

Digitaalelektronika

IX loeng

Mälud



Meeldetuletus

- registrid
 - SISO, SIPO, PISO, PIPO
- loendurid





IX loengu sisu

- Mälude adresseerimine
- Mälude liigid
 - SRAM
 - DRAM
 - EEPROM (FLASH)



Mälud

- andmete hea säilivus ja andmevahetuse suur kiirus (koos hea hinnaga) pole senini võimalik, tuleb valida kas üks või teine (või kõrge hind)
- mälu kasutatakse peamiselt kahel põhjusel
 - vaheandmete ajutine hoidmine
 - andmete pikaajaline säilitamine
- esimesel juhul oluline kiire andmevahetus
 - andmete pikaajaline säilivus vähem oluline
- teisel juhul on oluline andmete säilivus
 - andmevahetuse kiirus pole enamasti nii tähtis

Mälud

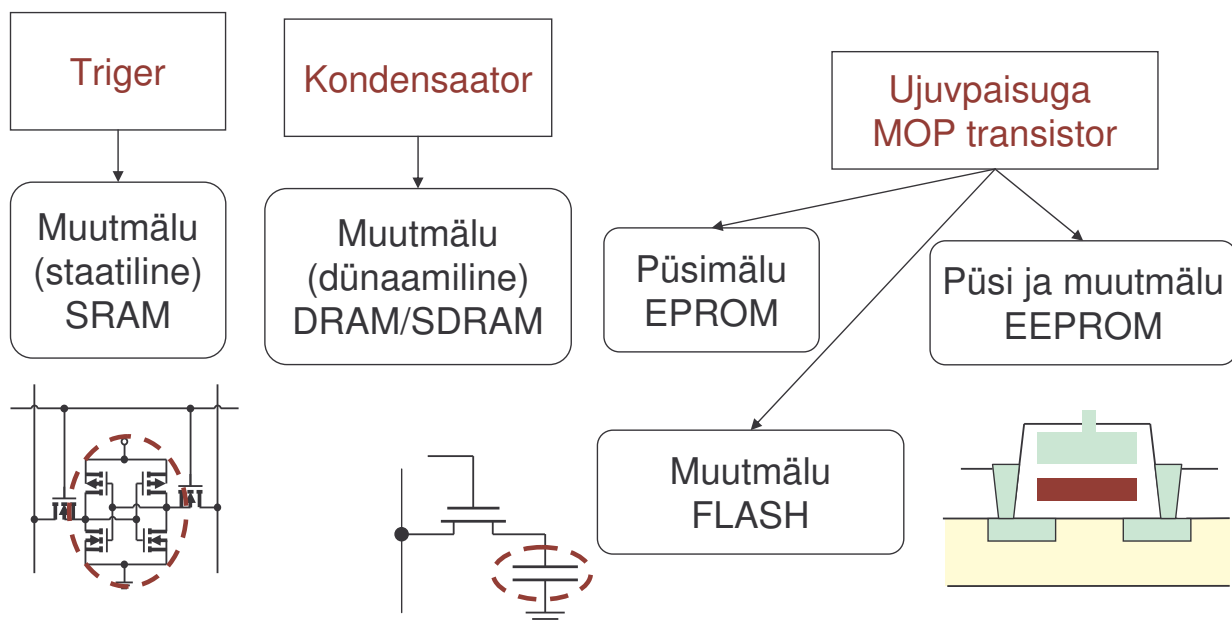


- sõltuvalt eesmärgist (ajutine või püsiv) võivad muutuda nii füüsilised andmekandjad kui ka adresseerimisviisid
- füüsilised andmekandjad
 - triger, kondensaator aga ka magnetid, optilised jne.
- adresseerimine
 - kuidas andmetele ligi pääseda ja andmeid lugeda

4/27/2009

5

Mälud: tahkisemälud



4/27/2009

6

Mälud



Mälu tüüp	Eelised	Puudused
RAM/ROM	kohene juurdepääs kiire andmevahetus	suhteliselt kallis
Kõvaketas	suure mahutavusega keskmise kiirusega andmevahetus	keskpärane juurdepääsu aeg
CD-ROM DVD	suure mahutavusega eemaldatav	aeglane juurdepääs andmevahetus aeglane
mälupulk	keskmise kiirusega andmevahetus eemaldatav	suhteliselt väike mahtuvus

