

BİLGİSAYAR DONANIM TEKNOLOJİSİNDE GELİŞMELER

Güney Gönenç

ÖZET

Bu yazıda bilgisayar donanım teknolojisindeki yeni gelişmeler kısaca verilmiştir. Yarıiletken teknolojisinde geniş çapta tümleşimin getirdiği olanaklar üzerinde durulmuş, geniş çapta tümleşik devre tekniklerinden tranzistor-tranzistor mantığı (TTL), yayıcıdan bağlaşıklık mantık (ECL), içtimli mantık (I²L), p-kanallı ve n-kanallı metal-oksit-yarıiletken (pMOS, nMOS), tümler metal-oksit-yarıiletken (CMOS) teknikleri çeşitli özellikleri yönünden kısaca incelenmiş ve karşılaştırılmıştır. Mikroişlemciler alanındaki gelişmeler üzerinde durulmuş, çeşitli mikroişlemcilerin özellikleri belirtilmiş, gelecekteki uygulama olanakları gözden geçirilmiştir. Ayrıca yarıiletken, kabarcıklı, elektron demetli, yük bağlaşıklık belleklerdeki gelişmeler verilmiş, giriş-çıkış birimlerindeki yenilikler üzerinde durulmuştur.

SUMMARY

The article reviews briefly the recent developments in computer hardware technology. The new possibilities brought forth by large scale integration in semiconductor technology are emphasized, and in particular TTL, ECL, I²L, pMOS, nMOS and CMOS techniques are investigated and compared. Developments in the microprocessor area are also dealt with, properties of various microprocessors are discussed and future possibilities in their use are previewed. Also, the new developments in semiconductor, bubble, electron beam and charge coupled memories are given together with the development in I/O units.

Güney Gönenç, Y.Prof.Dr., ODTÜ

1. YARIİLETKEN TEKNOLOJİSİ

Tümleşik devrelerin tek tek tranzistorlarla kurulu devrelere göre çok önemli üstünlükleri (boyutlarda önemli ölçüde küçülme, ucuzluk, yüksek çalışma hızları, telle yapılacak bağlantılarda azalma, arızalara karşı yüksek güvenilirlik) hızla yaygınlaşmalarına yol açtı. Önceleri birkaç devrenin bir yonga üzerinde gerçekleştirilmesiyle küçük çapta tümleşik devreler (*small scale integration, SSI*) yapılıyordu, örneğin bir paket (*package*) içinde birkaç VE geçiti gibi. Sonradan daha çok sayıda (10-100 arasında) geçit içeren ve belirli bir işlevi tümüyle gerçekleştiren orta çapta tümleşik devreler (*medium scale integration, MSI*) ortaya çıktı. Örneğin bir toplayıcı (*adder*) devresi, bir kodlayıcı (*encoder*), kod çözücü (*decoder*) yada çoklayıcı (*multiplexer*) devresi gibi. Tümleşim'in sınırları giderek genişledi. Günümüzde bir kaç bin geçit devresi bir tek paket içinde, bir yonga (*chip*) üzerinde gerçekleştirilebiliyor. Böyle devrelere geniş çapta tümleşik (*large scale integrated, LSI*) diyoruz. Örneğin temel ve yardımcı işlevleri içeren bir birikeç (*accumulator*) yada merkezi işlem birimi (*central processing unit*) böyle bir tümleşik devre olarak gerçekleştirilebiliyor. Geniş çapta tümleşimle boyut küçülmesi, maliyet azalması, güvenilirlikte artma önemli ölçülere varmış oluyor.

Tümleşik devrelerin oluşturulmasında kullanılan yarıiletken teknikleri çok çeşitlidir. Bunları genel olarak çifttaşıyıcılı (*bipolar*) tranzistor teknolojisi ve metal-oksit-yarıiletken (*MOY*) türü alan etkili tranzistor teknolojisi olarak iki kümeye ayırabiliriz. Bu kümelere giren çeşitli tekniklerin genel özelliklerini kısaca sıralayalım.

I. Çifttaşıyıcılı tranzistor teknolojisi

a) Tranzistor-tranzistor mantığı (TİM) (*transistor-transistor logic, TTL*)

Bugün için en alınmış tekniktir. Genellikle orta çapta tümleşimde kullanılır. Ucuzdur. Geçit başına gecikmeleri düşüktür, bu nedenle hızlı uygulamalarda kullanılır. Buna karşılık yoğunluğu (belirli alana sığdırılabilen geçit sayısı) düşük, güç harcanması yüksek, yapım süreci karmaşıktır. Yaygın biçimde kullanılan 7400, 9300 dizilerini bu türün orta çapta tümleşimdeki uygulamasına örnek olarak verebiliriz. Son zamanlarda geliştirilen Schottky türü tranzistor-tranzistor mantığıyla gerçekleştirilen tümleşik devrelerde yoğunluk arttırılarak bir yongaya birkaç yüz geçitin yerleştirildiği devreler yapılmış, geçit başına güç Harcaması 10 mW tan 1-2 mW a düşürülmüş, gecikmeler, geçit başına 10 ns den 4-5 ns ye indirilmiştir. Geniş çapta tümleşimde daha çok bellek yapımında kullanılmaktadır. Şekil 1a'da tipik bir TİM 2 girişli VEDEĞİL geçidinin (7400) devresi görülmektedir.

b) Yayıcıdan bağlaşıklık mantık (YBM) (*emitter coupled logic, ECL*)

Güç harcamaları fazla, yoğunlukları küçük olmakla birlikte en hızlı devreler bu teknikle yapılmaktadır. Geçit başına gecikmeler 1 ns nin altındadır. Bir yongada birkaç yüz geçit gerçekleştirilebilmektedir. Yüksek hızlarından dolayı geleceğin büyük bilgisayarlarında kullanılacak geniş çapta tümleşik devreler bu türden olacaktır. Şekil 1c'de tipik bir yayıcı kavramalı 2 girişli YADAYADEĞİL geçidinin devresi görülmektedir.

c) İçitimli mantık (İM) (*integrated injection logic, IİL*)

