

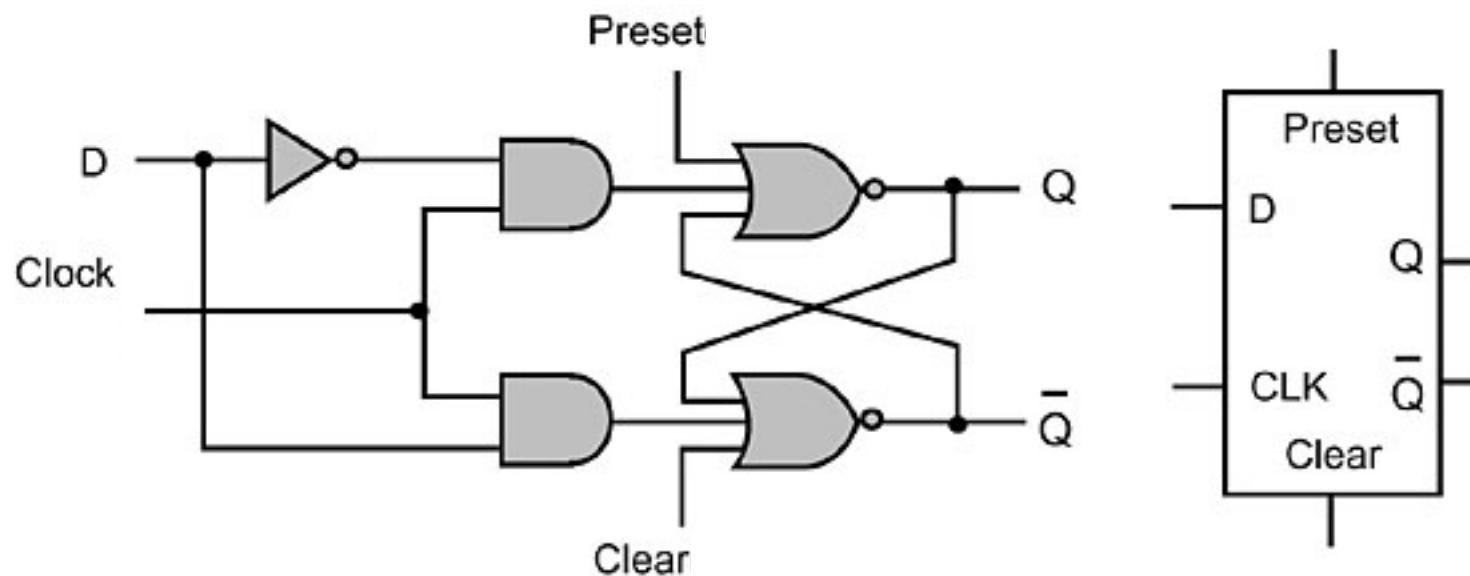
---

# Bellekler



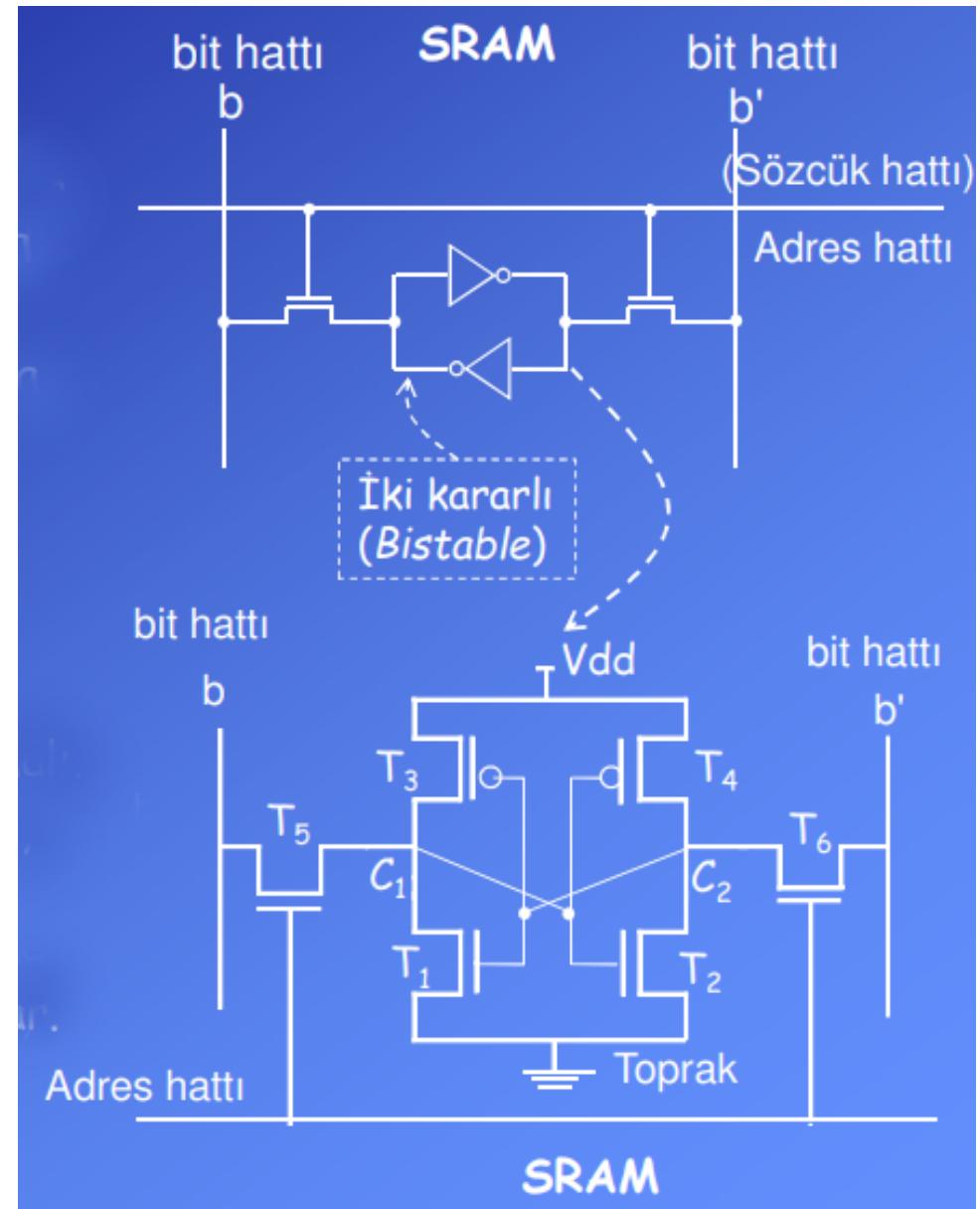
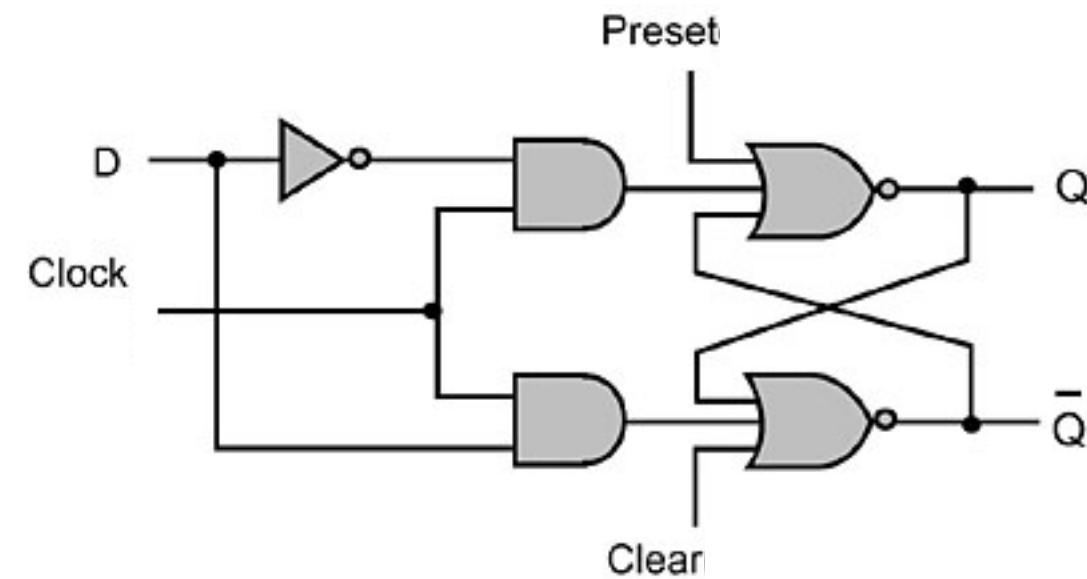
# Bellek Hücresi (ing:Memory Cell)

