

YÜKSEK HIZLI DEVRE TASARIMINDA KARŞILAŞILAN GÜÇLÜKLER

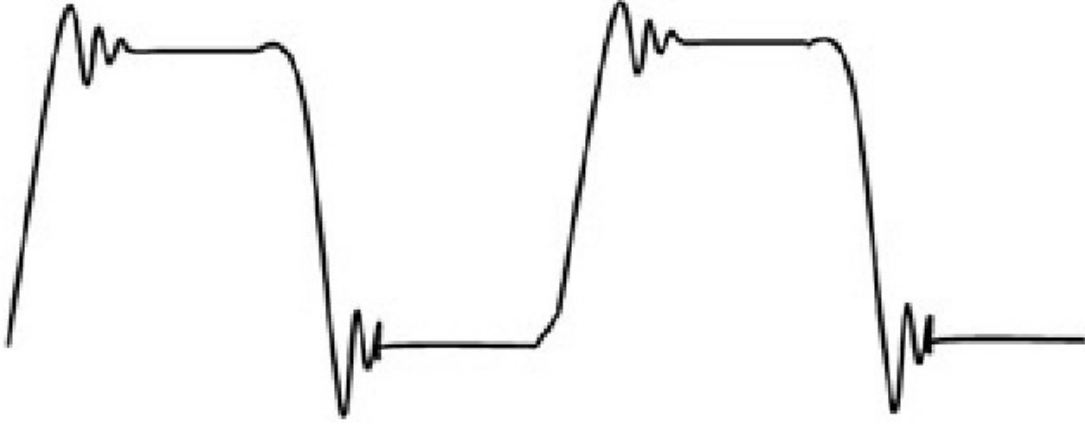
Mumin Gözütok
Argenç Ltd, 2010

Güngeçtikçe dijital devrelerin hızları artmakta ve mühendisler her yeni tasarımda daha hızlı devrelerle baş etmek zorunda kalmaktadırlar. Rutin tasarımlarda dahi karşılaşılan bu yüksek hızlar, günümüzdeki çoğu dijital tasarımcının bilmediği, yeni formüllerin ve yeni matematiksel gerçeklerin devreye girmesine neden olmaktadır. Bu konudaki bilgi eksikliği ise mühendisleri donanım tasarımından uzaklaştırmakta ve daha risksiz olan hazır çözümlere itmektedir. Ancak kısa vadede çözüm olan bu yaklaşım uzun vadede ciddi problemler doğurmaktadır. Bu yazıda bu konu bir miktar irdelenerek, probleme dikkat çekmek amaçlanmıştır.

Günümüz dijital elektroniğin hızlarıyla kıyaslandığında, hatta ilerleyen elektronların hızları başka bir deyişle ışık hızı çok yavaştır...

Dijital devrelerin hızları pikosaniye seviyelerine inmiştir. Işık ise burnunuzla gözünüz arasındaki mesafeyi yaklaşık 100 ps(3 cm) 'de almaktadır. Bu hızlarda çalışan devreler (örneğin bilgisayar anakartı)de mevcut baskı devre hatları, artık normal iletken kablolar gibi değil, yüksek frekans etkilerinin görüldüğü iletim hatları(transmission line) gibi davranmaya başlar.

Herkesin bildiği gibi dijital tasarım bilginin 1 ve 0 'lar şeklinde iletilmesi ilkesine dayanmaktadır. Bu ise Şekil-1 ' de gösterildiği gibi trapezoid şekilli bir sinyalin iletilmesi anlamına gelmektedir. Digital sinyalleri ileten hatlara "interconnect" denilmektedir. Interconnect sinyalin çıkış noktasından, varış noktasına kadar dolaştığı bütün yolu kapsamaktadır. Bu yola konnektörler, soketler, harici kablolar ve çipin iç bağlantıları da dahildir. Bir interconnect grubuna ise veri yolu (bus) denilmektedir. Bir dijital devrenin 1 ve 0 'ı ayırt ettiği bölgeye ise "threshold" bölgesi(threshold region) adı verilmektedir. Bu bölge içinde dijital alıcının 1' mi, 0 ' mı olduğu bilinmemektedir (unknown state). Entegre devrelerin datasheetleri incelendiğinde bu değerler genellikle V_{ih} ve V_{il} parametreleriyle verilmektedir. Burada bir dijital tasarımcının dikkat etmesi gereken nokta, devre üzerindeki tüm analog gerilimlerin 1 için V_{ih} 'nin üstünde kalacağı ve 0 için V_{il} 'nin altında kalacağını garanti etmelidir.