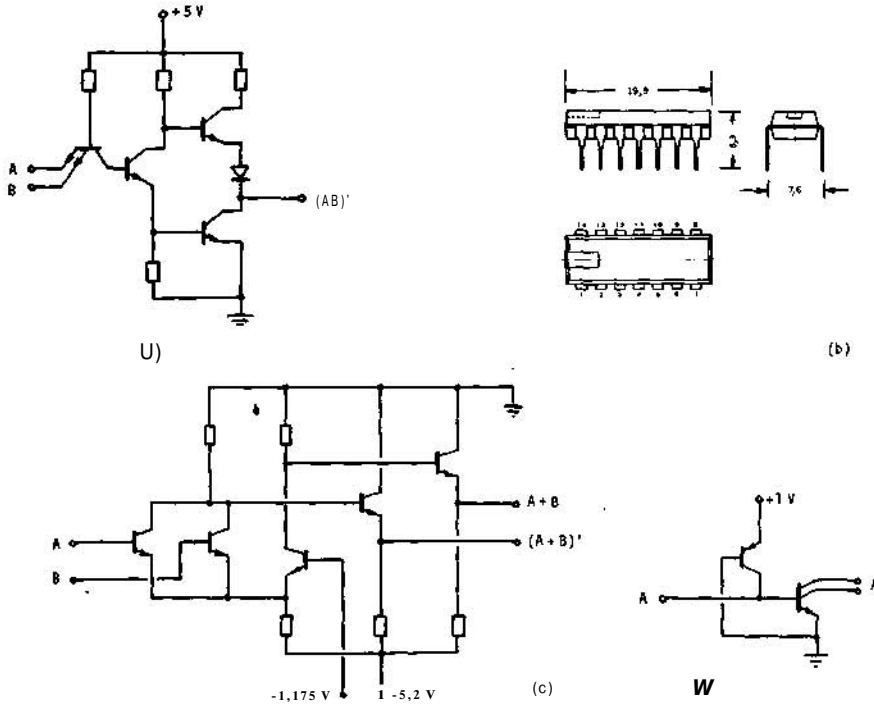
Son yıllarda Hollanda ve Federal Almanya'da gerçekleştirilen bu teknikte devredeki dirençler tüm den yok edilmiştir, ayrıca biri pnp öteki npn türü iki tranzistor pnp türü tranzistorun toplayıcısı (*collector*) npn türü tranzistorun tabanı (*base*) ile, pnp türü tranzistorun tabanı npn türü tranzistorun yayıcısı ile aynı alanı paylaşmak yoluyla bir tür süper-tümleşim sağlanmış, böylece yoğunluk mm^2 ye 200 geçitin üstüne çıkarılabilmıştır, bir yonga üstünde 10 000 e kadar geçit oluşturmak olanaklıdır. Yüksek çalışma hızları (geçit başına 5 ns gecikme) yanında çok düşük güç harcaması gerçekleştirilmiştir. Bu tekniğin önemli özelliklerinden biri IV gibi düşük kaynak gerilimi ile çalışmaya olanak sağlamasıdır. Bir başka önemli özellik de sayısal ve örneksel devrelerin bir-yonga üzerinde birlikte gerçekleştirilmesi olanağı olarak ortaya çıkmaktadır. Yakın bir gelecekte; çok yüksek çalışma hızları (bu alanda yayıcıdan bağlaşıklık mantık-YBM öndedir), bekleme (*standüy*) konumunda hemen hemen hiç akım çekmeme (bu konuda tümleşik metal-oksit-yarıiletken, TMOY, öndedir) ve yavaş fakat çok ucuz olma (bu konuda p-metal oksit-yarıiletken, pMOY, öndedir) gibi özel alanların dışında tüm bilgisayar teknolojisinde kullanılacak tümleşim tekniğinin içitimli mantık olacağı söylenebilir. Şekil 1d'de tipik, bir içitimli mantık evirici (*inverter*) geçidinin temel devresi görülmektedir.

Çeşitli yapım firmaları içitimli mantık tekniğine yenilikler ve gelişmeler getirmişlerdir, sonuçta bu türün en azından 5-6 alttürü ortaya çıkmıştır.

Çifttaşıyıcılı tranzistor tekniğine dayanan başka tümleşik devre türleri varsa da onları anmayacağız.

II. Metal-oksit-yarıiletken tekniği

Geniş çapta tümleşimde özellikle kullanılan bir tranzistor türü alan etkili tranzistordur (*field effect transistor, FET*). Geçit elektrodunun alüminyum yada silisyumdan yapıldığı ve yarıiletken alttaş'tan (*substrate*) bir silisyum dioksit katmanıyla ayrıldığı metal-oksit-yarıiletken (*MOY*) (*metal oxide semiconductor, MOS*) tekniği, tümleşik devrelerde kullanılan alan etkili tranzistorlar için hemen hemen standart hale gelmiştir. Alttaş'm türüne göre p-kanallı (pMOY) yada n-kanallı (nMOY) türleri vardır.



a. Tranzistor-tranzistor mantığı. İki girişli bir VE DEĞİL (NAND) geçiti t_i devresi, (örneğin 7400, böyle dört geçiti içeren bir tümleşik devredir.)

b. Dört tane TTM iki girişli VEDEĞİL geçiti içeren 7400 tümleşik devresinin paket boyutları (mm).

c. Yayıcıdan bağlaşıklık mantık. İki girişli bir YADA-YADA-DEĞİL (OR-NOR) geçiti devresi.

d. İçitimli mantık. Evirici (inverter) devresi.

