

UFAK BİR ELEKTRONİK HESAPLAYICI (1 + 1) i nasıl toplar?



Dünyanın en basit hesabı 1 + 1 dir. Burada normal bir cep hesaplayıcısında elektronik beyinin bu işlevi nasıl yaptığı açıklanmaktadır. Bu oldukça karışık bir olaydır. Onu bir kere anladınız mı, her gün hayatımıza bir parça daha fazla girmekte olan mikro elektronik hakkında da birçok şey öğrenmiş olacaksınız.

Aşağı yukarı 40 yıl önce Kaliforniya'da elektronik bilgini Howard Aiken, bir Computer = bilgisayar yapmaya başlamıştı. Bunun için tam beş yıl çalıştı. Çalıştırmaya başlattığı bu Computer = hesaplayıcı 18.000 elektron lambasından bir araya gelmişti, büyük bir ev kadar büyüktü ve birkaç milyon dolara mal olmuştu. Toplamayı, çıkarmayı, çarpma ve bölmeyi beceriyordu, fakat bunlardan başka bir şey yapamıyordu.

Bugün 1980 yılının başlarında aynı yetenekleri olan bir elektronik hesaplayıcı Almanya'da on, onbeş marka alınabilir. Bu örnek, son on yıllar içinde elektronik tekniği alanında ne kadar büyük ilerlemeler yapıldığı hakkında bir fikir vermeye kâfidir.

Celecek on yıllarda mini mini elektronik hesaplayıcılar-mikro prosesörler, hepimizin hayatını tahmin edilemeyecek şekilde değiştirecektir. Bugün küçük cep hesaplayıcılarının içinde çalışan mikro prosesörler birçok daha başka kontrol aygıtlarında da çalışmaktadırlar. Ucuz oldukları içinde küçük firmalar bile birçok makinaları bunlarla kontrol etmeye başlamışlardır. Kan muayeneleri hızla arka arkaya bunlarla yapılabilecek ve eskiden yalnız insanların yaptığı birçok işler artık çok daha iyi ve çabuk bunlar tarafından tamamiyle otomatik olarak yapılacaktır.

Kısacası, 1980 yılları mikro prosesörler yılı olacaktır. Yalnız fabrika veya büroda değil, elektronik, evlerde de birçok şeyleri değiştirecek, boş zamanlarda birço yeni elektronik oyunları yanında satranç makineleri her eve girecektir ve bu, ancak bir başlangıçtır.

Böyle bir zamanda yaşayacak bizler için meslek bakımından ilginç olmasa bile, mikro elektronik hakkında bazı bilgilere sahip olmak her halde faydalı olacaktır. Bu yazı bir hesaplama

örneğinde mikro elektronun ne olduğunu ve mikro prosesörlerin nasıl işlediğini gösterecektir.

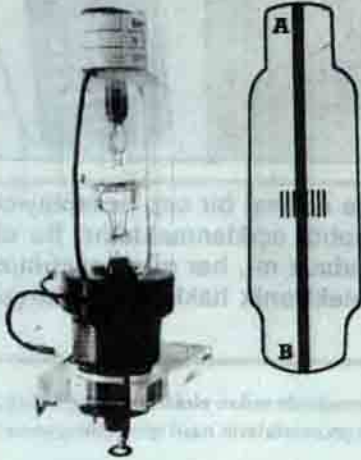
MİKRO ELEKTRONİK ELEKTRON LAMBASININ YERİNE NASIL GEÇTİ?

Elektronik, önünde "mikro" kelimesi olmadan yıllar önce bildiğimiz bir şeydi. Elektronik çağı ilk elektron lambası (tüpü) çalışmaya başladığı gün başlamıştı. Bu sayede hoparlörlü radyo cihazlarının yapılması olanağı doğmuştu. Elektron lambaları bildiği gibi antenin aldığı çok zayıf işaretleri yüz kat kuvvetlendiriyordu. Bu yüzden çok zayıf elektrik titreşimlerinden kuvvetli gerilimler meydana geliyordu. Bunlar da bir elektro magnet üzerinden hoparlörün zarını (membran) titretmeğe kâfi geliyorlardı.