4/27/2009 7

Mõningate mälude jaotus tehnoloogia järgi



Mälu tüüp	Eelised	kirjutatav	püsiv	Kiirus
SRAM	adresseeritavate trigerite maatriks andmete ajutuseks hoidmiseks	jah	ei	väga kiire
DRAM	adresseeritavate kondensaatorite maatriks suure koguse andmete hoidmiseks	jah	ei	kiire
ROM	adresseeritav püsiva seisundiga pesa mis seadistatakse kivi valmistamisel	ei	jah	väga kiire
PROM	adresseeritav ja ühekordselt kirjutatav mälu	1 kord	jah	keskmine
EPROM	kirjutatav ROM. kustutamine UV-ga	n korda	jah	keskmine
EEPROM	kirjutatav ROM. kustutamine elektriliselt	jah	jah	aeglane
FLASH	limiteeritud arv kordi kustutatav PROM	jah	jah	keskmine
NOVRAM	patareiga RAM või SRAM/EEPROM	jah	jah	keskmine

4/27/2009 8

Muutmälud



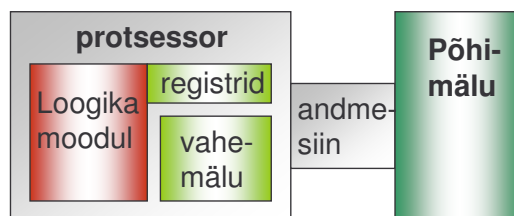
4/27/2009

9

Andmete lühiajaline hoiustamine



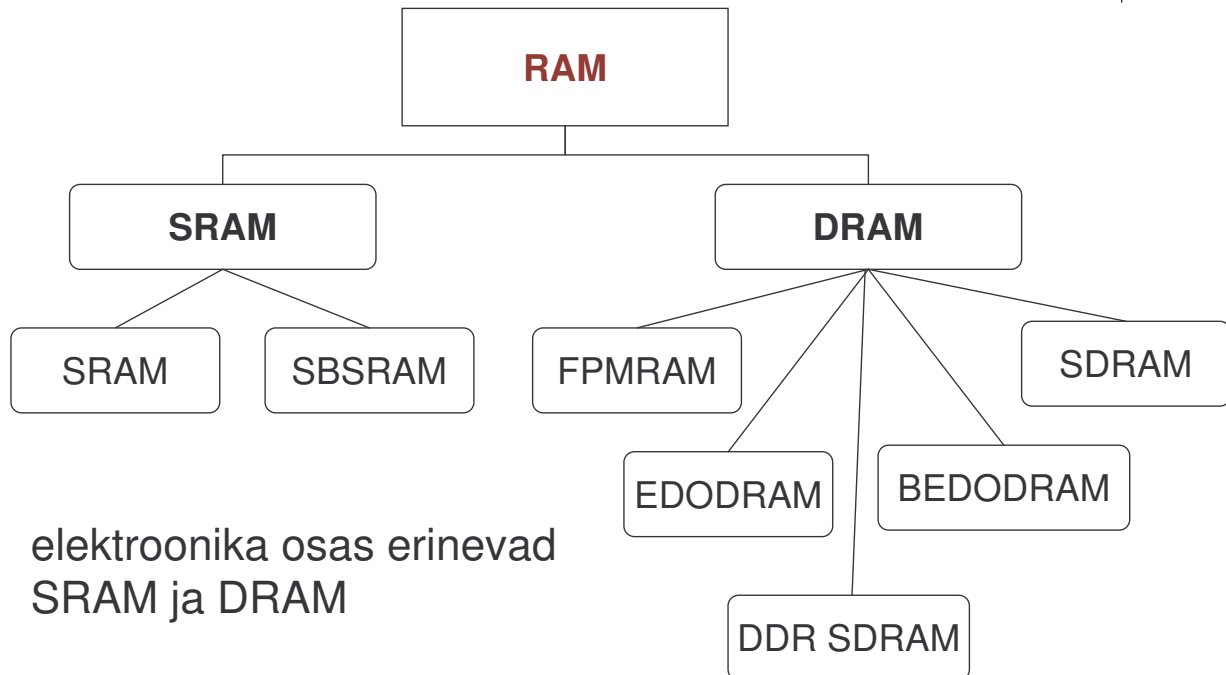
- andmete hoidmine protsessori töötamise ajal
 - töötavad programmid
 - töödeldavad andmed
- registrid
 - kõige kiirem kuid ka kallim ja andmete hulk väike
- vahemälu (cache)
 - protsessoris sees ja enamasti mõnevõrra suurem
- põhimälu
 - suhteliselt aeglasem, kuid andmetihedus väga suur