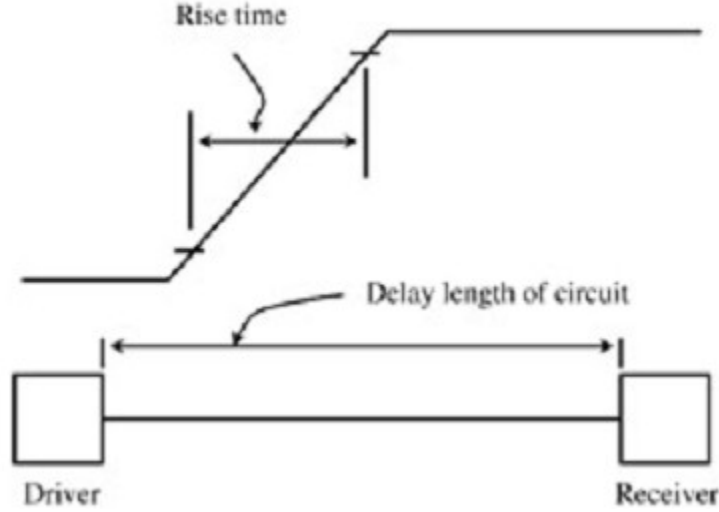


Şekil 1 : Dijital Sinyal

Devrenin hızının artması için, threshold bölgesinden geçiş süresinin azaltılması gerekmektedir. Bunun anlamı ise dijital sinyaldeki yükselen kenarla, düşen kenarın, yükseliş ve düşüş süresinin azalmasıdır. Teorik olarak sonsuz hızdaki köşe geçişi, sonsuz hızdaki bir dijital devredir. Pratikte ise günümüzde karşılaşılan devrelerde birkaç yüz pikosaniye civarında köşe geçişleri yaşanmaktadır. Köşe geçişi hızlandıkça dijital sinyaldeki yüksek frekanslı bileşenler artmaktadır. İşte bu noktadan sonra devre tasarımındaki zorluklar başlamaktadır. Çünkü her iletkenin bir indüktansı, bir kapasitansı ve dolayısıyla frekansa bağlı bir direnci vardır. Yüksek frekanslarda bu etkilerin hiç biri ihmal edilemez. Bu frekanslarda kablo artık bir kablo değil, dağıtık parazitik bir elemandır. Üzerinde gecikmeler ve anlık (transient) etkiler görülmeye başlayacaktır. Bu ise sinyalde bozulmalara ve “glitch”lere neden olacaktır. Artık kablomuz etrafındaki herşeyle(güç hatları, toprak hatları, diğer yollar vb.) etkileşen ve kuple olan bir elemandır. Sinyal artık sadece hattaki dalga şekli değil, bu dalga şekliyle etraftaki elektrik ve manyetik alanların birleşmiş halidir. Bir interconnect üzerindeki sinyal, diğer interconnectler üzerindeki sinyallerden etkilenecek ve etkileyecektir(crosstalk). Bunun ötesinde yüksek frekanslarda entegre paketlerinden, konnektörlerden, PCB üzerindeki vialardan ve yollardaki köşe ve dönüşlerden kaynaklanan çok daha karmaşık etkileşimler olmaktadır. İşte tüm bu karmaşa içerisinde iyi bir dijital tasarımcısı, devre üzerindeki tüm sinyallerin her zaman Vil ile Vih arasında kaldığını garanti eder !

Yüksek frekanslarda bir iletken, dağıtık indüktans ve kapasitelerden oluşan bir iletim hattıdır. (transmission line) Buradaki yüksek frekans ise, sinyaldeki en yüksek frekans bileşeninin dalga boyunun sinyali taşıyan hattın uzunluğuna eşit olduğu frekanstır. Dijital dünyada bir sinyalin frekansını belirlerken, sinyalin kendi periyodundan doğan frekans değil köşe geçiş hızlarını almak daha sağlıklıdır. Çünkü en yüksek frekans bileşenleri bu geçişlerde mevcuttur. Burada sinyalin düşme ve yükselme zamanlarıyla, bu sinyali taşıyan hattın boyunu kıyaslamak çok mantıklıdır. Tipik FR-4 malzemeden yapılmış bir