- Bir adet D-flip-flop bir bitlik bilgi tutar.
- Saat sinyali verildiğinde
  - Preset=1, Clear=0 ise “1” bilgisi saklanır.
  - Preset=0, Clear=1 ise “0” bilgisi saklanır.
- Ya da yine saat sinyali verildiğinde
  - D=1 ise “1” bilgisi saklanır.
  - D=0 ise “0” kaydedilir.
- Saat sinyali değişmediği sürece içeride ne varsa o saklanır.

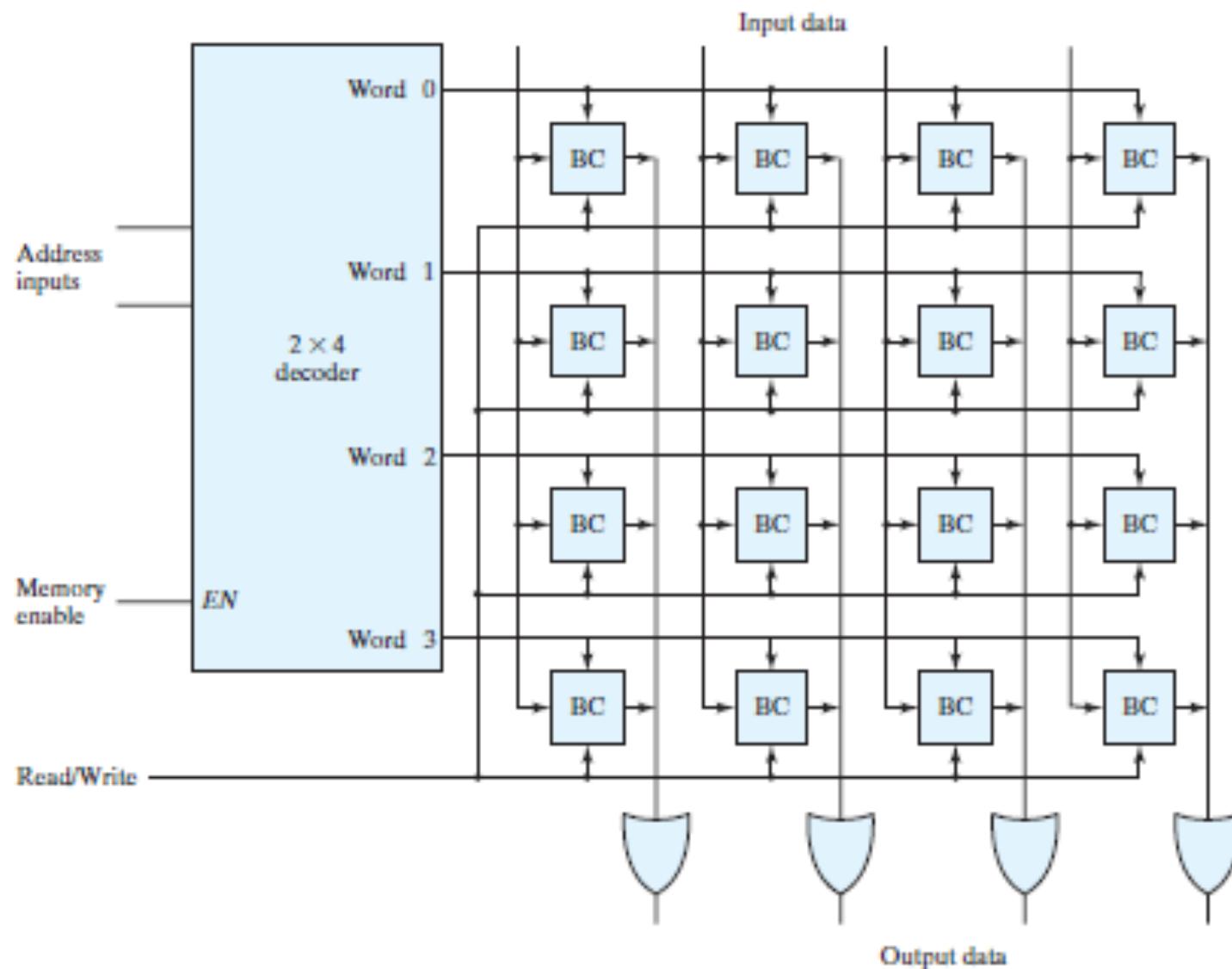


# Bellek Hücresi (ing:Memory Cell)

- Bir adet D-flip-flop bir bitlik bilgi tutar.
- Saat sinyali değişmediği sürece içeride ne varsa o saklanır.
- 6 transistor olması önemli...
  - Maliyetli olmasının nedenidir.



# Hücre Dizileri



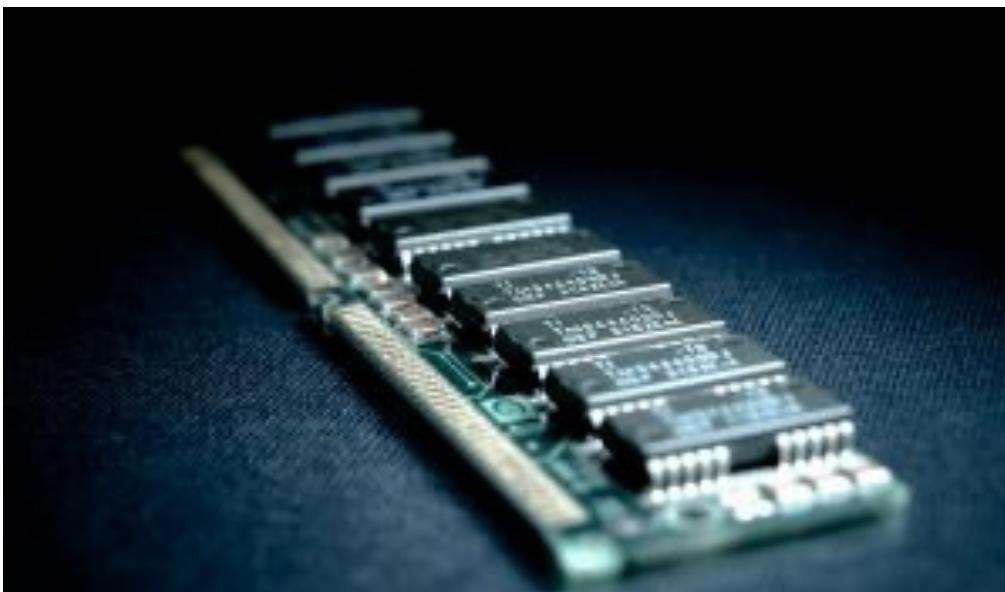
# Adres dağıtıımı

- Örneğin bilgisayarınızda 8GB bellek olsun, resimdeki belleklerden iki adet kart takılı olduğunu biliyorsunuz.  $4GB+4GB = 8GB$ :  $2^3 \times 2^{30} \rightarrow 33$  bit adres uzayı.
- Her kartta 8 ön yüzde, 8 arka yüzde aynı boyda entegre görünüyor. O halde her biri  $4GB/16 = 256MB$  tutuyor.  $256MB$ :  $2^8 \times 2^{20} \rightarrow 28$  bit adresstir.
- Adres şöyle dağıtıılır:

0/1    4 bit

28 bit: 256 MB için

- Kart Entegre Ulaşılmak istenen byte için  
için seçim  
1bit    için



# SRAM / DRAM / ROM / EEPROM

---

- SRAM (statik) durağan rastgele erişimli bir bellektir.
- SDRAM ise dinamik rastgele erişimli bir bellektir.