Bir radyo cihazının bir Computer ile hiç bir ortak tarafı yoktur. Buna rağmen burada ilk önce elektron lambasından söz etmek yerinde olur. Onun nasıl çalıştığını bilenler, ileride mikroelektronik'in gizlerini anlamakta daha az güçlük çekerekler.

Bir elektron lambasında elektronlar (yani elektrik akımı) bir girişten bir çıkışa doğru akarlar. Bu 24. sayfadaki resimde de görülmektedir, girişten çıkışa doğru giderken elektronlar yolları üstünde bulunan bir kafesten (grid) geçmek zorundadırlar. Eğer kafesin kendisi zayıf bir elektrik gerilimi altında ise elektronları daha kolay geçirir. Eğer kafese kuvvetli bir elektrik gerilimi (volta) verilirse, o zaman elektronlara karşı göstereceği direnç artar. Radyo cihazında bu etkiden kafesi alıcı antene bağlamak suretiyle daha önceden faydalanılırdı. İstasyondan gelen işaretler kafese iletilirdi. Bu işaretler gerilim azalıp çoğalmasından meydana geldiği için, kafesin gerilimi de bunlara bağlı olarak devamlı

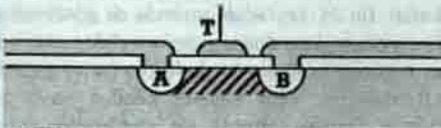
**Bütün Bilgisayarların gizi:
Elektronik anahtarlar
birbirlerine hizmet ederler!**



Radio lambası: Elektrik akımı A'dan B'ye doğru gider, eğer ortadaki kafes (griy) yolu serbest bırakırsa. Başka lambalardan gelen impulsler kafesi açar veya kapatır. Bu gibi anahtarlar ilk yapılan bilgisayarlarda kullanılmıştı. Sakıncaları çok büyük olmaları ve çabuk bozulmalarıydı.



Transistör: Eğer ortadaki ince katman başka bir transistörden gelen impuls ile elektriksel yüklenirse, akım alttaki katman (A)'dan üstteki katman (B)'ye geçer. Transistörler sayesinde 1950'lerde bilgisayar-devrimi mümkün olmuştur. Fakat bu anahtarlar bile daha çok büyüktü.



Mikro anahtar: Akım soldaki (A) çıkıntısından sağdaki (B) ye geçer, eğer ortadaki (T) kapısı gerilim altında ise. Bunun üzerine bir elektrik alanı çıkıntılar arasındaki taranmış bölgedeki elektronları emer ve onu "iletken" yapar. Bu gibi anahtarlardan binlercesi ufak bir chip üzerine sığar.

alçalıp yükselirdi. Bu gerilim değişikliklerinin ritmi girişten çıkışa gitmekte olan elektron akımını yönetirdi (kontrol ederdi). Bu "ana akım", antenden gelen işaretlerden yüz kat kuvvetli olduğu için bunlar da yüz kat kuvvetlenmiş olurdu.

Böylece radyo lambalarıyla computer de yapmak kabildi. Amerikalı Howard Aiken ilk olarak 40 yıl önce bunu düşündü. Computerde elektron lambaları "anahtar" görevini görüyordu. Radyo lambasından farklı olan yanı şuydu: Hoparlörde ses titreşimleri oluşturmak amacıyla kafese gerilim eğrileri iletilmiyordu; bunun tersine kafese ya yüksek gerilim veriliyor (o zaman hiç bir elektron bir yandan öteki yana geçemiyordu, yani anahtar kapalı idi), ya da kafese hiç bir gerilim verilmiyordu (o zaman da elektronlar karşılıklarına hiç bir engel çıkmadığı için bir yandan öte yana serbestçe geçiyorlardı, yani anahtar açıktır).

Anahtar kapalı, anahtar açık; bugün genellikle bilinen bu iki "durum" computerlerin ayırabildiği iki farklı hareketten başka bir şey değildir. Eğer anahtar kapalı ise bu "hayır" veya "sıfır" anlamına geliyor, açık bir anahtar ise "evet" veya "1" demek oluyordu.