Şekil 1. Çifttaşırıyıcılı tranzistor tekniğine dayanan tümleşik devrelere örnekler.

a) p-kanallı metal-oksit-yarıiletken (pMOY) tekniği

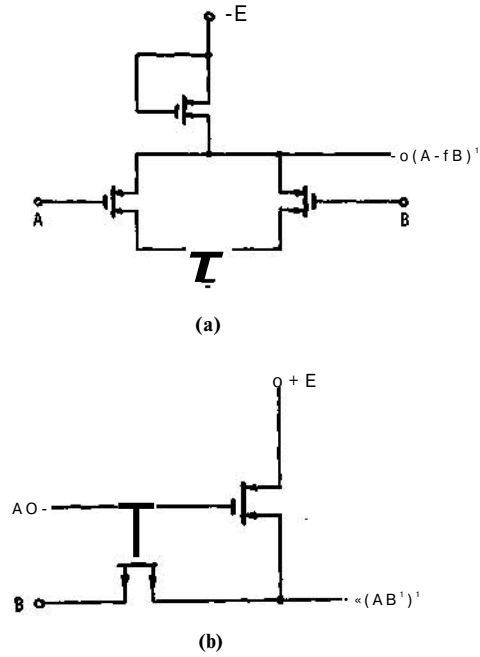
Geniş çapta tümleşik işlemciler (mikroişlemciler) ilk kez 1971'de hesaplayıcılarda (*calculator*) kullanılmak üzere p-kanallı metal-oksit-yarıiletken tekniğine göre yapıldı. Bu tür devreler çok yavaş çalışırlar (geçit başına gecikme 100 ns ile 100 ys arasında olabilir), buna karşılık güç harcamaları düşüktür, m^2 ye 200 geçit sığabilecek derecede yoğun olarak gerçekleştirilebilir. Hızlarının düşük olması yüzünden bugün ancak hesaplayıcılardaki geniş çapta tümleşik devrelerde kullanılmaktadır. Şekil 2a'da tipik bir pMOY YADA-DEĞİL geçitinin devresi görülmektedir.

b) n-kanallı metal-oksit-yarıiletken (nMOY) tekniği

p-kanallılara göre 2-3 kez daha hızlıdır. 1971'deki p-kanallı birinci kuşak mikroişlemcilerden (örneğin Intel 4004, 8008) sonraki ikinci kuşak mikroişlemciler (örneğin 8080) gerçekleştirildi. Son zamanlarda yalnızca +5 Volt kaynak gerilimiyle çalışanları yapıldı. Genellikle düşük maliyet gereken yerlerde kullanılmaktadır.

c) Tümler metal-oksit-yarıiletken (IMOS) tekniği (Complementary MOS, CMOS)

Tümler (biri p-kanallı, öteki n-kanallı) tranzistorlar kullanılarak gerçekleştirilen bu devreler, bütün öteki tümleşik devrelere göre duruk (*static*) durumda en az güç harcayan (nanovatt aşamasında) devrelerdir. Bu tür devrelerin gürültü bağışıklı-



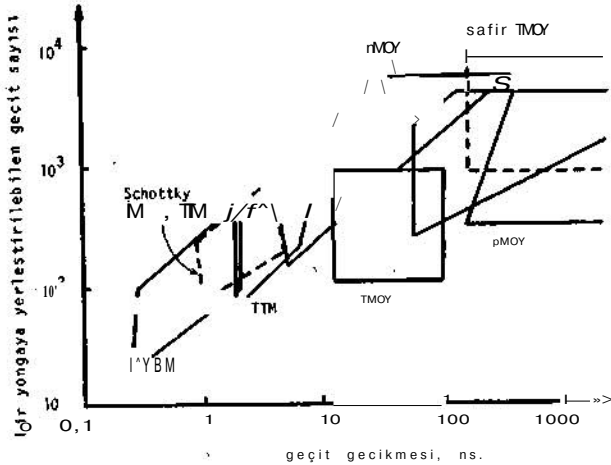
Şekil 2. Metal-oksit-yarıiletken (MOY) tekniğine dayanan tümleşik devrelere iki örnek. a. p kanallı MOY (pMOY), iki girişli YADA-DEĞİL (NOR) geçiti. Üstteki tranzistor direnç görevindedir. b. Tümler MOY (TMOY) bir engelleme (inhibit) geçiti.

ğı (*noise immunity*) da çok yüksektir. Özellikle duruk gücün küçük olması istenen uygulamalarda önemli kullanım yeri bulmaktadır, havacılık, uzay uygulamaları gibi. Bu tür devrelerin çalışma hızları, yoğunlukları gök yakut (safir) yada lül taşı (spinel) üstünde silisyum alttaşı kullanılarak (*sapphire on silicon, spinel on silicon, SOS*) yükseltilmektedir, ancak bu kez maliyet yükselmektedir. Şekil 2b'de bir TMOY engelleme geçiti- nin (*inhibit gate*) devresi görülmektedir.

Çeşitli yapım tekniklerinin temel özellikleri Çizelge 1'de gösterilmiştir. Bu özelliklerin karşılaştırılması açısından Şekil 3 ve Şekil 4 yararlı olacaktır. Şekil 3'te gecikme ve bir yongaya yerleştirilebilen geçit sayıları açısından çeşitli teknikler karşılaştırılmaktadır. Şekil 4'te gecikme ve güç harcaması bakımından karşılaştırma yapılmaktadır. Bir yongadan birim zamanda yayılabilecek ısı enerjisi sınırlı olduğundan, yongada harcanabilecek güç de sınırlıdır (1 W dolayında), bu nedenle geçit başına harcanan güçle bir yongaya yerleştirilebilecek geçit sayısı birbirleriyle ters orantılıdır. Örneğin, geçit başına güç harcaması en büyük olan yayıcıdan bağlaşıklık mantık tek-

Yapım teknolojisi	pMOY (pMOS)	nMOY (nMOS)	TMOY (CMOS)	TİM (TTL)	YBM (ECL)	İM (XIL)
Yoğunluk, mm ² de geçit sayısı	100 - 200	200 - 250	50-150	25-75	30-75	250 - 400
Bir yongaya yerleştirilebilen geçit sayısı	100 - 500	1000 - 3000	500 - 1000	300-2000	80 - 500	200 - 1000
Geçit başına gecikme, ns	> 100	40 - 100	15-50	3-10	0,5 - 2	1 - 100
Duruk durumda güç, geçit başına, mW	2-3	0,2 - 0,5	<0,001	1 - 3	5-15	<0,2
Hız-güç çarpımı, pj	200	10-50	3	10	10	< 1

