



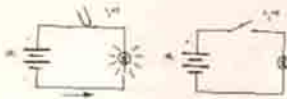
## Bilgisayar Dünyası

Sinan Göktepe

# Düşünen Devreler CPU Öncesi Çağlar

**H**ER GÜN binlerce farklı makineye işlerimizi yaptırıyor, onlarla birlikte yaşıyoruz. Onsuz bir yaşamın nasıl olduğunu düşünmek oldukça zor oluyor. Birçoğumuz o makinelerin nasıl çalıştıklarını da merak ederiz; oysa, özel merakımız olanlar dışında birçoğu hakkında pek de bilgimiz yoktur. Zaten, arabalar, motosikletler ve uçaklar gibi genelde erkeklerin ilgisini çekenler dışında, makineler hakkında bilgi bulmak da kolay değildir. Bir otomatik çamaşır makinesinin elektronik sistemleri hakkında şimdiye kadar kaç yazı çıkmıştır ki? İşin temeline inildiğinde, (özellikle yeni modellerde) çamaşır makinesiyle uçak arasındaki bir büyük benzerlik hemen göze çarpar. Neredeyse tüm makineler bir CPU (Central Processing Unit: Merkezi İşlem Birimi) tarafından kontrol edilmektedir. Pekii bu CPU'lar, arabaların ayarlarını hava koşullarına göre nasıl düzeltebiliyor, bir bilgisayar oyununda düşmanın ateş etmesini nasıl sağlıyor, yani nasıl çalışıyor?

Bir elektrik devresini inceleyelim ilk olarak. Bir pil, bir lamba ve bir anahtardan oluşan bu devrede, anahtarın düğmesine basıldığında devre tamamlansın ve lamba yansın, düğmeden parmağımızı çektiğimizde devre açılсын ve lamba sönsün. Bununla bir makinenin durumunu kontrol ettiğimizi düşünelim. Eğer, bize getirilen makinenin tamire ihtiyacı yoksa düğmeye basıp lambayı yakarız; varsa, düğmeden parmağımızı çekeriz ve lamba söner. Bunu matematiksel olarak göstermek de gereklidir. Tamire ihtiyacı yoksa  $x_t=1$  varsa  $x_t=0$  olsun. Böylece aşağıdaki devreyi yaratmış oluruz:



Buna ek olarak, çalıştırılabilirliği hakkında ikinci bir bilgiye ihtiyacımız varsa,  $x_h$  (hazır) diye ikinci bir değişken daha ekleyebiliriz. Eğer  $x_h=1$  ise kullanıma hazırdır;  $x_h=0$  ise kullanılmaz. Tamire ihtiyacı olmayan ve kullanıma hazır bir makine geldiğinde ışığın yanmasını istersek, şöyle bir devreye ihtiyaç duyarız:

Bu devre bir "ve" fonksiyonunu tanımlar ve mantık devreleri arasında çok önemli bir yeri vardır. Bu devre bir başka şekilde kurulsaydı, daha farklı ve aynı derecede önemli başka bir devre ortaya çıkardı:

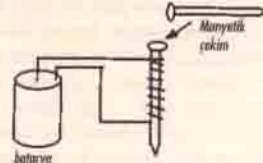
Bu devrenin lambası,  $x_t$ 'nin veya  $x_h$ 'nin düğmelerinden birine basıldığı anda yanacaktır. Bir makinenin tamire ihtiyacı yoksa ( $x_t=1$  durumu) veya kullanıma hazırsa ( $x_h=1$  durumu) bu devrenin ışığı yanacaktır. Lamba, sadece hem bozuk, hem de kullanılmaz durumda bir makine geldiğinde sönecektir.

Bu tip devrelerde ışık yerine başka bir devre bağlantısı konularak karmaşık kontrol sistemleri tasarlanmıştır; örneğin, asansöre binen herkes ineceği katın düğmesine basarak devrenin bir kısmını tamamlar (ve ineceği katın lambası yanar!); böylece asansör uygun katlarda durmaya programlanmış olur!

