekanslara doğru gidildiğinde bağlantı ve lehim noktalarındaki istenmeyen kaçak etkiler nedeniyle seri bir LC devresi gibi davranır. Yani hiçbir basit devre elemanı yüksek frekanslarda sadece kendisinden beklenen etkiyi gösteremez. Kondansatörün bir gerçekçi modeli ise, Şekilde gösterildiği gibi, paralel iletkenler arasındaki kayıpları temsil eden bir paralel direnç ile bağlantı kayıplarını modelleyen seri birer direnç ve endüktanstan oluşmakta.



13- Bir endüktans, yine yüksek frekanslarda bağlantı noktaları arasında oluşan kaçak kapasite etkileri nedeniyle paralel LC devresi gibi etki yapar. Endüktansın bir gerçekçi modelinde ise Şekil 6'da gösterilen ve iletken kayıplarını temsil eden seri bir direnç ile sarımlar arasında oluşan kapasitif etkileri modelleyen bir paralel kondansatörden oluşmakta.



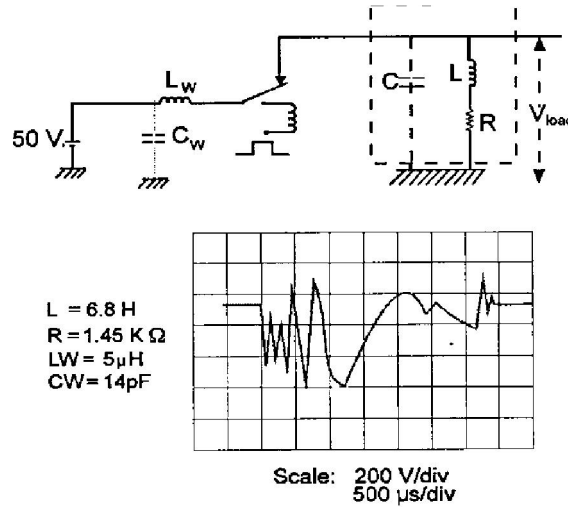
Temel RLC devre elemanlarının bile ideal davranışlarından bu kadar sapabilmesi karşısında bu elemanlardan onlarca, yüzlerce kullanılarak gerçekleştirilen devrelerin davranışlarındaki karmaşıklığı kestirmek zor olmasa gerek. İdeal olmayan bu gerçek devre elemanlarının ideal durumdan ne ölçüde sapma gösterdiklerinin incelenmesi onların bilinçli kullanımı için gereklidir.

Unutulmamalıdır ki en basitinden bir iletkenin bile çok düşük olan direnci frekansın artması ile artmaktadır.

14- Elektromekanik devreler baskı devre üzerindeki röle ve mekanik anahtar kontaklarını içerir. Bu devrelerde diğer devrelere oranla çok daha yüksek gerilim ve akımlar söz konusu olabilir.

15- Aniden açılan bir elektrik kontağı akımın aniden durmasına yol açabilir. Devrede bulunacak düşük seviyeli bir endüktans üzerinde oluşabilecek ani gerilim zıplaması kontakta kıvılcım oluşturur. Kıvılcım sonucu diğer devrelere girişim yapabilecek genişbandlı gerilim ve akımlar ortaya çıkar. Kıvılcımların bastırılması için kapasitör, varistör veya diyot gibi elemanlar kullanılır. Elektromekanik devreler diğer devreler için bir girişim kaynağı oluştururlar fakat kendileri bir girişimden etkilenmez.

Aşağıdaki devre şemasında bulunan rölenin voltajda nasıl ciddi bir zıplama etkisi yaptığı görülebilir.



16- Ferritler özellikle kablolarda istenmeyen gürültülerin önlenmesinde etkin role sahiptirler. Ferrit, iletken olmayan seramiklerin demir, magnezyum oksit gibi bileşiklerinden yapılır. Ferrit Boncuklar yüksek frekanslarda bir direnç kaybı gösterirken DC'de veya çok alçak frekanslarda kısa devre işlevi görürler. Özellikle 1 MHz'in üstünde işaretleri zayıflatmak için idealdirler.



17- Ferrit boncuklar özellikle anahtarlama etkileri ve parazitik rezonanslar sonucu oluşan yüksek frekans osilasyonlarını zayıflatmak amacıyla kullanılırlar. Yüksek frekanslı gürültü işaretlerinin iletkenlik yoluyla devreye ulaşmasını veya ayrılmasını engeller.

18- Direnç özellikli ferrit boncuklar sayısal devrelerde uzun hatlarda oluşabilecek sallantıları (ringing) önlerler. Endüktif özellikli ferrit boncuklar bir baypas kondansatörüyle beraber yüksek empedanslı devrelerin güç hatlarını temizleyebilirler. Ferrit boncuklar kullanılırken bir diğer önemli nokta üstünden geçen akımın ferrit boncuğu doyuma ulaştıracak kadar büyük olmamasıdır.

Not: Bu döküman, hazırlayan kişi için bu konuda ilk çalışma olup, ileriki versiyonlarında konular ve maddeler daha ayrıntılı, daha çok örnek gösterime sahip şekilde olacaktır. Bu dökümanla birlikte özellikle microchip in ürünleri ile çalışmakta olanlar, ekte bulunan Microchip 844 EMC isimli dosyada geçen konuları mutlaka incelemelidirler.