4/27/2009

10

Muutmälude jaotus tüüpide järgi



elektroonika osas erinevad SRAM ja DRAM

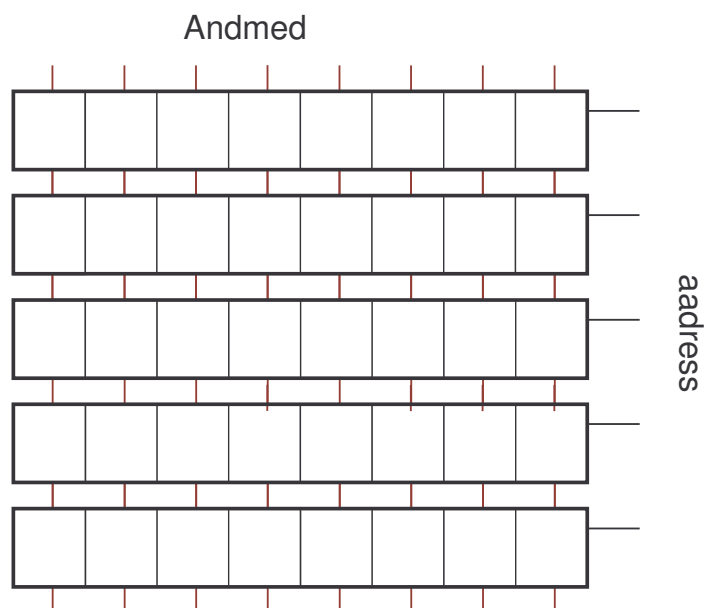
4/27/2009

11

Andmevahetus mäluaga



- registrid
 - vähese mäluarabe korral



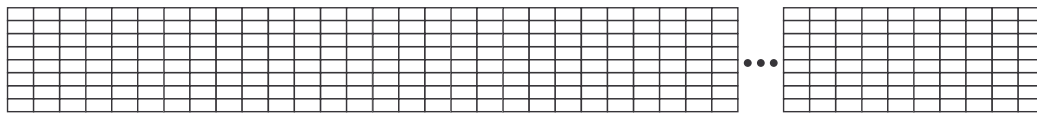
4/27/2009

12

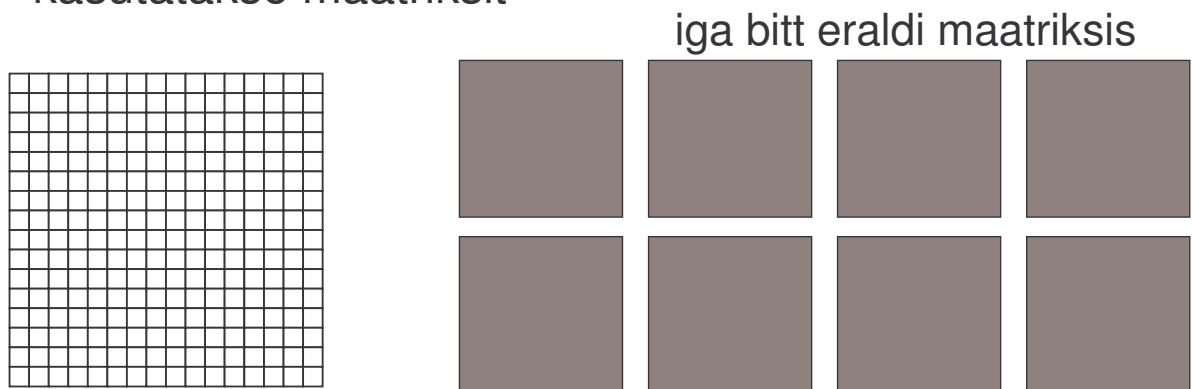


Andmevahetus mäluaga

- suure mälu korral ühtse reana liiga pikk



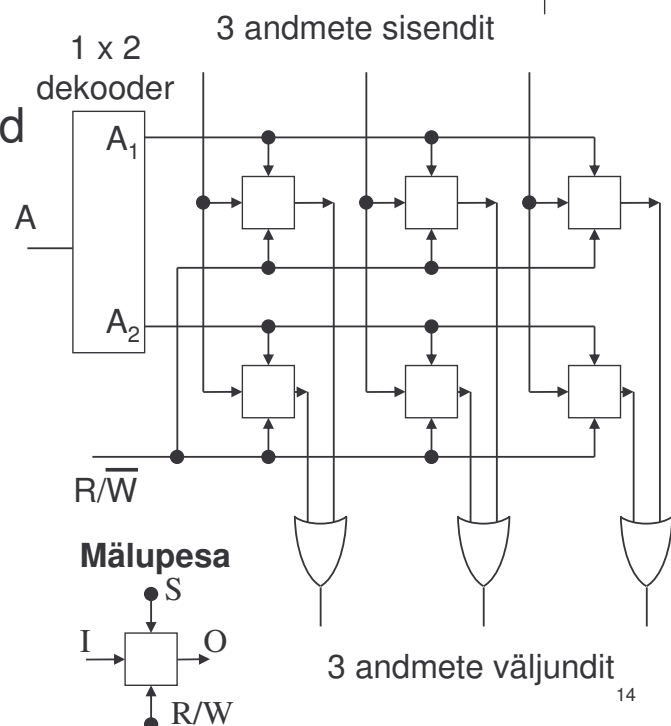
- kasutatakse maatriksit



Andmevahetus mäluaga Mälumaatriks