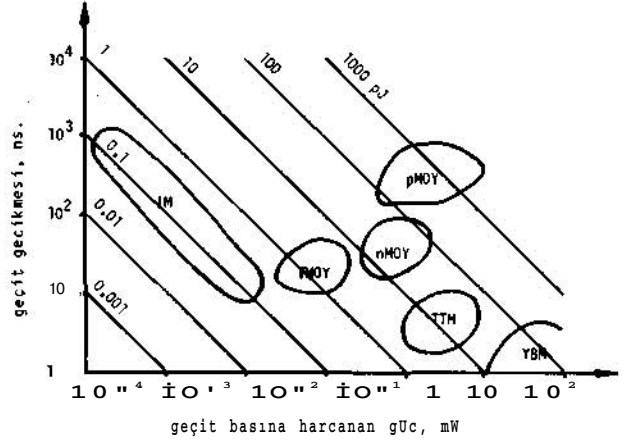
Çizelge 1. Geniş çapta tümleşimde en çok kullanılan tekniklerin başlıca özellikleri.



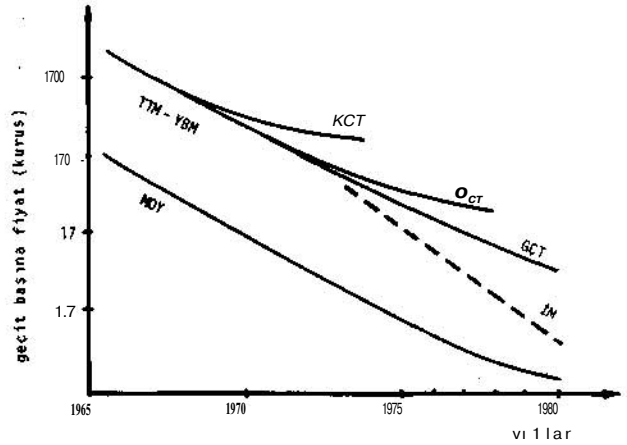
Şekil 3. Çeşitli tümleşik devre yapım tekniklerinin geçit başına gecikme ve bir yongaya yerleştirilebilen geçit sayıları yönlerinden karşılaştırılması. Gösterilen sınırlar kesin değildir.

niği aynı zamanda yoğunluğu en düşük olan tekniktir (Şekil 3 ve 4). Yonga başına öge sayısı, ayrıca (optik nedenlerden) kabaca 20 milyon gibi bir sayıyla sınırlıdır.

Tümleşik devrelerin fiyatları ilk ortaya çıktıklarından bu yana geçen 10 yıl içinde (geçit başına hesaplandığında) 100 kattan fazla düşmüştür (Şekil 5). Geleneksel olarak çifttaşıyıcılı tümleşik devreler için geçit başına fiyat MOY'lara



Şekil 4. Çeşitli tümleşik devre yapım tekniklerinin geçit başına harcanan güç ve geçit başına gecikme yönlerinden karşılaştırılması. Eğik doğrular eş gecikme-güç çarpımı eğrileridir, çarpımın değeri pikojül olarak belirtilmiştir.



Şekil 5. Tümleşik devrelerin fiyatlarında yıllar boyunca görülen düşme. Görüldüğü gibi küçük çapta tümleşimden (KÇT) orta çapta tümleşime (OÇT) ondan da geniş çapta tümleşime (GÇT) geçildikçe geçit başına düşen fiyatlar on yıl içinde 100 kat azalmıştır. İçtimli mantık (İM) tekniğinin kullanılmasıyla çift taşıyıcılı (hızlı) tümleşik devre fiyatları MOY devre fiyatlarına yaklaşacak ve geçit başına fiyat 1980'de 1 kuruşun altına düşecektir (1 dolar = 17 TL alınmıştır).

göre 20 kat kadar yüksekken, en son geliştirilen içtimli mantık (IM) bu fiyat farkını önümüzdeki 3-4 yıl içinde kapatacak gibi görünüyor. Böylesine bir ucuzlama (çifttaşıyıcılı tranzistorların hızlı çalışma özelliğini de gözönünde tutarsak) tümleşik devrelerin kullanımı bakımından sınırsız denebilecek olanaklar yaratacaktır. Örneğin geçit başına 17 kuruşluk (1 sent) fiyat üzerinden düşürürsek, tüm işlevleriyle 16 bit'lik sözcük uzunluklu, 32 K sözcüklük bellekli bir minibilgisayarın maliyetini çok kaba olarak şöyle çıkarabiliriz: 16 bit'lik işlem birimi (kabaca 6000 geçit): 1000 TL; giriş/çıkış devreleri (kabaca 1000 geçit): 170 TL; bellek (bit başına 1,7 kuruş alırsak): 4400 TL, toplam donanım gideri: yaklaşık 5600 TL. Yapımdaki öteki tüm giderlerle birlikte alıcıya maliyetin 60-80 000 TL olacağını tahmin edebiliriz, ki böyle bir makine ile 32 kanallı gerçek zamanlı bir süreç denetim dizgesi çalıştırılabilir (örneğin kimya sanayiinde) yada 5000 kişilik bir kuruluşun bordro vb. işleri yürütülebilir.

2. MİKROİŞLEMCİLER

Mikroişlemciler bilgisayardaki merkezi işlem biriminin görevini yapan, çoğunlukla salt oku bellek (*read only memory, ROM*) üzerine kaydedilmiş bir programı yürütecek geniş çapta tümleşimli bir devredir. İlk mikroişlemci (Intel 4004) 1971'de bir hesaplayıcının temel ögesi olarak geliştirildi, 4 bit uzunluğunda sözcüklü idi ve ancak 4K sözcüklük bir belleği adresleyebiliyordu. Sonradan 16 bit'lige kadar sözcük işleyebilen ve 64K