Computer uzmanı olmayan herkesin aklına gelen soru, böyle basit bir sıfır ve birlerle bir makinenin bu kadar güç sorunları nasıl çözebileceğidir. Bunun yanıtını matematikçiler verebilirler. Bütün zamanların en büyük matematikçilerinden biri Alman bilgini Wilhelm Leibniz (1646-1716) idi ve bu büyük adam daha o zaman otomatik bir hesap makinesi yapmayı denemiş, maalesef sonunda Fransız filozofu Blaise Pascal gibi o da bu işi başaramamıştı. Fakat bütün bu deneyimlerin sonundan ortaya birşey çıktı: Leibniz bütün bir matematik sistemi geliştirebilmek için yalnız iki sayıya ihtiyaç olduğunu buldu. Basitleştirilmiş olarak söylenirse, normal sayılarla hesap etmek yerine sıfır veya birle yetinilebilirdi. Bu iki sayı (rakam) ile istenilen her şeyi denklemler halinde ifade etmek kabildi.

Leibniz'den yüz yıl sonra bir İngiliz "Computer Mantığının" esaslarını ortaya çıkardı. Bu Georges Boole idi ve 1815 ten 1864'e kadar yaşamıştı. Boole önceleri bir köy okulunda öğretmendi. Boş zamanlarında en çok sevdiği şey matematik kitapları okumaktı. Bu alan onu o kadar ilgilendirdi ki, o da kendiliğinden birçok problemler üzerine düşünmeğe başladı. Sonunda ortaya çıkan "Boole-Cebiri" ona bir Profesörlük ünvanı kazandırdı. Boole'nin koyduğu bazı kuralları okursanız, bunları ilk önce anlamayabilirsiniz, çünkü bunlar yeni okula başlamış çocuklara verilen ödevlere pek benzer:

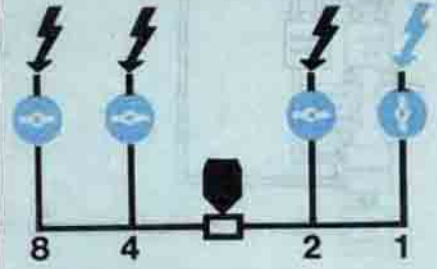
1 kere 1 = 1 (evet) kere (evet) = (evet)
 1 " 0 = 0 (evet) kere (hayır) = (hayır)
 0 " 1 = 0 (hayır) kere (evet) = (hayır)
 0 " 0 = 0 (hayır) kere (hayır) = (hayır)

İlk bakışta bu kuralların öyle şaşılacak bir tarafı yoktu. Fakat Computer yapmaya başlayan insanlar için onlar gerçekten hayret verecek şeylerdi. Computer (hesaplayıcı) yapmaya uğraşan Konstrüktörlerin (dizayner = tasarımcı) ellerinde olan şeyler yalnız anahtarlardı ve bunlar ya açılıyor, ya da kapanıyordu, hepsi bu kadardı. Fakat bu yeni tür hesaplama onlara yalnız iki rakamla bütün hesap operasyonlarını mükemmelen yapmak olanağını veriyordu.

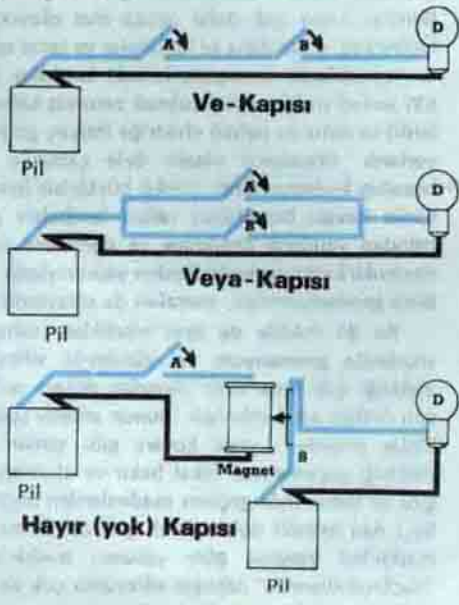
TRANSİSTÖRLER COMPUTER - TEKNİKTE NASIL DEVRİM YARATTILAR ?