- “Durağan” demek sürekli tazelenmiyor demek, enerji verildiği sürece içeriğini korur → **SRAM = Ön bellek (ing:cache)**
- “Dinamik” belleğin sürekli tazelenmesi gerekiyor  
→ **DRAM = Ana bellek**
- ROM (Read Only Memory) yazılamaz bellektir, sadece okunur.
- EEPROM elektronik olarak yazılabilen, istemezsek silinemeyen bir bellektir.  
→ **EEPROM = Bios belleği**

# SDRAM (Synchronous Dynamic Random Access Memory)

---

- "Synchronous" yani senkron DRAM belleğinin davranışını açıklar.
- 1996 sonrasında, SDRAM sistemlerde görülmeye başlamıştır.
- Önceki teknolojilerin aksine, SDRAM kendini CPU'nun saatine senkronize edecek şekilde dizayn edilmiştir.
- Böylece bellek kontrol ünitesi istenen verinin tam olarak kaç saat sinyalinde hazır olacağını bilir, CPU da bellek erişimleri arasında fazla beklememiş olur.
  - Mesela eski, PC66 SDRAM, 66 MT/sn (saniyedeki milyon transfer sayısı) ile çalışırken, PC100 SDRAM, 100 MT/sn, PC133 SDRAM, 133 MT/sn ile çalışırlar.
- SDRAM belleklere I/O, bellek iç saati ve bus saati eşit olunca SDR SDRAM (Single Data Rate SDRAM) deniliyor.
  - Mesela I/O, iç saat ve bus saatinin hepsinin 133 Mhz olması (PC133).
- Yani Single Data Rate demek bir saat sinyalinde okuma veya yazma yapabilir demektir.
- Normal SDRAM her okuma/yazma operasyonu arasında biraz bekler.
  - 24 ile 50 saat sinyali kadar!