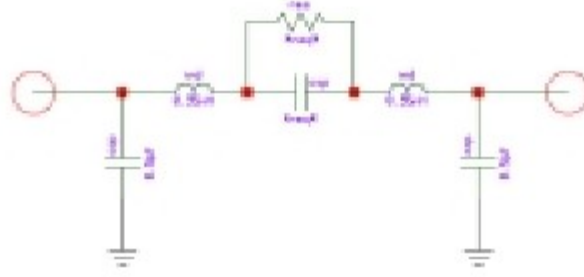
PCB 'de sinyal ışık hızının yarı hızında hareket eder. Dolayısıyla 500 ps'lik bir köşe geçişi 1 sn 'de 3 inch'lik bir yol katedecektir. Böyle bir sinyali taşıyan hattın iletim hattı sayılabilmesi içinse pratikte 3 inch 'in 1/10 'u boyunda olması yeterlidir.



Şekil 2 : Köşe geçişinin t anında iletim hattındaki görüntüsü

Özetle dijital tasarımın en zor yanlarından biri, gözönünde bulundurulması gereken çok fazla parameter olduğudur. En kötüsü ise bu parametrelerin bir çoğu tasarımcının birlikte yaşaması gereken rastlantısal parametrelerdir. Buradaki zorluk ise parametrenin kontrol edilebilir ya da edilemez olmasına bakmaksızın yapılan tasarımın çalışması gerekliliğidir. Yüksek hızlarda çalışan dijital devre tasarımı parazitik etkiler bakımından RF devre tasarımına benzemektedir. Esasen yüksek hızlı dijital devrelerde analog etkiler daha çok etkilidir. Bu nedenle dijital devrenin sinyal kalitesini etkileyen parazitik etkileri daha iyi anlamak için yüksek frekanslarda çalışan bir analog filtreyi irdeleyelim;

Alçak frekanslarda bir kapasitansda görülen parazitik etkiler ihmal edilebilir ancak yüksek frekanslarda 0805 paket bir kapasitansın 0.25 mm kalınlıkta çift yüzülü bir PCB 'ye monte edildiğinde eşdeğer devresi Şekil 3'de verildiği gibidir.



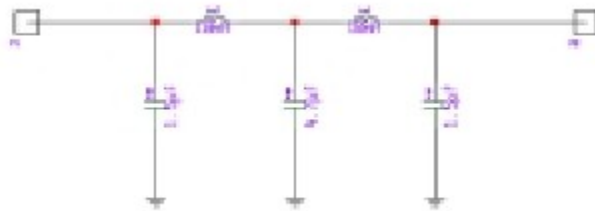
Şekil 3 : Yüksek frekanslarda bir yüzey monte kapasitansın eşdeğer devresi

Bu modelde paralel kapasiteler PCB pad kapasitelerini, iki seri indüktans ise elemanın bacak indüktanslarını, pad ve yol indüktansını modellemektedir.

Bu parazitik etkiler dışında hat üzerindeki vialarda yüksek hızlarda parazitik etkiler oluşturmaktadır. 1.6 mm uzunluğunda, 0.2 mm çaplı bir via'nın indüktansı 0,75 nH'dir. Bu değer çok düşük görünebilir ancak aşağıda verildiği gibi yüksek frekanslı bir tasarımda önemli hale gelmektedir.

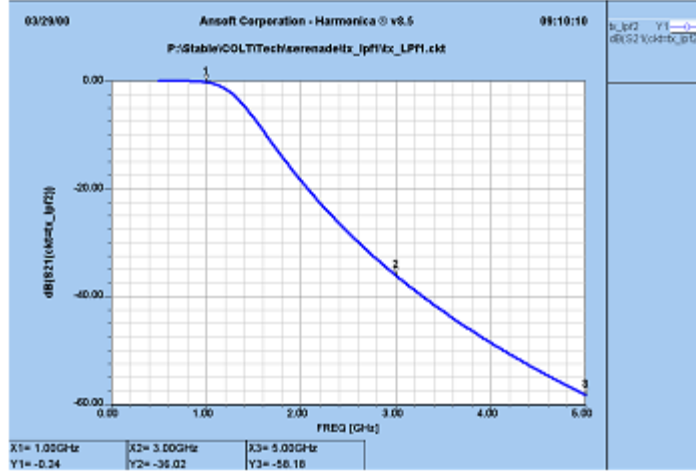
Bu parazitik etkilerin çok açık ve anlaşılır bir şekilde anlaşılması için gelin aşağıdaki uygulamaya göz atalım;