İlk olarak Alman Konrad Zuse anahtarlardan otomatik bir hesaplayıcı yapmayı denedi. O sonradan Amerikalı Aiken gibi radyo lambaları kullanmadı, röle anahtarından faydalandı ki, zamanımız telefon haberleşmesinde kısmen hâlâ kullanıldığı gibi. Zuse'nin hesap makinesi bu ağır çalışan anahtarlar yüzünden başarısızlığa uğradı. Yalnız ilk olarak o değişik anahtarları o şekilde birbirleriyle birleştirebildi ki, bunlar Boole'un cebrine uyarak çalışabildiler, kendi kendilerine mantıklı kararlar verebiliyorlar, hesap yapabiliyorlar, hatta (önceden kendilerine verilen programlara göre) "düşünebiliyorlardı". Bu hesap

BİR ELEKTRONİK ANAHTAR YALNIZ "EVET" VEYA "HAYIR" DİYEBİLİR. BUNDAN DOLAYI BİR SAYISINI DEPOLAMAK İÇİN DÖRT HATTA İHTİYAÇ VARDIR

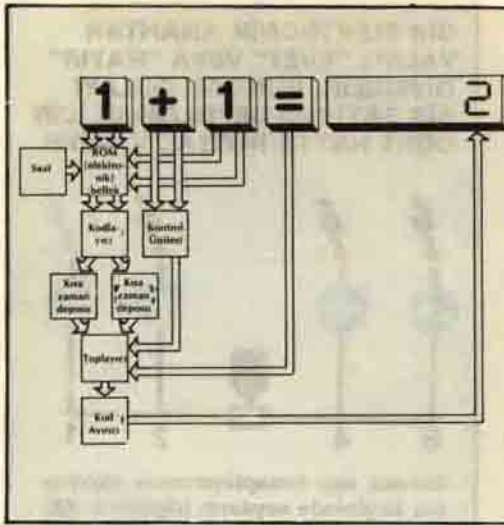


Burada cep hesaplayıcısının elektronik beyininde sayıların bilgisayar diline nasıl çevrildiği ve sonra nasıl depolandığı görülmektedir. Her depo, anahtarlar aracılığıyla (evet) açılabilir ve (hayır) kapanan dört hattan oluşur. Mini computer de sağ hattın sayı değerinin bir ve bundan sonra gelen içerdeki hattın da sayı değeri iki olarak programa alınmıştır. Hattan hatta geçenler sayı değeri iki katına çıkar, resimde yalnız sağ anahtar açıktır. Yani 1 evet, 2 hayır, 4 hayır, 8 hayır. Elektronik anahtarların yerine burada daha iyi anlaşılması için daha basit simgeler kullanılmıştır.



3-İki elektronik anahtar beraberce "evet" ve "hayır" dan daha çok şeyler yapabilirler, mantıklı kararlar bile verebilirler.

Cep hesaplayıcısı bir ile biri topladığı zaman, iki değişik depodan "toplayıcı" ya elektrik impulslar gelir. Toplayıcı her seferinde iki anahtarın kombinasyonlarından oluşur. Buna "kapı" adı verilir. Her "kapı" akım impulslarından alır ve sonra bunları ileriye aktarıp aktarmayacağına karar verir. Üç çeşit kapı vardır. Ve-kapısı ki bu aldığı impulsları yalnız ileriye geçirir, eğer her iki giriş hattında akım varsa, veya-kapısı bir impulsu ileri geçirir, eğer hiç olmazsa bir giriş hattında akım varsa. "Yok-kapısı" gelen her sinyali tersine çevirir: Akım gelince hiç biri ileri bırakılmaz ve geri gönderilir.