# DDR SDRAM (Double Data Rate SDRAM)

---

- SDRAM'lerin bir sonraki DDR'lardır.
- SDRAM'ler saat sinyali düşerken veri yolluyordu, DDR ise hem düşerken hem de çıkışken veri yollayarak (çift besleme) daha yüksek bant genişliği sağlarlar.
- Bu demektir ki iç frekansa dokunmadan iki kat veri transfer hızına çıktıı.
- DDR SDRAM, SDR SDRAM'de 1 olan tampon belleği (ing:prefetch buffer) 2 bite çıkartan ilk yapı oldu.
- DDR'ın transfer hızları 266~400 MT/sn aralığındadır.
  - DDR266 ve DDR400 bu tiplere örnektir.

## DDR2 SDRAM(Double Data Rate Two SDRAM)

---

- DDR SDRAM'ın dış bus hızı ikiye katlanarak bu bellek üretilmiştir.
- Bus sinyali geliştirilerek bunu elde ettiler.
- “Prefetch buffer” 4 bit oldu (2xDDR SDRAM).
- DDR2 belleğin iç hızı hala aynıdır (133~200MHz), yani DDR gibi...
- Ancak geliştirilen I/O sinyali sayesinde DDR'nin transfer hızı 533~800 MT/sn oldu.
- DDR2 533 ve DDR2 800 bellek tipleri buna örnektir.

# DDR3 SDRAM(Double Data Rate Three SDRAM)

---

- DDR3'ün en önemli katkısı DDR2'lerdeki güç kullanımını 40% azaltmasıdır, bunu da hem akımı, hem de gerilimi azaltarak yaptılar.
  - Kullanılan gerilim 1.5 V (DDR2'da 1.8 V, DDR'da 2.5 V idi).
- DDR3'ün transfer hızları 800~1600 MT/sn oldu. Çünkü DDR3'ün “prefetch buffer” genişliği 8 bit yapıldı.
  - DDR2'da 4 bit, DDR'da 2 bit idi.
- Ayrıca DDR3 ile iki yeni fonksiyon geldi.
  - ASR (Automatic Self-Refresh) ve
  - SRT (Self-Refresh Temperature).
- Böylece değişen sıcaklıklara göre kendi tazeleme frekansını ayarlayan bir bellek kontrol ünitemiz oldu.

# DDR4 SDRAM (Double Data Rate Fourth SDRAM)

---

- DDR4 SDRAM ile de en düşük voltaj (1.2V) ve en yüksek transfer oranlarına ulaşılmıştır.
- DDR4'ün transfer oranları 2133~3200 MT/sn'dır.
- DDR4 ile dört yeni "Bank Groups" teknolojisi eklenmiştir.
- Her bellek bank grubu tek başına çalışabiliyor.
- DDR4 kendi bir iç saat sinyalinde 4 veri işleyebiliyor, bu yüzden de DDR3'ten çok hızlı.
- DDR4 ayrıca yeni fonksiyonlar getiriyor
  - DBI (Data Bus Inversion),
  - CRC (Cyclic Redundancy Check) hata tespiti ve
  - CA parity.