sözcüklük adresleme yeteneği olan mikroişlemciler yapıldı. Bugün ABD'de yapılmakta olan mikroişlemcilerin hemen hemen tümü Çizelge 2'de özet bilgilerle gösterilmiştir. Mikroişlemciler ilkin hemen hemen yalnız pMOS tekniğiyle gerçekleştirilmekteydi, sonra nMOS işlemciler ve çok az güç harcamalı (ama pahalı) TMOY işlemciler çıktı. En yeni mikroişlemciler çifttaşıyıcılı tranzistor tekniğiyle gerçekleştiriliyor, bu nedenle hızları iyice yükselmiş durumda. Mikroişlemcilerin fiyatları da zamanla düştü, bugün 250 TL'na bir mikroişlemci satın almak olanaklı. Bir mikroişlemcinin maliyeti yongaya ve pakete bağlı olduğundan içerdiği geçit sayısından, devrenin karmaşıklığından genellikle bağımsızdır, bu maliyet bugün 170 TL dolayındadır. Önceleri mikroişlemcilerin 4,8,12,16 bit'lik türleri yapıldı. Sonradan bit-dilim (*bit-slice*) yapısı ortaya çıktı. Bütün yeni (çifttaşıyıcılı) mikroişlemciler bit-dilim yapısına uygun olarak yapılıyor, örneğin 2 bit'lik dilim mikroişlemcilerden istenen sayıda (diyelim 4 tane) yanyana bağlanarak 2'nin katları türünden istenen sözcük uzunluğunda (örneğimizde 8 bit uzunluğunda) bir işlem birimi elde ediliyor. Mikroişlemcilerin çoğu bir tek yonga üzerinde gerçekleştiriliyor, 16-64 (genellikle 40) bacaklı bir paket içine yerleştiriliyor. Böyle bir mikroişlemcide genellikle program sayacı (*program counter*), komut kod çözücüsü ve denetleyicisi (*instruction decoder and control*), aritmetik-mantık birimi (*arithmetic logical unit, ALU*), çeşitli yazmaçlar (*register*), bellek arabirimi (*memory interface*) bulunur. Kimi mikroişlemciler ise birden çok yonga üzerinde gerçekleştiril-

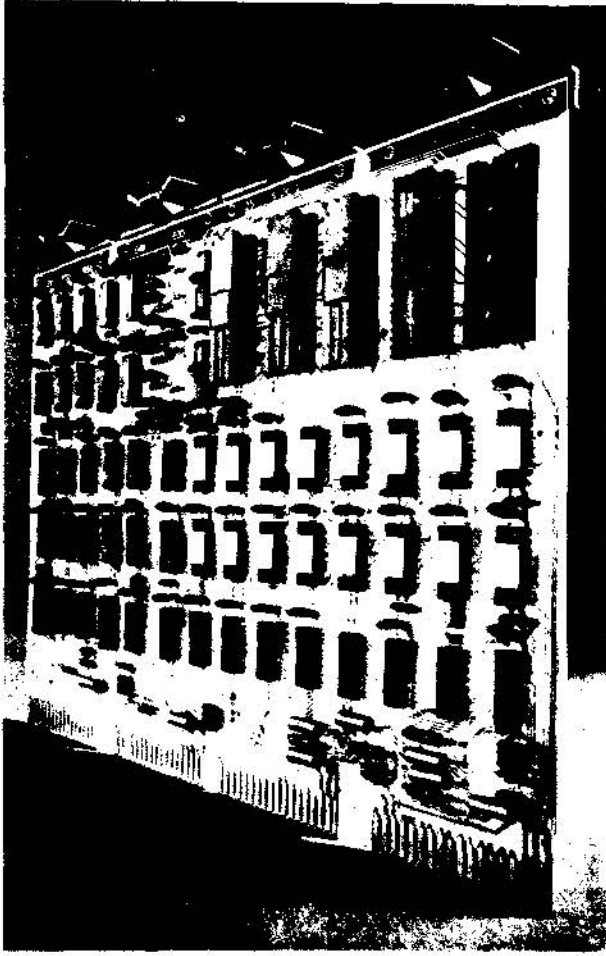
	İşlemcinin Adı	Geliştiren Firma	Sözcük Uzunluğu (bit)	Bellek Adresleme Şişası (KsSzcUk)	Çevrim Süresi (us)	Bacak Sayısı	Fiyatı (dolar)	
teknob. jts1	LP 8000	GI	8	2	1,25	40	35	
	4004	Intel	4	4	1,3	16	19	
	4040	Intel	4	4	1,35	24	21	
	8008-1	Intel	8	16	4	16	35	
	5065	Mostek	8	32	0,7	40	58	
	IHP-8	National	8	64	4,6	24X	130	
	IMP-16	National	16	64	4,6	24X	160	
	PACE	National	16	64	4	40	75	
	PPS-4	Rockwell 1	4	4	2,5	42	40	
	PPS-8	Rockwell	8	16	2	42	68	
	TMS 1000	Texas Inst.	4	8	-	-	-	
	SCAMP	National	8	64	2	40	18	
	nMOS	EA 9002	Elec. Arrays	8	64	1	40	-
		F-8	Fairchild	8	64	2	40	-
CP-1600		GI	16	64	0,2	40	-	
8080		Intel	8	64	0,5	40	75	
6501/6502		MOS Tech.	8	64	1	40	20	
M6800		Motorola	8	64	1	40	35	
CMP-8		National	8	64	-	-	-	
2650		Signetics	8	32	2,4	40	120	
TLCS-12		Toshiba	12	32	1	-	-	
TOS 9900		Texas Inst.	16	64	0,33	64	100	
MCP-1600		Hestem D.	16	64	0,3	40X	150	
PFL-16		Panafacom	16	64	-	-	-	
TMO		COSMAC	FCA	8	64	3	X	200
		6100	Intersil	12	4	2,5	40	150
çift taşıyıcılı	3001/3002	Intel	2*	0,5	0,165	28	35	
	RP 16	Raytheon	4*	64	0,1	48X	-	
	6701	Monolithic M.	4*	64	0,15	40	95	
	SBP 0400	Texas Inst.	4*	64	1,0	40	-	
	1601	Transitron	4*	32	-	40	-	
	2901	ADM	4*	64	0,105	40	21	
	10800	Motorola	4*	64	0,055	-	-	
	9400	Fairchild	4*	64	0,1	-	-	

Çizelge 2.