BASİT BİR HESABIN UZUN YOLU

Parmakla üzerinde "bir" rakamı olan tuşa basılır. Böylece elektron ile beyinden "Kodlayıcıya" iki akım impulsu gider, oradan da iki depodan birine. Bundan sonra yapılacak hesaba göre (+) tuşuna basılır. Böylece yine iki kat elektrik gerilimi altına girer, bu emirlerin üzerine de merkezi kontrol ünitesi "Toplam Programını" açar. Bundan sonra bir tuşuna ikinci bir kez basılır. Bunun üzerine aynı olay bir daha tekrar eder, birinci de olduğu gibi. Bir sayısı tekrar elektrik impulsuna çevrilir ve sonunda ikinci depoya giderler. eşit (=) tuşuna bundan sonra basılır, bu toplayıcıya olan yolu açar. Burada toplama yapılır. Sonuç "Kod Ayırıcı" gider. O birbirinden farklı akım darbelerinin sırasını yeni akım impulslarına çevirir ve ekranda 2 sayısını gösterir.

makinesi sonradan yapılan elektron lambalı hesap makinelerinden, bugünkü Computer teknik aşamasına göre çok ilerideydiler. Zira değişik programlara göre çalışması onu "zekâ sahibi" bir makine haline sokuyordu.

Mantıklı yasalara göre hareket eden anahtarların karmalarına "kapı" adı verilir. Böyle bir kapıya her zaman iki akım hattı bağlıdır. Kapıların bir uzmana işlevini açığa vuran adları da vardır. Örneğin "Ve-kapısı" nı ele alalım. Bu o şekilde programlandırılmıştır ki ancak her iki hatta da akım olduğu takdirde gelen akımın geçmesine müsaade ediyordu. Yalnız bir hat, örneğin gidişe giden hat akım altında bulunursa, kapı kapanır ve hiç bir işaret geçemez. Gelelim "veya-kapısına. Bu yalnız, her iki giriş hattından hiç biri akım işareti göndermezse, kapalı kalır. Fakat her iki hatlardan biri veya ikisi işaret gönderirse açılır.

HAYIR-KAPISI DA AYNI ŞEKİLDE ÖNEMLİDİR

O bütün bu anahtar karmalarından en basit olanıdır. Onun yalnız bir tek giriş hattı vardır, bu bir işaret gönderdiği zaman durdurulur; hiç bir işaret göndermezse, hayır kapısı kendiliğinden bir elektrik işaret verir. Yani hayır kapısında her haberleşme ünitesi kendinin aksine çevrilir. "Hayır" veya sıfırdan bir veya "Evet" olur.

Yukarıda söylendiği gibi 40 yıl önce Zuse röle anahtarlarıyla böyle kapılar yapmıştı. Howard Aiken ise bunları elektronik lamba anahtarlarıyla yapmayı başardı. Computer çağını aydınlatmaya ikisi de muvaffak olmadı. Röle anahtarları çok yavaş çalışıyorlardı. Elektron lambalarına ise fazla güvenilemiyordu. Ailenin Computerinde

ikide bir de bir lamba bozuluyor, bu da bütün computerin durmasına neden oluyordu.

Büyük değişiklik 1947 de oldu. Bu yılda transistör bulundu. O tam bir elektron lambasının yaptırdığı işi yapıyordu: akım bir girişten (Emitterden) bir çıkışa (Kollektöre) doğru akıyordu. Bu esnada akımın bir engelden geçmesi gerekiyordu. Bu engel akım altında olunca elektronlar geçebiliyordu, aksi takdirde yol kapanıyordu.

Transistörler radyo cihazlarındaki lambaların yerini aldılar. Fakat computer tekniği için getirdikleri faydalar daha da önemli oldu. Birincisi, onlar lambalardan çok küçüktüler. İkincisi, onlar çok daha ucuz mal oluyordu. Üçüncüsü, onlar daha az lüzumsuz ve taciz edici ısı yayıyorlardı, (computerlerdeki lambalar 200 KW sarfediyorlar ve soğutulmak zorunda kalıyorlardı) ve daha az pahalı elektrige ihtiyaç gösteriyorlardı. Dördüncü olarak öyle çabukça da bozulup kırılmıyorlardı, çünkü büyük bir özenle içinin havası boşaltılmış radyo lambaları gibi camdan yapılmış değildiler ve darbelerle karşı dayanıklı kırılmaz maddelerden yapılmışlardı. İlk önce germanyumdan, sonraları da silizyumdan.