# DDR5, GDDR, LPDDR ?

---

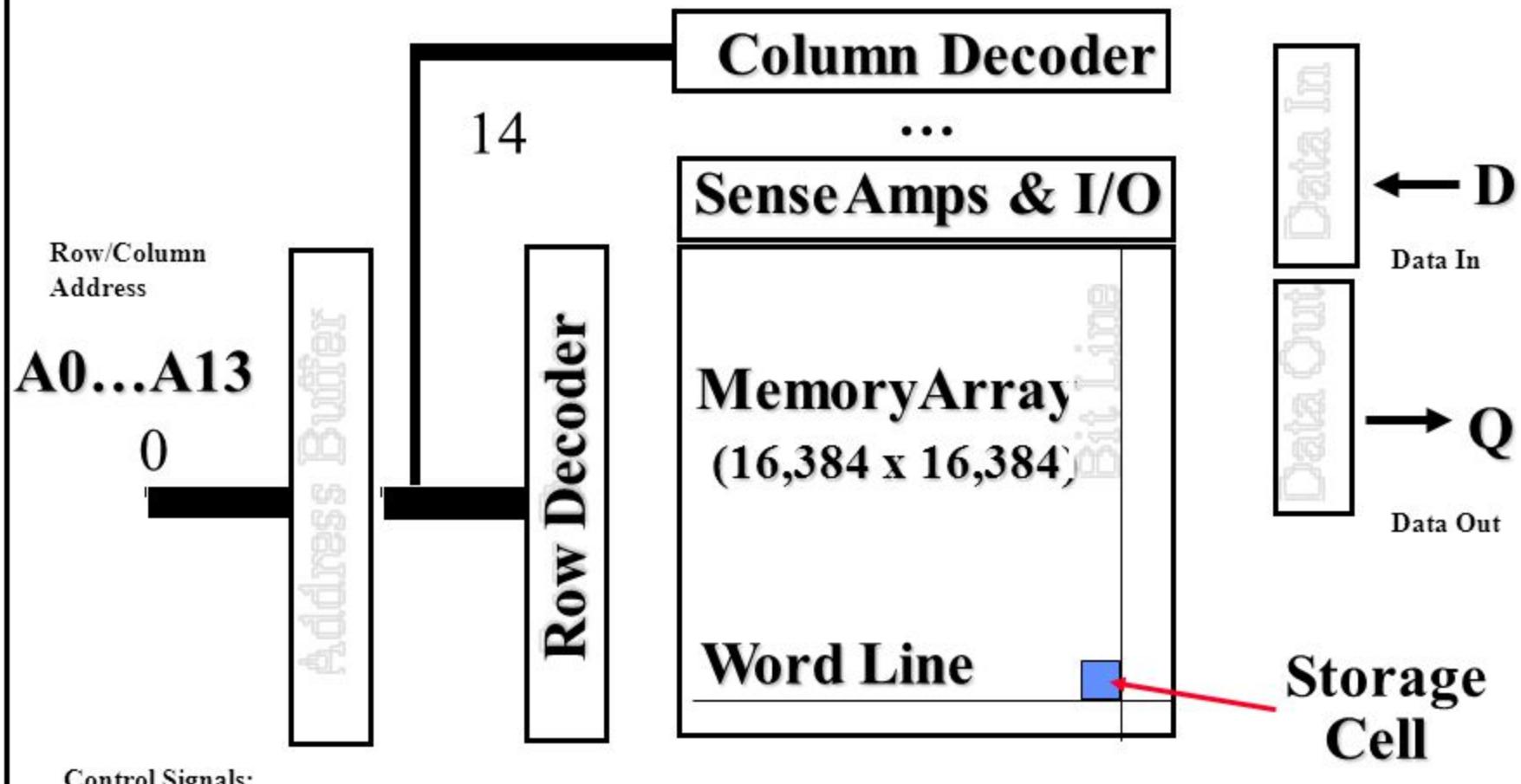
- GDDR bellekler grafik kartlarında kullanılıyor.GDDR6 (belki de 7) gibi daha yüksek seviyedeler.
- LPDDR (low-power) mobil cihazlarda ve laptoplarda tercih ediliyor.
- DDR5 ise 2020 yılından beri piyasada.
  - Transfer hızları 8400 MT/sn seviyelerine dek çıkıyor.
  - Tek bellek kartında 64, ana kartta 256 GB olabiliyor
  - İlk kez anakartta terabyte bellek olabilir deniliyor.
  - Tek seferde çift kanal veri aktarıyor (2x32 bit)
  - 1.1 Volt ile çalışıyor.
  - Yapay zeka ve veri merkezleri için hız sağlıyor

# Özet Tablo

---

DDR SDRAM Standard	Internal rate (MHz)	Bus clock (MHz)	Prefetch	Data rate (MT/s)	Transfer rate (GB/s)	Voltage (V)
SDRAM	100-166	100-166	1n	100-166	0.8-1.3	3.3
DDR	133-200	133-200	2n	266-400	2.1-3.2	2.5/2.6
DDR2	133-200	266-400	4n	533-800	4.2-6.4	1.8
DDR3	133-200	533-800	8n	1066-1600	8.5-14.9	1.35/1.5
DDR4	133-200	1066-1600	8n	2133-3200	17-21.3	1.2
<b>DDR5</b>	<b>200</b>	<b>2000-4400</b>	<b>4n</b>	<b>4800-8400</b>	<b>32-70.4</b>	<b>1.1</b>

# Logical DRAM Organization (16 Mbit)



Control Signals:

Row Access Strobe (RAS): Low to latch row address

Column Address Strobe (CAS): Low to latch column address

Write Enable (WE)

Output Enable (OE)

# DRAM İçinde Bir Bitin Seçimi

---

- Satır seçicisi (ing:row decoder) 16K satırdan birisini seçer.
- Kolon seçici bu satırda bir biti seçer.
- Yenileme işlemi DRAM'a ulaşmanızı engel olur (tipik oran ulaşılan sürenin %1-5'idir)
- Bir biti bile okumak o satırın tazelenmesini sağlar.
- Okuma işleminin bozucu bir etkisi de var. Bu yüzden okunan veri geri yazılmalıdır.
  - İç saat sinyali süresi ulaşım zamanından açık şekilde fazladır.
  - 200 Mhz = 50nsn saat sinyali, 13.5nsn ulaşım zamanı.

# Ana Belleklerin Arka Planı

---

- Ana belleğin performansı şunlara bağlıdır:
  - Gecikme / Latency: Cache'de yoksa ana belleğe bakılır
    - Ulaşım zamanı: Veri isteği ile yerinin bulunması aralığı
    - Saat süresi: istekler arasında olması gereken minimum süre
  - Bant genişliği: Tüm I/O'larda büyük transferlerin en önemli etkeni
- Ana belleklerimiz DRAM'dir : **Dinamik RAM**
  - Dinamik çünkü sürekli tazelenmesi gerekiyor.
    - Bit başına 1 transistor.
  - Adresler hep ikiye bölünüyor (Satır/Sütun)
- Cache SRAM kullanır: **Statik RAM**
  - Tazeleme gerektirmez
    - Bit başına 6 transistör. 10 kat fazla yer gerekiyor.
  - Adresler bölünmeden kullanılıyor.