- 6 bitine **RAM**
- mälupeassa tulevad siinid
 - Aadressid
 - Andmed sisse
 - Andmed välja
 - Lugemine/kirjutamine
- programmeerimine
- kustutamine
- värskendamine

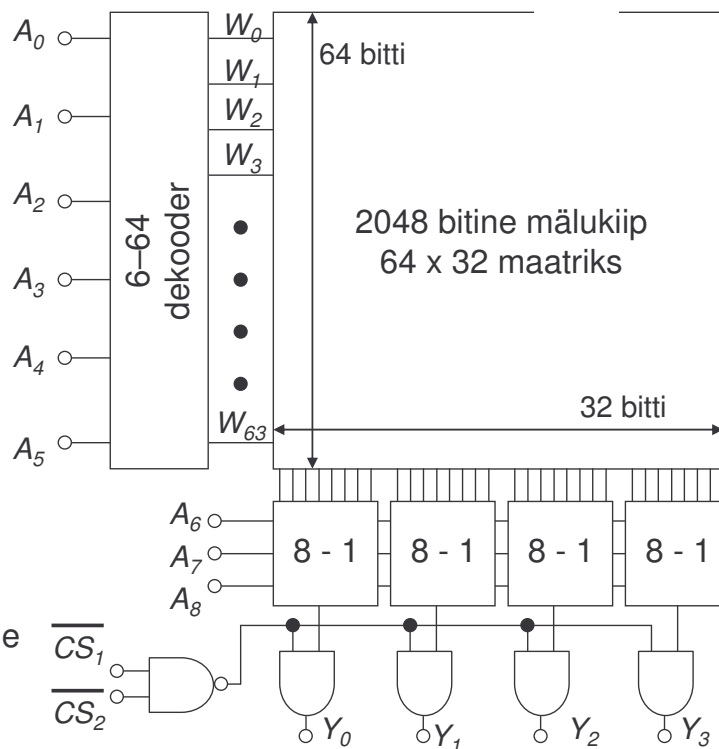
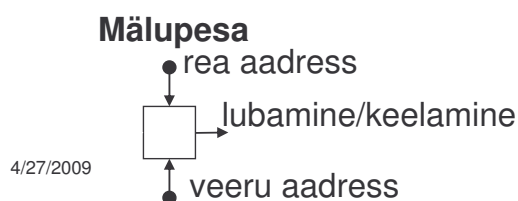


Andmevahetus mäluaga

Mälumaatriks



- 2-kb **ROM** 512 x 4 bitti
- Aadressid esitatakse maatriksina
- antud juhul 4-bitine
- Aadresse vajatakse $2048:4 = 512$
- maatriksis 6 rea-aadressi (2^6 väärtust) ja 3 veeru-aadressi (2^3 aadressi)