1976 başında ABD'de yapılmakta olan mikroişlemciler.

Belirli bir mikroişlemciyi, geliştiren firma dışında başka birçok firmalar da yapmaktadır.

Bulunamayan değerler için " - " Konmuştur. " * " simgesi -bit-dilim yapılı mikroişlemcileri, " X " simgesi çok-yongalı işlemcileri göstermektedir.



Şekil 6. 1975 yılı başında DEC firmasınınca gerçekleştirilen LSI-11 mikrobilgisayarı. Levhanın büyüklüğü 24x25 cm. Üst sırada, sağda, 8096 sözcüklük bir rasgele erişimli bellek ve dört tane MOY geniş çapta tümleşik devresinden oluşan mikroişlemci takımı (tiestem Digital yapımı) görülmektedir.

rilmiş olurlar, bunlar Çizelge 2'de X simgesi ile gösterilmiştir.

Mikroişlemcilerin güvenilirlikleri de yüksektir. Bugün arızalararası ortalama süre (*mean time between failures, MTBF*) 10 milyon saat dolayındadır, özel çabayla bunun 10 katı da elde edilebilmektedir.

Bugün mikroişlanciler tek başına satın alınabilecekleri gibi, özel arabirim (*interface*) ve bellek tümleşik devreleriyle birlikte takım halinde de alınabilmektedirler, işlemci devre(ler), bellek, giriş-çıkış devreleri bir kart üzerinde yada kutu içinde monte edilerek bir mikrobilgisayar oluşturulmaktadır. Çeşitli firmalar piyasaya mikrobilgisayarlar sunmaktadırlar. Bir mikrobilgisayar dizgesi ise geliştirilmiş bir mikrobilgisayarla gerekli besleme devreleri, denetim panoları vb.'yi içerir. Böylece, minibilgisayar olarak andığı-

mız dizge türünden bir dizge elde edilir. Bir mikrobilgisayar dizgesi bir minibilgisayardan ucuzsa da, hız ve yetenekler bakımından (bugün için) geridedir. Mikroişlemci temelli minibilgisayara bir örnek olarak DEC firmasının LSI-11 bilgisayarını anabiliriz. Bu makinede 24 x 25 santimetre büyüklüğünde bir levhaya 8096 sözcüklük rasgele erişimli bellek (*random access memory RAM*), dört MOY geniş çapta tümleşik işlemci ve birkaç TIM tümleşik devre sığdırılmıştır (Şekil 6 Mikroişlemciler yavaş yavaş büyük bilgisayarlar içinde de yer almaktadırlar, özellikle hızlı işlemciler (örneğin yayıcıdan bağlaşıklık mantık tekniğiyle yapılanlar) bu uygulama türüne adaydır.

Bir mikrobilgisayarda maliyetin yaklaşık % 15'i merkezi işlem birimine, % 20'si giriş-çıkış devrelerine, % 65'i de belleğe aittir. Maliyetin büyük bölümünü oluşturan giriş-çıkış ve bellek devreleri üzerindeki araştırma-geliştirme çalışmaları bu nedenle önümüzdeki yıllarda hız kazanacaktır. 1980 yılında 16 bit'lik bir merkezi işlem birimi, 32 Kbit'lik bellek, giriş-çıkış devrelerini içeren bir tek yongadan oluşan bir tümleşik devrenin kabaca 170 TL'na mal edilebileceği tahmin edilmektedir. Böyle bir devrenin hızı saniyede 100 000-1 milyon komut olacaktır.

Bugün ABD'de mikroişlemcilerin kullanıldıkları alanlar Çizelge 3'te gösterilmiştir. Bu alanlardan ölçü aygıtları, başka aygıtlar ve süreç denetim alanındaki kullanım hızla artmaktadır. Ayrıca, daha önce elektromekanik yollarla gerçekleştirilebilen işlemlere de mikroişlemciler hızla girmektedir; trafik ışıkları denetimi, asansör devreleri gibi. 1980'lerde 80 TL gibi bir satış fiyatına düşecek olan mikroişlemciler, daha önce elektroniğin hemen hiç girmediği alanlara girecektir. Bu alanlar arasında ulaşım (otomobiller, trenler, uçaklar ve gemilerde), konutlar (sıcaklık, ışık vb. denetimi, koruma düzenleri, elektrikli ev aygıtlarının denetimi), özürllülere yardımcı donanım (örneğin konuşma özürllüler için tuşa basmakla sözcük bireşimi yaparak hoparlörden veren aygıtlar vb.) gibi alanlar sayılabilir. Mikroişlemcilerin süreç denetimde kullanımı çok büyük oranlarda artacak; iletişimde özellikle telefon santrallerinde, çoklayıcılarda, hata sezici ve düzeltici devrelerde, şifreleme-şifre çözüme aygıtlarında geniş ölçüde kullanılacaktır. Önümüzdeki yıllarda mikroişlemciler tekniğin, hatta günlük yaşamın her alanına yoğun bir biçimde girecektir. Hesaplayıcıların son birkaç yıldaki gelişmesi bize bu konuda bir fikir verebilir.

Bişme vb. aygıtları	18
Süreç denetimi	16
Uzay teknolojisi	15
İletişim	14
Bilgisayarlar vb.	13
Askeri uygulamalar	9
Tıbbi uygulamalar	3
Dayanıklı tüketim mal.	3
Büro aygıtları	2
Eğitim	1
Ulaşım	1
Başka alanlar	5

Çizelge 3.

1975 yılında ABD'de mikroişlemci kullanım alanları. Sayılar, toplam mikroişlemci kullanımının yüzdesini göstermektedir.