# Performans Üzerine Detaylar

---

- Kolon seçimi belli bir nano saniye sürüyor, bu da performansı olumsuz yönde etkiliyor.
- Teknolojisi ne kadar değişse de SDRAM 'lerde 24 nano olan bu hız DDR4 'te ancak 13.5 nano saniyeye düştü.
- 1GHz CPU hızı olan SDRAM kullanan makine için bekleme 24 saat sinyali iken.
  - $1\text{GHz} = 1\text{nsn} \rightarrow 24\text{nsn} / 1\text{ nsn}$
- 4Ghz yeni bir CPU'da DDR4 kullanılsa bile bekleme 54 saat sinyaline çıkıyor. Nasıl yani? Çünkü bellek iç hızları en fazla 200Mhz'e sabitlemiş.
  - $4\text{Ghz} = 1/4\text{ nsn} \rightarrow 13.5\text{nsn} / 0.25\text{nsn} = 54$
  - Aslında bellekler hızlanmış ve eskisine göre neredeyse yarısı kadar sürede cevap veriyorlar ama CPU açısından bellek çok yavaş kaldı.
- Tabi tek performans kriteri bu değil ki...
- Over-clock yapılan bellekler hızlı çalışıyor.
- Bir kez bulunan adreseki bilgi bant genişliği yüksek bus ile hızla iletiliyor.
- Sonraki slaytlardaki “interleave” de cache-ana bellek arası hızı etkiliyor.
- Cache ana bellekle iletişimini azaltıp, sisteme çok hız katıyor.

# CL Değerlerinin RAM GHz'lerine Göre Performansı

	DDR Frequency (MHz)																					
CL	2133	2400	2666	2800	3000	3200	3333	3400	3466	3600	3733	3866	4000	4133	4200	4266	4600	4800	5000	5133	5200	5600
7	6.56	5.83	5.25	5.00	4.67	4.38	4.20	4.12	4.04	3.89	3.75	3.62	3.50	3.39	3.33	3.28	3.04	2.92	2.80	2.73	2.69	2.50
8	7.50	6.67	6.00	5.71	5.33	5.00	4.80	4.71	4.62	4.44	4.29	4.14	4.00	3.87	3.81	3.75	3.48	3.33	3.20	3.12	3.08	2.86
9	8.44	7.50	6.75	6.43	6.00	5.63	5.40	5.29	5.19	5.00	4.82	4.66	4.50	4.36	4.29	4.22	3.91	3.75	3.60	3.51	3.46	3.21
10	9.38	8.33	7.50	7.14	6.67	6.25	6.00	5.88	5.77	5.56	5.36	5.17	5.00	4.84	4.76	4.69	4.35	4.17	4.00	3.90	3.85	3.57
11	10.31	9.17	8.25	7.86	7.33	6.88	6.60	6.47	6.35	6.11	5.89	5.69	5.50	5.32	5.24	5.16	4.78	4.58	4.40	4.29	4.23	3.93
12	11.25	10.00	9.00	8.57	8.00	7.50	7.20	7.06	6.92	6.67	6.43	6.21	6.00	5.81	5.71	5.63	5.22	5.00	4.80	4.68	4.62	4.29
13	12.19	10.83	9.75	9.29	8.67	8.13	7.80	7.65	7.50	7.22	6.96	6.73	6.50	6.29	6.19	6.09	5.65	5.42	5.20	5.07	5.00	4.64
14	13.13	11.67	10.50	10.00	9.33	8.75	8.40	8.24	8.08	7.78	7.50	7.24	7.00	6.77	6.67	6.56	6.09	5.83	5.60	5.45	5.38	5.00
15	14.06	12.50	11.25	10.71	10.00	9.38	9.00	8.82	8.66	8.33	8.04	7.76	7.50	7.26	7.14	7.03	6.52	6.25	6.00	5.84	5.77	5.36
16	15.00	13.33	12.00	11.43	10.67	10.00	9.60	9.41	9.23	8.89	8.57	8.28	8.00	7.74	7.62	7.50	6.96	6.67	6.40	6.23	6.15	5.71
17	15.94	14.17	12.75	12.14	11.33	10.63	10.20	10.00	9.81	9.44	9.11	8.79	8.50	8.23	8.10	7.97	7.39	7.08	6.80	6.62	6.54	6.07
18	16.88	15.00	13.50	12.86	12.00	11.25	10.80	10.59	10.39	10.00	9.64	9.31	9.00	8.71	8.57	8.44	7.83	7.50	7.20	7.01	6.92	6.43
19	17.82	15.83	14.25	13.57	12.67	11.88	11.40	11.18	10.96	10.56	10.18	9.83	9.50	9.19	9.05	8.91	8.26	7.92	7.60	7.40	7.31	6.79
20	18.75	16.67	15.00	14.29	13.33	12.50	12.00	11.76	11.54	11.11	10.72	10.35	10.00	9.68	9.52	9.38	8.70	8.33	8.00	7.79	7.69	7.14
21	19.69	17.50	15.75	15.00	14.00	13.13	12.60	12.35	12.12	11.67	11.25	10.86	10.50	10.16	10.00	9.85	9.13	8.75	8.40	8.18	8.08	7.50
22	20.63	18.33	16.50	15.71	14.67	13.75	13.20	12.94	12.69	12.22	11.79	11.38	11.00	10.65	10.48	10.31	9.57	9.17	8.80	8.57	8.46	7.86
23	21.57	19.17	17.25	16.43	15.33	14.38	13.80	13.53	13.27	12.78	12.32	11.90	11.50	11.13	10.95	10.78	10.00	9.58	9.20	8.96	8.85	8.21
24	22.50	20.00	18.00	17.14	16.00	15.00	14.40	14.12	13.85	13.33	12.86	12.42	12.00	11.61	11.43	11.25	10.43	10.00	9.60	9.35	9.23	8.57

RATE: Memory clock frequency in MHz

CL: CAS Latency - It tells us how many clock cycles the memory will delay to return requested data.