Bir yüksek frekanslı PCB tasarımcısı, güç anfişinin çıkışında kullanılmak üzere alçak geçiren bir filter tasarlayacaktır. Burada RF tasarımın detaylarına fazlaca girmeden ihtiyaç duyulan filtrenin 5. dereceden bir Butterworth olduğunu kabul edelim ve tasarımcı Şekil 5'deki gibi bir devre kursun;



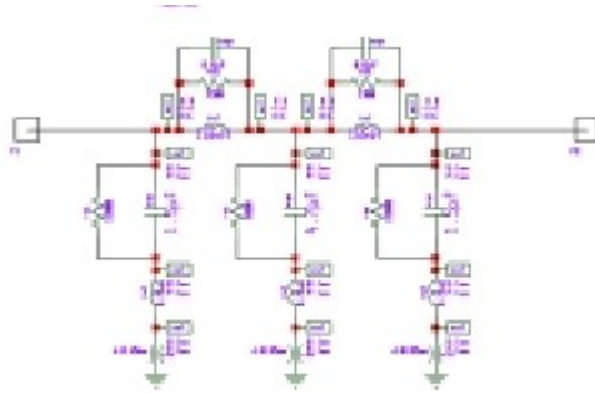
Şekil 4 : Parazitik etkiler göz önüne alınmadığında 5. dereceden alçak geçiren filter

Bu devre ile ilgili yapılan simülasyonlarda ise Şekil 6'daki gibi ihtiyaçlara cevap veren, düzgün bir frekans tepkisi elde edilmektedir.

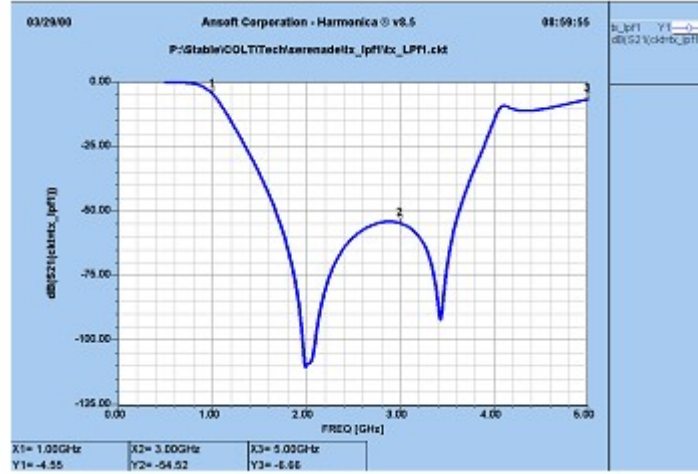


Şekil 5 : Alçak geçiren filtre ideal tepkisi

Bu devreyi PCB üzerindeki parazitik etkileri göz önüne alarak tekrar çizecek olursak Şekil 6'da verildiği gibi bir devre ve Şekil 7'deki gibi bir frekans tepkisi görülmektedir. Şekillerden anlaşıldığı gibi ideal durumda çalışan devre, gerçek etkiler göz önüne alındığında artık çalışmamakta ve garip bir davranış sergilemektedir.



Şekil 6 : Parazitik etkiler göz önüne alındığında 5. dereceden alçak geçiren filtre



Şekil 7 : Parazitik etkiler göz önüne alındığında gerçek durum frekans tepkisi

Bu çok çarpıcı örnek ilk bakışta analog ve RF tasarımcıların problemi gibi görünebilir. Ancak yapacağınız yüksek hızlı dijital tasarımlarda hatta koyacağınız seri direnç ya da viaların eşdeğer devrelerinden gelen parazitik elemanlar dijital sinyalinizin köşe geçiş frekansını filtreleyen ya da durup dururken osilasyona giren ve sinyal kalitesini bozan beklenmedik etkiler oluşturabilir.

Çizilen bu kötü tablodan sonra iyi haber, günümüzde bu parametlerin belirli koşullarda simülasyonlarını yapabilecek bir çok kaliteli yazılımlar mevcut olduğudur. Bu yazılımlar özel modelleme teknikleri kullanarak kaynağı, taşıyıcı yolu ve yükü simüle edebilirler ve gerçek duruma çok yakın başarılı analizler üretebilirler. Bunu yaparken hattın üzerindeki viaları, toprak hatları ve diğer hatlarla etkileşimleri göz önüne alabilirler. Bu tip yazılımlar gerçekten yüksek hızlı dijital tasarımların olmazsa olmazıdır. İlerleyen yazılarımızda bu analizlerin nasıl yapıldığını detaylı olarak irdelemeye çalışacağız.