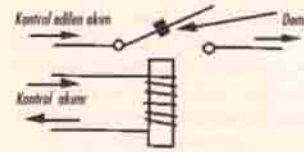
Ama, daha fazla kontrol değeri içeren sistemlerde düğmelere basmak için bir sürü parmağa ihtiyaç duyulacaktır. Bir bilgisayarın yapacağı basit bir hesaplama için binlerce düğmeye basılması gerekiyordu. Binlerce düğmeye basmak için yüzlerce insanı bir odaya toplamaktansa; bu işi de elektrige bırakmak en iyi yöntem olacaktır. Bunun için ilk bulunan sistemler rölelerdi. 1940'larda vakum tüpleri ortaya çıktı; en son da transistörler. Transistörlere geçmeden önce röleleri biraz inceleyelim.

Röleler, elektromıknatıslar tarafından hareket ettirilen anahtarlardır. Birçoğumuz, okulda elektromıknatıs yapmayı öğrenmişizdir. Bir çiviye sarılmış bir telin iki ucunu bir pile takarak üzerinden akım geçirdiğimizde çivi mıknatıslanacaktır. Teli pilden ayırdığımızda mıknatıslanma yok olacaktır:

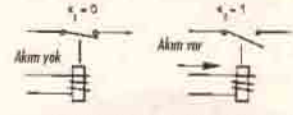
Bu devreye bir başka şekilde kurulsaydı, daha farklı ve aynı derecede önemli başka bir devre ortaya çıkardı:



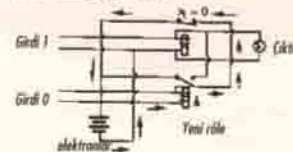
Bir anahtarı bir parça demir takalım. Altına da bir elektromıknatıs koyalım. Elektromıknatısa bağlı olan devreden her akım (kontrol akımı) geçişinde, anahtar kapanacak ve diğer devreden akım (kontrol edilelen akım) geçecektir:



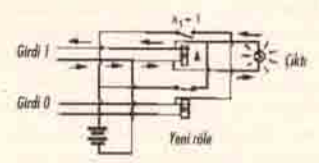
Akım kesildiğinde, anahtar kalacak ve kontrol edilen akım kesilecektir. Bu sayede karmaşık işlemler biraz otomatikleştirilebilir. Ancak, yine de bir şey daha ihtiyaç vardır: Bilgiyi saklamak. Aşağıdaki devrenin  $x_t$  değerini saklamak için kullanıldığını varsayalım. Röle kapalıyken  $x_t=0$ , açıkken  $x_t=1$  olsun.



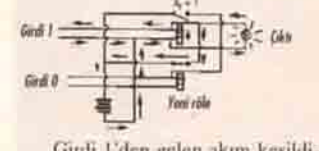
Ancak, girdi olarak kabul ettiğimiz kontrol akımı kesildiğinde, devre açılacak ve saklanan bilgi unutulacaktır. Bu engeli aşmak için devremize bir röle ve bir miktar daha tel eklememiz gerekecektir:



Bu durumda, akım yeni röleden geçerek onu "inik" durumda tutacak, oradan üst röleden geçerek pile geri dönecektir.  $x_t=0$  olacaktır. Üstteki röle, kapalı durumdadır ve sadece girdi 1'den akım alabilmektedir. Girdi 1'den bir akım verildiğinde, üstteki röle açılır ve alt rölenin devresinden geçen akımı keser. Aynı anda lamba yanmaya başlar.



Altteki röle devre dışı kalınca, onun bağlantısı kapanacak ve pilden gelen akımı da üst röleden geçirmeye başlayacaktır. Böylece üst röle hem girdi 1'den, hem de pilden gelen akım tarafından beslenecektir:



Girdi 1'den gelen akım kesildiğinde, devre  $x_t=1$  pozisyonunda kalacaktır.



Böylece ışık sürekli yanacak ve makinenin tamire ihtiyacı olduğunu sürekli bize söyleyecektir. Bu bilgiyi değiştirmek için girdi 0'dan tekrar bir akım geçirerek ışığı söndürebiliriz. Sonuçta girdi 1'den (0'dan) bir akım geldiğinde  $x_t=1$  (=0) olacak ve o değerini koruyacaktır. Bu tip devrelere flip-flop denilmektedir.