First Word (ns) How much nanoseconds takes to return data after data request

# DDR4 - DDR3

CPU-Z

CPU | Mainboard | **Memory** | SPD | Graphics | Bench | About

General

Type	DDR4	Channel #	Single
Size	8 GBytes	DC Mode	
		Uncore Frequency	3393.4 MHz

Timings

DRAM Frequency	664.9 MHz
FSB:DRAM	3:20
CAS# Latency (CL)	10.0 clocks
RAS# to CAS# Delay (tRCD)	10 clocks
RAS# Precharge (tRP)	10 clocks
Cycle Time (tRAS)	28 clocks
Row Refresh Cycle Time (tRFC)	234 clocks
Command Rate (CR)	1T
DRAM Idle Timer	
Total CAS# (tRDRAM)	
Row To Column (tRCD)	

CPU-Z Ver. 2.05.1.x64 Tools ▾ Validate Close

CPU-Z

CPU | Caches | Mainboard | **Memory** | SPD | Graphics | Bench | About

General

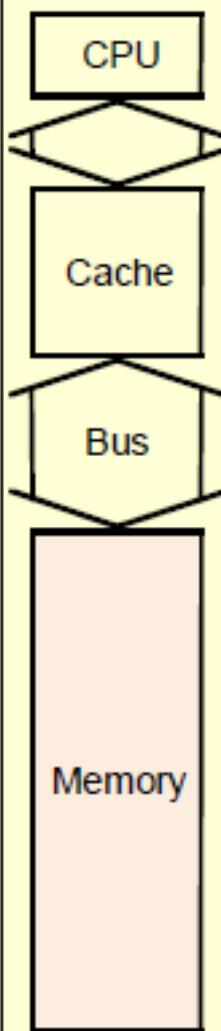
Type	DDR3	Channel #	Dual
Size	3 GBytes	DC Mode	Symmetric
		NB Frequency	

Timings

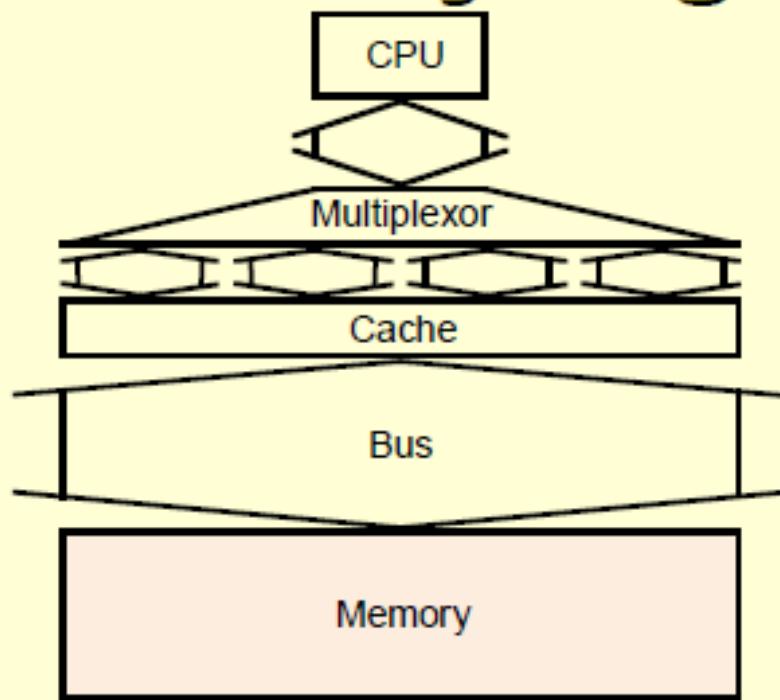
DRAM Frequency	531.9 MHz
FSB:DRAM	4:16
CAS# Latency (CL)	7.0 clocks
RAS# to CAS# Delay (tRCD)	7 clocks
RAS# Precharge (tRP)	7 clocks
Cycle Time (tRAS)	20 clocks
Row Refresh Cycle Time (tRFC)	60 clocks
Command Rate (CR)	1T
DRAM Idle Timer	
Total CAS# (tRDRAM)	
Row To Column (tRCD)	