Bu iki madde de aynı niteliklere sahipti; yüzde yüz germanyum ve yüzde yüz silizyum elektrige çok fena iletir (Bundan dolayı onlara yarı iletken adı verilmiştir. Bunun anlamı şudur: Onlar porselen, yada kuvarş gibi tamamiyle elektrige geçirmeyen, fakat bakır ve alüminyum gibi de tamamiyle geçiren maddelerden değildiler.) Asıl önemli nokta şimdi geliyor: İnsan bu maddeleri isteğine göre yabancı maddelerle "ilaçlayabiliyordu" örneğin silizyuma çok az bir miktar arsenik veya fosfor karıştırınca, onun

elektrik akımına karşı davranışı derhal değişiyor, birdenbire yarı iletken tam iletkene dönüşüyor. Bunun nedeni elektron kabuk (zarf) larının karma karışık olmasıdır. Bu karıştırılan arsenik veya fosfor atomlarına "taciz edici" atomlar adı verilir. Böyle taciz edici atomların on tanesi, bir milyar silisyum atomundan meydana gelen bir katmanı "doping" lemeye, ilaçlamaya (Amerikalıların kullandığı meslek terimiyle) yeter.

Bu doping ne iş görür? Katmanın üzerinde ya çok fazla elektron (eletron fazlası) ya da çok az elektron (buna delikler denir) vardır. Delikler dışarıdan içeriye doğru hareket eden elektronlara yer verirler. Fazla elektronlar ise, ellerine bir fırsat geçer geçmez, derhal kendileri akarlar, ya da elektronik bir basınç, elektrik gerilim oluştururlar.

BİR CHİP ÜZERİNDE TRANSİSTÖRLER NASIL "BÜYÜTÜLÜR"?

İlk önce bir transistör nasıl birşeydir? Bir kere o basitçe kaynatılmış üç katmandan meydana gelir, bunlar germanyum, ya da silisyumdan yapılmıştır. Fakat değişik "doping" lenmiştir. Alt katmandan eletronlar içeri girer, üst katmandan ise tekrar dışarı çıkarlar. Yaptıkları işlev için önemli olan çok ince olan orta tabakadır, buna Base = kaide, temel adı verilir. Şimdi base'e akım verilirse, elektronlarda içine pompalanmış olur, yani o girişten çıkışa kadar bütün yolu serbest bırakır. Eğer böyle bir "kontrol akımı" akmazsa yol kapalı kalır.

Kitle halinde imal edilen tek tek transistörler büyük hesaplama sistemlerinin yapılmasına olanak sağlar. Bu muazzam elektronik beyinler 1960 yıllarından bu tarafa bütün dünyayı fethettiler. O zaman şu küçücük cep hesaplayıcılarını kimse düşünmemişti bile. Yalnız bir elektronik beyinin gerçekten hesap edebilmesi için birkaç bin elektronik anahtara ihtiyaç olduğu biliniyordu.

1960 da John Kennedy Amerika Cumhurbaşkanı seçildi ve o aya ilk gidenlerin Amerikalı olmasına karar verdi. Roketlerin ve Aracının hareketlerinin insan eliyle kontrolü imkânsız denecek kadar güç ve karışık. Bunun için kâfi derecede küçük ve hafif (uzay gemilerinde taşınabilecek şekilde) elektronik beyinlere ihtiyaç vardı.

İlk önce bu ihtiyacın basıncı altında esas rolü oynayan düşünce doğdu: Neden her bir transistör tek tek imal edilmeliydi? Neden binlercesi birden değil? Neden transistör sistemlerinin uzun zaman ve bir sürü emekle monte yoluna gidilmeliydi? Acaba daha baştan bütün transistör sistemlerini birden yapmak kabil olmaz mıydı?