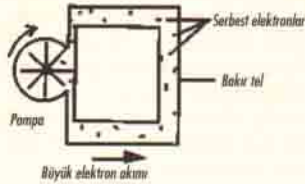
Birçok flip-flop'un birarada kullanılmasıyla toplama ve çıkarma gibi matematiksel işlemler yapılabilir; bunların sonuçlarının başka yerlere aktarılmasıyla kendi kendine çalışan kontrol sistemleri tasarlanabilir. Bu tip sistemler, hâlâ birçok makinenin bizlere hizmet vermesini sağlamaktadır.

Ancak, ilk CPU'larda kullanılan röleler çok büyüktürler (her bir kenarı santimetre mertebesinde ölçülebilir), yavaş çalışırlar (saniyede açılıp kapanma sayıları onlar mertebesinde) ve çok fazla elektrik harcarlar. Bir bilgisayar yapmak için düğmelerimizin bu sayfadaki bir noktadan daha küçük olmasını, saniyede milyonlarca kere açılıp kapanmasını ve az güç harcamasını isteriz. Bu şartları sağlayan parça ise, insanlık tarihinin en önemli keşiflerinden biri olan transis-

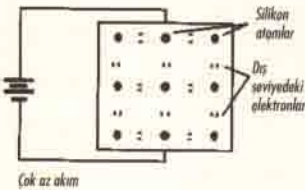


törlendir. Bu kadar küçük bir parçanın nasıl çalıştığını anlamak için, ilk olarak onu oluşturan küçük parçaların, yani atomların, özelliklerini anlamamız gerekir.

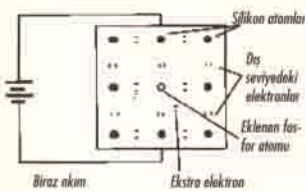
Bir bakır teli ele alalım. Bakırın 29 elektronu vardır. Lise bilgilerimizi biraz hatırlamaya çalışırsak, ilk enerji seviyesinde 2, ikincide 8 ve üçüncüde 18 elektron olduğunu ve bunların hepsinin dolu olduğunu görürüz. En dış enerji seviyesinde 1 elektron vardır ve bu oldukça düşük bir enerjiyle atomuna bağlıdır. Teli elektriksel özelliği bakımından inceleyecek olursak, bakır atomlarından oluşan bir dizi arasında en dıştaki elektronların oluşturduğu bir elektron denizi görürüz. Teli bir elektron pompasına (pile) bağlarsak, bu serbest elektronlar tel içinde dönmeye başlarlar.



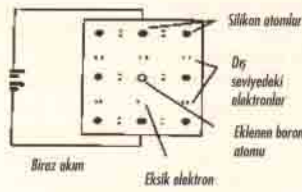
İlgimizi çeken diğer malzemeler ise silikon ve germanyum gibi yarı iletkenlerdir. Bunların en dış seviyelerinde 4'er elektronları vardır. Atomlar kendilerini, en dış seviyedeki elektronlarını 4 komşusuyla paylaştıkları bir kristal yapıda sıralarlar. Her bir atomun en dış seviyesinin 8 elektrona (4 kendisine, 4 komşularından) kaplı olduğu bu yapı oldukça kararlıdır; çünkü elektronlar çekirdekler tarafından oldukça güçlü olarak tutulmaktadır. Bu nedenle iletim için hiçbir elektron serbest değildir.



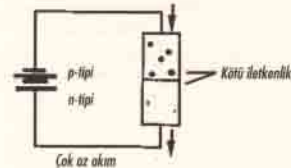
Peki, silikondan akım geçirmek için ne yapabiliriz? Periyodik tabloyu biraz incelediğimizde silikondan hemen sonraki elementin, ona çok benzeyen, ancak dış seviyesinde 5 elektrona sahip fosfor olduğunu görürüz. Eğer bir silikon kristalindeki atomlardan birini fosforla değiştirirsek, fosfor atomu yerine oldukça iyi oturacak, dış seviyesindeki elektronlarından 4'ünü komşularıyla paylaşırken, beşinci elektronun kararlı bir noktası olmayacaktır.