Bellek sığası (Kbit)	1	4	16	64
Gerçekleştirildiği yıl	1972	1974	1976	(1979)
Bir bitlik hücre alanı, m ²	3,9 10 ⁻³	1,3 10 ⁻³	0,65 10 ⁻³	0,3 10 ⁻³
Yonga alanı, mm ²	13	19	26	39
Etkin durumda bit başına güç, W	300	100	20	4
Bit başına maliyet (kuruş)	5	1,7	0,5	0,17
Bit başına satış fiyatı (kuruş)	5	7	2	0,7

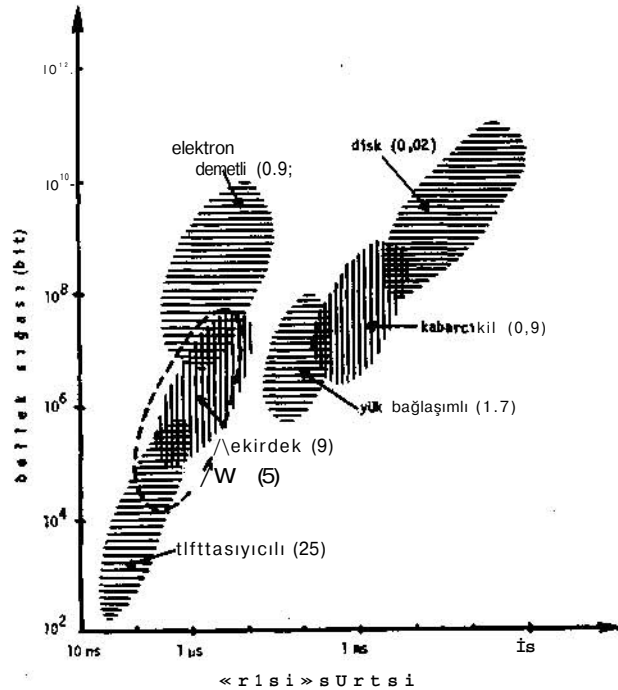
Çizelge 4. MOY rasgele erişimli bellek teknolojisi içinde durum. (500 ns çevrim süreli, 1 dolar a 17 TL alınarak)

3. BELLEKLER

Geniş çapta tümleşik devrelerin ortaya çıkmasıyla çekirdek bellekler hemen tüm den kullanım alanından çıktı. Tümleşik devre belleklerde yoğunluklar hızla artmakta, bunun sonucu olarak fiyatlar düşmektedir. Çizelge 4'te MOY belleklerde son birkaç yıldaki gelişmeler görülmektedir.

Belleklerde son yılların önemli gelişmelerinden biri manyetik kabarcıklı (*magnetic bubble*) belleklerin ortaya çıkması oldu. Kabarcıklı bellekler, erişim sürelerinin uzunluğuna (1 ms dolayında) karşın ucuzlukları (bit başına 0,8 kuruş dolayında) ve erişilebilen yüksek sığalar (1 milyon ila 1 milyar bit) dolayısıyla önem kazandı. Üzerinde çalışılmakta olan kabarcıklı (*bubble lattice*) belleklerle 1 mm² lik alanda 1,5 milyon bit'lik bellek oluşturma olanaklarının ortaya çıkacağından söz edilmektedir.

Çeşitli bellek türlerinin erişim süresi ve erişim



Şekil 7. Çeşitli bellek teknolojilerinin erişim süresi ve erişilebilen bellek sığaları açısından karşılaştırılması. Bellek türlerinin yanında araç içindeki sayılar bit başına kuruş olarak bellek maliyetini göstermektedir (1 dolar = 17 TL).

lebilen sığa açısından karşılaştırılması Şekil 7'de görülmektedir.

MOY yongalar üzerine elektron demeti düşürerek bir noktada yük oluşturma temeline dayanan elektron demetli belleklerde (*electron beam memory, beamo*) kaydedilen veri yine elektron demeti düşürmekle okunmaktadır. Okunan noktada bir elektron-delik çifti oluşmakta, eğer o noktada önceden saklanmış yük varsa; delik bu yük tarafından itilmekte ve bir okuma vuruşu oluşturmaktadır. 1977 yılında ticari kullanıma gireceği tahmin edilen elektron demetli belleğin sığası, örneğin, 32 milyon bit, maliyeti ise bit başına 0,3 kuruşla 1,7 kuruş arasında bir değer olacaktır.

Bir başka bellek türü de yük bağlaşımlı (*charge coupled device, CCD*) bellektir. Bu tür bellekleri Intel ve Fairchild firmaları yapmaktadır. 1980 başlarında bit başına maliyetin 0,3 kuruşa düşebileceği hesaplanmaktadır. Gerek manyetik kabarcıklı bellekler, gerekse yük bağlaşımlı bellekler rasgele erişimli olmayıp sırasal (*serial*) bellektir. Kullanım bakımından bu çok önemli bir özellik farkıdır.

Tekerbelleklerdeki (*disc*) gelişmeler sonucunda ulaşılan yoğunluk düzeyi, 94 iz/cm (238 iz/inç) ve iz üzerinde 2500 bit/cm (6400 bit/inç) olmak üzere 235 000 bit/cm² kadardır. Bu yoğunluk düzeyinin yakın gelecekte birkaç katına, 10 yıl içinde de birkaç yüz katına çıkması beklenebilir.

4. GİRİŞ - ÇIKIŞ BİRİMLERİ

Hız, güvenilirlik, maliyet açılarından bilgisayar giriş-çıkış aygıtları işlemciler ve belleklere göre çok yavaş bir biçimde gelişebildi. Bugün artık çoğu bilgisayarın fiyatı ve güvenilirliği giriş-çıkış birimince saptanıyor.

Görsel çıkış birimleri olarak ışık yayan diyotlar (*light emitting diode, LED*) ve sıvı kristal göstergeler (*liquid crystal display, LCD*) hızla gelişti. Bugün bunlarla 100 karaktere kadar göstergeler gerçekleştirilebiliyor. Daha çok verinin göstergelenmesi için plazma levhalı gösterge geliştirildi (*plasma panel display*). Plazmalı göstergenin katot ışınlu tüpe göre düzlemsel olma, geometrik bozulmalardan uzak olma, keskin görüntü gibi üstünlükleri vardır. Işık yayan diyotlu göstergelere göre ucuzsa da, plazmalı gösterge henüz epeyce pahalıdır, ayrıca gerektirdiği sürücü devreler de karmaşıktır.