CPU-Z Ver. 1.82.1.x64 Tools ▾ Validate Close

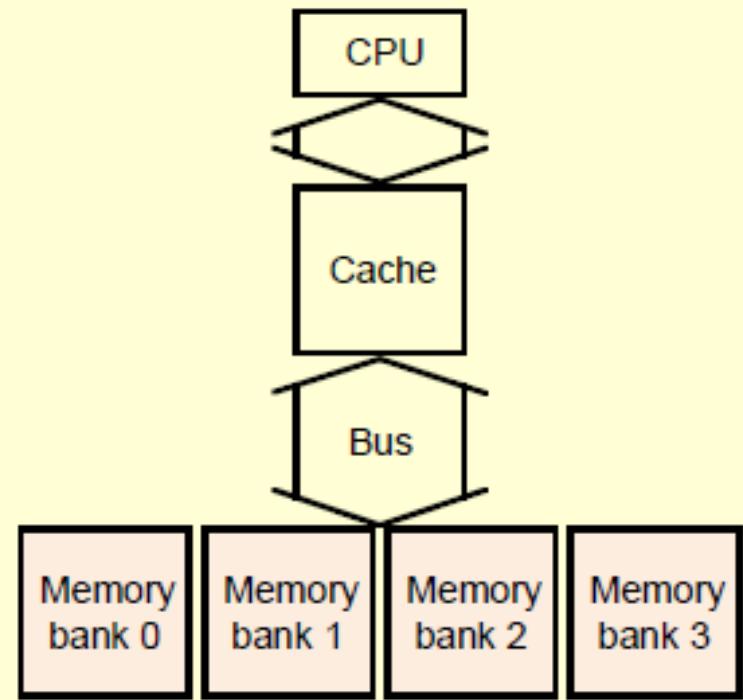
# Memory Organization



a. One-word-wide  
memory organization



b. Wide memory organization



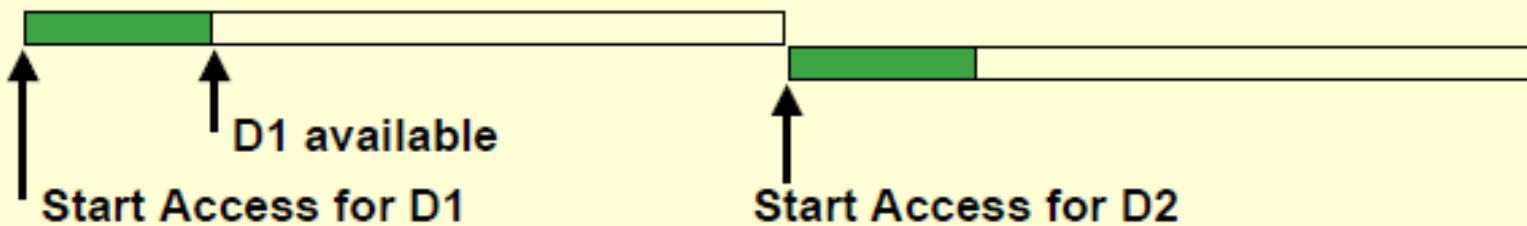
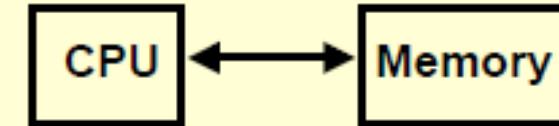
c. Interleaved memory organization

- *Simple*: CPU, Cache, Bus, Memory same width (32 bits)
- *Wide*: CPU/Mux 1 word; Mux/Cache, Bus, Memory N words
- *Interleaved*: CPU, Cache, Bus 1 word: Memory N Modules (4 Modules); example is word *interleaved*

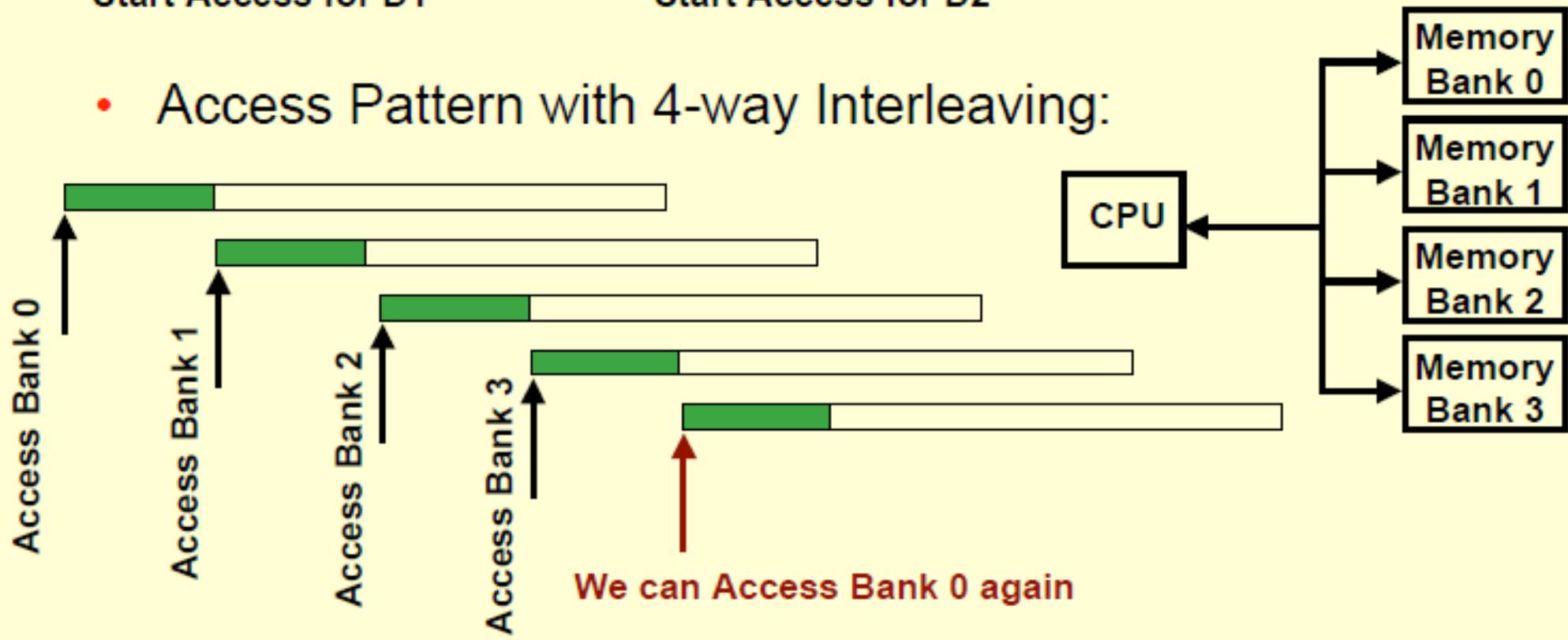
Memory organization would have significant effect on bandwidth

# Memory Interleaving

- Access Pattern without Interleaving:



- Access Pattern with 4-way Interleaving:



# Temel bellek donanım yapısı

---

- CPU içerisindeki register'lara genellikle bir cycle ile erişilebilmektedir.
- Hafızaya erişim bus üzerinden yapılır ve register'a göre oldukça uzun süre gerektirir.
  - Belleğin MHz değeri kadar, CAS değeri de önemli.
  - DDR 3 CAS 7-9 nano sn iyidir. DDR4'te 18ns var.
  - Intel-i7 için toplamda (L3'e sorma) 42 saat sinyali + (Bellek gecikmesi) 87ns.
  - CPU için >100 saat sinyali...
- Hafıza ile CPU arasına çok daha hızlı ve CPU'ya yakın bir saklama alanı oluşturulur (**cache**).
  - Intel-i7 için L1'de 4-5 saat sinyali. L2:13, L3:42