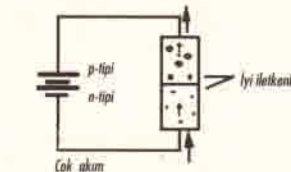
Her bir milyon silikon atomu başına birkaç fosfor atomu saflığı bozucu olarak katılsa bile, önemli miktarda akım geçmesi sağlanabilir. Bu yapıya eklenen negatif yük nedeniyle n-tipi denir. Silikon kristalini iletken hale getirmek için kullanabileceğimiz bir başka yöntem ise, kristalin içine dış seviyesinde üç elektronu olan bir element koymaktır. Böylece yapıda bir delik oluşacaktır (bir elektronun yeri boş kalacaktır). Bu delik atomdan atoma kolayca hareket edebildiğinden iletken bir yapı oluşturur. Bu tip bir kristale pozitif yük aktardığı için p-tipi adı verilmiştir. Her milyon silikon atomu başına birkaç boron atomu ile p-tipi bir kristal elde edebiliriz:



p-tipi silikon, orasında burasında delikler olan bir malzeme olarak düşünülebilir. n-tipi ise tersine, saçılmış elektronlara sahiptir. Bir p-tipi ile bir n-tipini üst üste yerleştirdiğimizde, n-tipinde sınıra yakın yerde yerleşmiş bir miktar elektron karışmaya geçip p-tipindeki delikleri dolduracak ve iletken olmayan bir ara tabaka yaratacaktır. Bu yapıyı iletkenliğini denemek için bir pile bağladığımızda ilginç bir tepkiyle karşılaşırız:



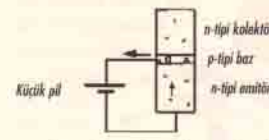
Pil, p-tipine elektron göndererek bir miktar deliği daha dolduracak, n-tipinden ise bir miktar elektron alarak oradaki elektronların sayısını azaltacaktır. Sonuçta taşıyıcıların sayısı iyice azalacak ve akım olmayacaktır. Ama, pil ters çevrildiğinde çok büyük bir değişiklik olur. Pil sürekli olarak, sınır bölgesinden geçip p-tipindeki boşlukları doldurmuş elektronların yerine yenilerini gönderir ve p-tipi malzemede dolu delikleri boşaltır. Sonuçta devreden büyük miktarda akım geçer:



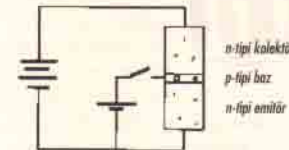
pn-bağlantısı, tek taraflı gibi çalışmaktadır. Elektronikte bunlara diyot denilmektedir; örneğin, 20. yüzyılın başlarında, bir kuvars kris-

talinin içine dikkatlice bir metal uç yerleştirilmesi ile diyot yapılabildiği keşfedildi. Bu diyot, kristal radyoların temelini oluşturuyordu. Bilmeden yaptıkları şey, kuvars kristali içinde, diyot bağlantı noktası gibi davranacak uygun saf olmayan noktalar aramaktı.

Transistörleri üretmek içinse, üç katlı bir sandviç yaratmak gerekiyordu. Sandviçin katmanlarına (daha sonra öğreneceğimiz nedenlerden dolayı) sırasıyla, kolektör, baz ve emitor adları verilmişti. Baz-emitor bağlantısına küçük bir pil takıldığında yukarıda bahsedildiği gibi bir akım oluşuyordu:

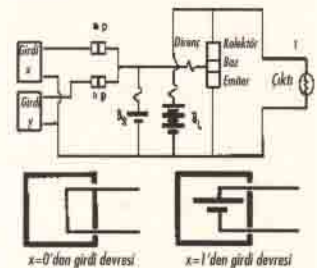


Bu akıma baz akımı denir. Baz akımını kapatıp transistörün iki ucuna daha büyük bir pil takalım.



Bu durumda, büyük pilden gelen elektronlar, emitor'den baza kolayca geçeceklerdir. Ancak, p-tipi bazdan n-tipi kolektöre geçmeleri oldukça zor olacaktır. Akım ya çok az olacak ya da hiç olmayacaktır. Üstteki bağlantı, ters duran bir diyot gibi davranacaktır. Ancak, küçük pil tekrar bağlandığında, baz-emitor bağlantısından büyük miktarda elektron yeniden geçmeye başlar. Bu elektronlardan bir kısmı baz-kolektör bağlantısından sızarak buradan da akım geçmesini sağlar. İyi tasarlanmış bir transistörde elektronların çoğu emitor'den kolektöre akacaktır. Bu, yeni bir tip anahtarın da habercisidir.