SRAM



SRAM – staatiline RAM

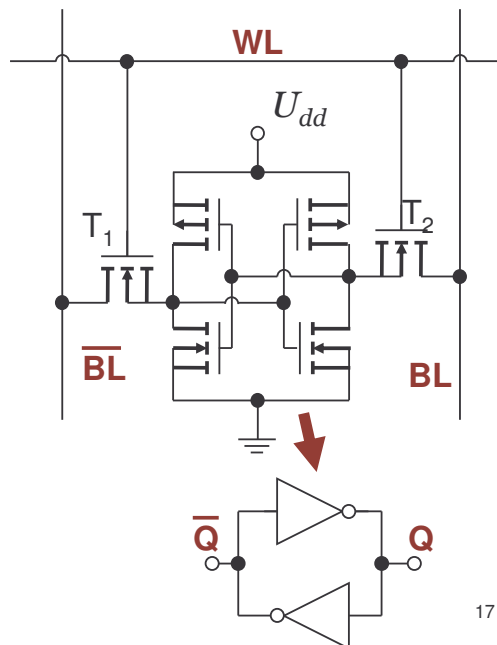
Static Random Access Memory



- kasutatakse trigereid
 - kaks sidestatud inverterit
 - kaks lisatransistori lugemiseks ja kirjutamiseks
 - kirjutamine – trigerid seatakse vastavasse seisusse
 - lugemine – andmesiinile loetakse trigeri väljund
- eraldi programmeerimist ja kustutamist ei vaja

WL (word line) – kontrollib T_1 ja T_2 ligipääsu

BL (bit line) – andmete lugemiseks ja kirjutamiseks



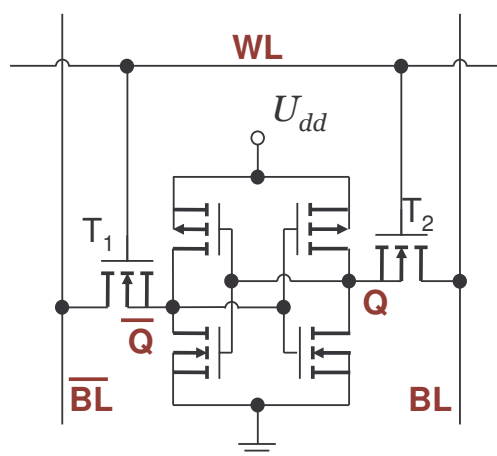
4/27/2009

17

SRAM



- kolm seisundit
 - ootel (stand-by) – WL on seadmata ja transistorid T_1 , T_2 avatud (rakk on BL-st eraldatud ja säilitab seisundi)
 - lugemine (read) – BL ja \overline{BL} laetakse seisundisse "1" ja WL abil avatakse T_1 ja T_2 .
Kui $Q = 1$, siis BL läbi T_1 tühjaks, \overline{BL} säilitab laengu
Kui $Q = 0$, siis vastupidi
 - kirjutamine (write) – BL ja \overline{BL} seatakse vastavasse seisundisse. WL abil loetakse seisund trigerisse