Yazıcılarda (*printer*) bugün ulaşılan hızları, sırasal (*serial*) yazıcılar için saniyede 30-120 karakter, satır yazıcılar için dakikada 300-2000 satır dolayındadır. Yazıcılara mikroişlemci devreler koymak yoluyla çeşitli yetenekler eklemek, ana bilgisayarın yazıcıyı denetlemedeki ek işlerini azaltmak yoluna gidilmektedir.

Fotoiletken bir davul üzerine laser ışınları düşürmek yoluyla belirli noktaları elektrikle yüklemek, yüklenen noktaların boyalı özel bir tozu çekmesi ve bu boyayı kağıda geçirmesi yoluyla (elektrostatik fotokopi makinelerindekinin benzer biçimde) çalışan bir yazıcıyı IBM geliştirmiştir. Bu yazıcının hızı dakikada 13 360 satırdır (saniyede 45 000 karakter), ayrıca hemen her tür kağıt kullanabilmektedir.

Mikroişlemci kullanan minibilgisayarlar yapılmışsa da, bugün minibilgisayarlar genellikle orta çapta tümleşik TİM devreleri kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Artık minibilgisayarlar da çekirdek bellekler yerini tümleşik devre belleklere bırakmıştır. 1977'de minibilgisayarlar da yeni bir "kuşak" başlayacak: Geniş çapta tümleşimli Schottky TİM devreleri kullanımı.

Büyük bilgisayarlarda önümüzdeki kuşak, merkezi işlem biriminde geniş çapta tümleşimli yayıcı kavramalı mantık devrelerinin kullanılmasıyla başlayacak. Bu tür bilgisayara örnek olarak Amdahl firmasının 470 V/6 makinesi anılabilir. Bu makinede merkezi işlem birimi çevrim süresi 30 ns; ana bellek MX tümleşik devrelerle oluşturulmuş, 8 megabyte'lık. Ayrıca 16 Kbyte'lık çifttaşıyıcı, hızlı bir ara belleği var. Bu bilgisayar IBM 370/168 bilgisayarından 2-3 kat daha hızlı çalışıyor ve onun üçte biri kadar yer tutuyor.

Bütün bilgisayar yapımcıları dağılmış işlem (*distributed processing*) kavramına ağırlık veriyorlar. Bu nedenle anlaklı veri uçları (*intelligent terminal*) yapımı ve geliştirilmesi önem kazanıyor. Havacılık ve uzay alanında, az yer tutan bilgisayarlar yapılabildiğine göre, gitgide daha çok sayıda işlevin sayısal olarak gerçekleştirilmesi yoluna gidiliyor.

KAYNAKLAR

- [1] Altman, L., The New LSI, Electronics, 10 Temmuz 1976, s.81-92.
- [2] Boukre'ev, I., B.Mansourov, V.Goriatchev, Circuits Micro-électroniques et Technique Numerique, MIR, Moskova, 1975.
- [3] Güder, J.H., Ali About Microcomputers. Computer Decisions, Aralık 1975, s.44-49.
- [4] Modges, D.A., Trends in Computer Hardware Technology. Computer Design, Şubat 1976, s.77-85.
- [5] Mikroişlemciler ve Uygulamaları. Elektrik Mühendisliği, Sayı 236, Ağustos 1976, s.441-447.
- [6] Moore, G.E., Microprocessors and Integrated Electronic Technology. Proc. IEEE, Cilt 64, No.6, Haziran 1976, s.837-841.
- [7] Nichols, A.J., An Overview of Microprocessor Applications. Proc. IEEE, Cilt 64, No.6, Haziran 1976, s.951-953.
- [8] Technology Update, Electronics, 16 Ekim 1975, s.74-127.
- [9] Vezhofstadt, P.W.J., Evaluation of Technology Options for LSI Processing Elements. Proc. IEEE, Cilt 64, No.6, Haziran 1976, s.842-850.
- [10] Itilliman, A.O. ve H.J.Jelinek, Introduction to LSI Microprocessor Developments. Computer, Haziran 1976, s.34-46.

TERİMLER DİZİNİ

anlaklı veri ucu: *intelligent terminal*
arızalararası ortalama süre: *mean time between failures (MTBF)*
aritmetik-mantık birimi: *arithmetic logic unit (ALU)*

bacak: *pin*

çokyongalı: *multichip*

dağılmış işlem: *distributed processing*

demet: *beam*

dilim: *slice*

engelleme geçidi: *inhibit gate*

evirici: *inverter*

geniş çapta tümleşim: *large scale integration (LSI)*

gerçek zamanlı: *real time*

giriş-çıkış: *input/output*

gürültü bağışıklığı: *noise immunity*

hata düzeltici: *error correcting*

hata sezici: *error detecting*

hücre: *celi*

içitimli mantık: *integrated injection logic (IIL, I²L)*

iz: *tracfe*

kabarcık ağı: *bubble lattice*

kodlayıcı: *encoder*

küçük çapta tümleşim: *small scale integration (SSI)*

manyetik kabarcık: *magnetic bubble*

merkezi işlem birimi: *central processing unit (CPU)*

mikrobilgisayar: *microcomputer*

minibilgisayar: *minicomputer*

n-kanallı MX (nMOY): *n channel MOS (nMOS)*

orta çapta tümleşim: *medium scale integration (MSI)*

p-kanallı MOY (pMOY): *p channel MOS (pMOS)*

paket: *package*

plazmalı gösterge: *plasma panel display*

sırasal: *serial*

sıvı kristalli gösterge: *liquid crystal display (LCD)*

tekerbellek: *disc*

toplayıcı: *collector*

toplayıcı: *adder*

transistor-tranzistor mantığı (TİM): *transistor-transistor logic (TTL)*

tümler metal-oksit-yarıiletken (TMOY): *Complementary metal-oxide-semiconductor (CMOS)*

tümleşim: *integration*

VE: *AND*

VEDEĞİL: *NAND*

YADA: *OR*

YADADEĞİL: *NOR*

yayıcudan bağlaşıklık mantık (YBM): *emitter coupled logic (ECL)*

yazıcı: *printer*

yazmaç: *register*

yük bağlaşıklı (devre): *charge coupled device (CCD)* ;