İşte bu emeklerin sonunda "chips" bulundu. Bunlar üzerlerinde transistörlerin "büyütüldüğü" silisyum levhalarıydı. Böyle yüksek derecede saf bir silisyum levhası özel bir fırında ilk önce fosfor atomları ile "islatılır". Tabii yalnız üzerinde transistörlerin büyüüleceği yerlerde. Öteki bütün levha maskelerle örtülür.

Bundan sonraki adım: olağanüstü ince yeni bir silisyum katmanı bunun üzerine dökülür tekrar bir maske ile örtülür ve "arsenik buharı" ile islatılır. Üçüncü tabaka yine fosfor ile "ilaçlanır". Böylece kenarları 5 milimetrelük bir kare şeklindeki levhacığın üstünde birden on binlerce elektronik anahtar oluşmuş olur. Şimdi bunda eksik olan izolasyon ve hatlardır. Onları da buharlamak suretiyle yaparlar. Alüminyum buharları soğuyunca elektrik hatlarını oluşturur. İzole edilecek bölgelerin üzerine oksijen sıkılır. Silisyum, silisyum okside dönüşür, bu ise yarı iletken değil, hiç iletken olmayan bir kuvars meydana getirir.

Bir cep hesaplayıcısının chip'i üzerinde neler vardır? ona bir büyüteç altında bakılırsa, birçok bölgeler görülür ve içinde anahtar elemanlarının yerleştirilmiş olduğu örneklerin ayrımlı şekillerinden fark edilebilir.

Biz burada chip'i en önemli işlev sistemlerinin açıklanabilmesi için sıra ile gözden geçiriyoruz:

Birinci: Rom (read only memory), sadece okuyan hafıza sabit olarak verilen ve değişmeyen program. Elektronik beyin her adımdan önce ne yapılacağını sormak zorundadır.

İkinci: Merkezi kontrol ünitesi. Bu her adımın düzenli bir şekilde birbirini izlemesini sağlar.

Üçüncüsü: "Encoder" Kodlayıcı. Bu tuşa basılan her sayıyı hayır, evet, sıfır ve birbirlerden bir karmaya dönüştürür, hesaplayıcı yalnız bu simgeleri işleyebilir. Bunun nasıl olduğunu resimde (No. 4) gösteriyoruz.

Dördüncüsü: Kısa zaman biriktiricisi - depolayıcısı. Bunun yapılışı özellikle ilginçtir. Kısa zaman depolayıcısında anahtarlardan oluşan zincirler arka arkaya sıralanmıştır. Bunlara Flip-Flops denir, çünkü onlar bir çocuk-bahçe-sindeki tahtaravalliler gibi çalışırlar. Her anahtar o şekilde yapılmıştır ki, bir zaman işareti sırasında aldığı iletişimi kendisinden sonrakine verir. Bu anahtar böylece en basit bir depolama elemanı oluşturur.

Beşinci: Impuls, darbe işareti vericisi. Bu saniyede 750.000 kez titreşen bir küçücük bir kuars saatına bağlıdır. Her üç titreşimde impuls, darbe vericisi elektronik beyine bir akım gönderir. Bu impuls vericisi bütün sistemin "kalp vuru-

şunu" simgeler. Bu sayede yaşam, yani sıfırlar ve birler chip'te sürdürülür.

Bunlar "toplayıcı" da işlenir. Bütün anahtar karmalarından en karmaşığı budur. Toplayıcının sayacı doğru sonucun alınmasını sağlar.

Bu sonuç Kodlayıcıya (decodere) verilir, o öyle bir şekilde programlanmıştır ki sıfırlar ve birlerden normal sayılar yapar ve bunları gösterge levhasında, ekranda, gösterir.

Bir chip üzerinde en basit bir hesap işlemi olan $1+1=2$ nin nasıl yapıldığını sırasıyla izleyelim.

1. Hesaplayıcının üzerindeki "1" tuşuna basılır. Bu basınçla iki hatta elektrik akımı verilir. Yani iki akım impulsu elektronik beyine gider ve "Encoder" e ulaşır. Bu programa başvurarak bahis konusu olan sayının değerinin "bir" olduğunu saptar. Bu depoya iletilir.