Bu anahtarla bir bilgisayar parçası üretilebiliriz. Aşağıdaki devreye bir bakalım.



Girdi devreleri aslında başka devrelerden alınan çıkımlardır. Ancak, onların nasıl işledikleri veya çıktının nasıl geldiği bizim için önemli olmadığından, onları sadece akım kaynağı olarak varsaymak yeterlidir. İlk olarak iki girdinin de sıfır olduğunu varsayalım:  $x=0$ ,  $y=0$ . Küçük pil (BS), elektronlarını alt telden gönderecektir. Elektronlar, x ve y girdilerinden

dolaşıp pile geri dönecektir. Elektronlar, bazdan da geçerek transistörü çalıştırmazlar; çünkü yol üzerindeki iki direnç üzerinden geçmeleri çok zor olacaktır. Bu durumda, büyük pil de elektronlarını lamba üzerinden geçirecektir.

Sadece bir girdinin aktif olduğu durumu (sadece  $x=1$  veya sadece  $y=1$ ) ele alırsak, o pilin küçük pille zıt yönde elektronları itecek olması nedeniyle onun hattından elektron geçmeyecektir. Ancak, diğer girdi daha önceki gibi çalışmaya devam edecek ve yine devre bir önceki hareketini sergileyecektir.

İki girdi de aktif olduğunda ( $x=1$  ve  $y=1$ ), hem x, hem de y'nin hattından elektron geçmeyecektir. Küçük pilin elektronları kolektör ve bazdan geçerek dolaşırken transistörü çalıştıracaklardır. Büyük pilin elektronları da transistör üzerinden geçerek geri dönecek ve lamba sönecektir.

Bu devre, bir ve-değil devresidir. Yani  $x=1$  ve  $y=1$  olduğu durumda lamba sönecek (çıkıtı 0 olacak); diğer tüm durumlarda lamba yanacaktır. Ve-değil devresi dijital elektronikte oldukça önemli bir devredir; örneğin iki girişine de aynı girdiyi bağladığınızda, girdinin tersi çıkıtı veren bir değil devreniz olur. Transistör, tüm dijital devrelerin ve milyarlara analog devrenin vazgeçilmez bir parçasıdır. Onun uygulamalarının sadece dijital sistemlerle ilgili olan bir tanesine örnek olarak değindik burada. Artık bilgisayarları üretme çalışmalarımıza dönebiliriz.

Bir devrede, elektronlar çok hızlı hareket etseler de ışık hızını geçmezler. Işık hızı olan saniyede 300 milyon metrenin yaklaşık 1/3000'i kadar bir hız ile gittiklerini varsayarsak, saniyede bin işlem yapılması için bir işlem sırasında 100 metreden, saniyede bir milyar işlem için, 0,0001 metreden fazla gitmemeleri gerektiğini buluruz. Buna göre, çok hızlı bilgisayarlar üretilememiz iki şarta bağlıdır: Elektronların malzemenin içinde daha hızlı gitmelerini sağlamak ve/veya devreleri ve transistörleri çok daha küçük alana sığdırmak. Bu, çok büyük ölçekli entegrasyon (VLSI: Very Large Scale Integration) teknolojisinin hedefidir. VLSI ile çoğu transistörlerden oluşan binlerce devre parçası bir entegre devre içine sığdırılabilmektedir. VLSI'de ilk olarak daha önce de ele aldığımız transistörler, Bipolar Transistörler kullanıldı. Alan etkili transistörlerin (FET: Field Effect Transistor) kullanılmasıyla VLSI teknolojisi bir adım daha attı. CMOS teknolojisinin (Complementary Metal Oxide Semiconductor: Tamamlayıcı Metal Oksit Yarı İletken) gelmesi ile birlikte geliştirilen günümüz entegre devreleri ise, çok daha düşük güç tüketimleri ile en yeni bilgisayarları bize sundu.