2. Şimdi + tuşunun üzerine basılır, yine iki hatta elektrik akım gider. Bunun impulsları merkezi kontrol ünitesine geçer ve orada "kapıları" toplama üzerine açarlar.

3. İkinci kez (1) sayısının tuşu basılır. Şimdi bu mesaj "Encoder" üzerinden başka bir depoya gider.

4. Eşittir tuşuna basılır. Böylece hesaplayıcının küçük göstergesi üzerinde "iki" sayısı gözükür. Tabii bizim için "derhal" gözükün şey Elektronik hesaplayıcı için oldukça uzun bir süredir, çünkü o her işlem için yalnız 250.000 de bir saniyeye ihtiyaç gösterir.

5. Sonuç göstergede parlamadan önce her iki depodan gelen mesajlar toplayıcıya erişmelidir, her seferinde iki sayıyı toplayabilmesi için, onun iki giriş hattı vardır. Bunlar dört mantiki kapıya bağlıdır. Her kapı birçok anahtarlardan bir araya gelmiştir. İmpulslar her işlemde yalnız bir anahtardan geçebilirler.

6. Bütün kapılardan geçildikten sonra, her iki impuls — her biri bir sayısının değeriyle — bir tek impuls halini alır. Başka bir deyişle, yalnız bir

çıkış hattı elektrik akımı verir. O daha bir kaç kez hesaplayıcının toplama kombinezonlarından geçer, bunlar daha büyük sayıların toplanması için gereklidir, fakat değişmeyerek öylece kalır.

7. Akım impulsu Decoder'e ulaşır, bu öyle bir hat üzerinden olur ki, o kesin olarak iki sayı değeri üzerine programlanmıştır. Bundan sonra "decoder" sonucun ekranda görünmesini sağlayacak hatları serbest bırakır.

8. Ekranda beraberce (2) yi oluşturan ufakık çizgicikler parlarlar. İşte bir cep hesaplayıcısında biri birle toplamak bu kadar karmaşıktır. Daha güç problemler de aynı esasa göre çözülür. Temel ilke "ikili sayı sistemidir". Şimdi de birden daha büyük sayılar alalım ve ikili sistemde hesaplayalım, örneğin iki ve altı sayılarını alalım. İlk önce bunları bilgisayar diline çevirelim:

$$\text{iki} = 0010$$

$$\text{altı} = 0110$$

cep hesaplayıcısı bu sayılardan her birini depolamak için dört hatta ihtiyaç gösterir. Sağdan sola her kat o şekilde programlanmıştır ki, burada her sayı değeri iki katına çıkar. İlk hat bir değerine sahiptir, ikincisi iki, üçüncüsü dört, dördüncüsü sekiz, beşincisi onaltı ve bu böylece sürer gider.

Şimdi bilgisayar, computer mantığına, bu yazıda sözü geçen Boole cebrine geçelim. Onun yasalarna göre kararı veren toplayıcının mantık bloklarıdır. Yani sıfır artı sıfır, sıfırdır; birinci hatta hiç bir akım impulsu yoktur. Devam edelim: Bir artı bir, birdir, üçüncü hatta bir akım impulsu geçer. Bundan dolayı bir artı bir eşit birdir, bir akım impulsu dördüncü hatta gider. Bunun sayı değeri sekizdir. Bundan da iki artı altı'nın toplamının doğru olduğu meydana çıkar.

Böylece bu yazı bir cep hesaplayıcısının nasıl çalıştığını, elektronik anahtarların matematik ödevleri nasıl çözdüğünü göstermiş oluyor.

P. M. 'den

● İnsanların düşünme zahmetinden kurtulmak için yapmayacakları şey yoktur.

EDISON

● Metodlu düşünmeyi alışkanlık haline getirmediğince tahsilin hiçbir değeri yoktur.

DİMNET

● Düşünmeden öğrenmek, zaman kaybetmektir.

KONFÜÇYUS