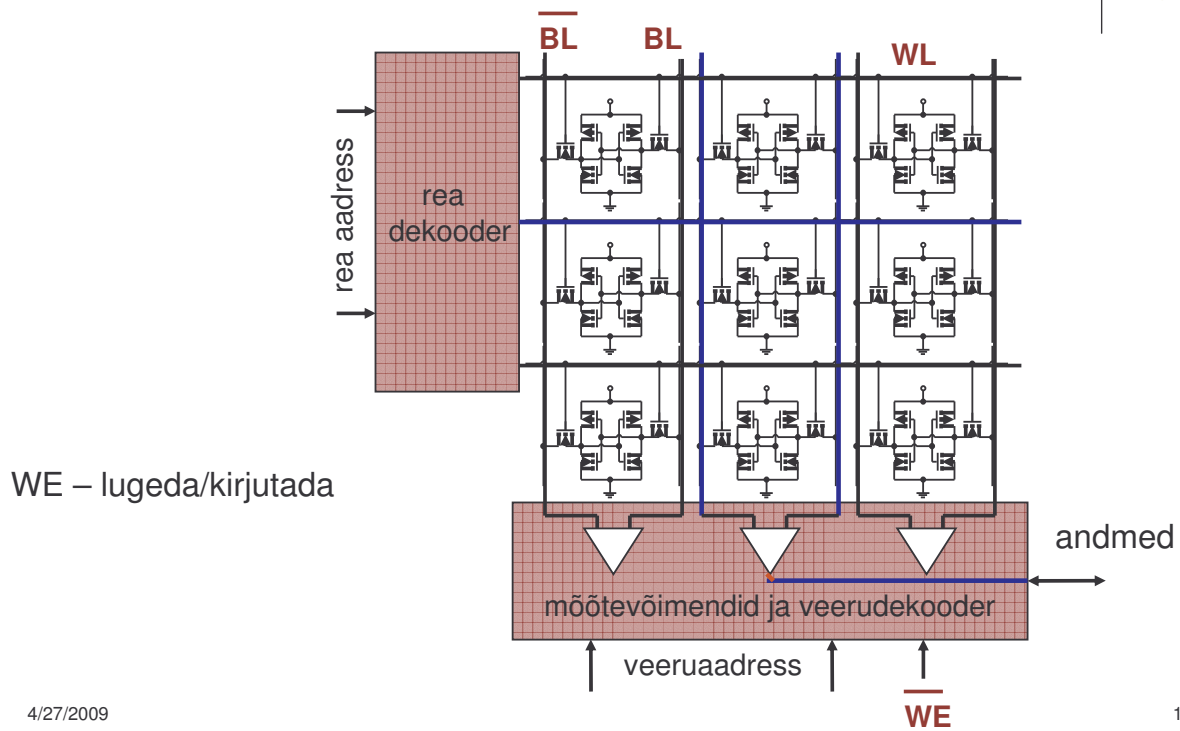


töötab, kuna BL driverid on tugevamad kui inverterid

4/27/2009

18

SRAM



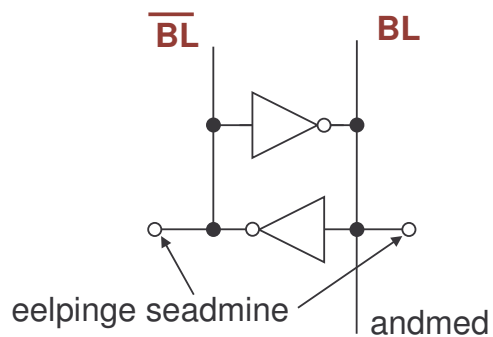
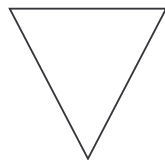
4/27/2009

19

Mõõtevõimendi



baseerub ka trigeril



eelpinge seadmine ja mõõtevõimendi lukustamine ajakulukas
andmete lugemine kiirem

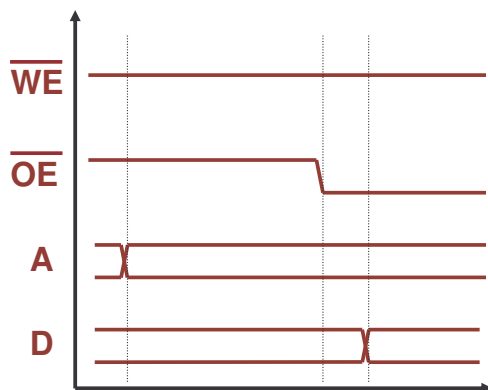
4/27/2009

20

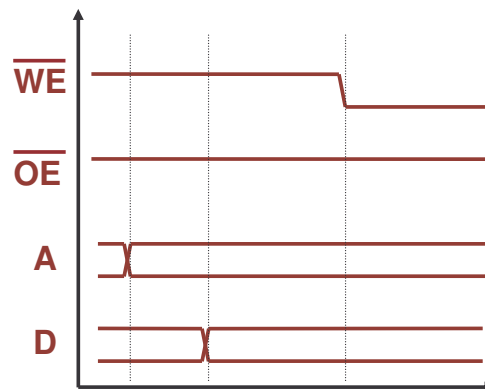
SRAM ajadiagrammid



lugemine



kirjutamine



4/27/2009

21

SRAM



- Pöördumisaeg
 - 70 ns pöördumisajaga mälupesa annab väljundisse andmed 70 ns pärast aadressi seadmist
 - lisandub 5-10 ns hoidmise aeg ja ~5 ns tõusu ja languse aeg
 - adresseerides teatud suuremat hulka (page) andmeid korraga, saab pöördumisaega vähendada 30 ns-ni
- võimsustarve sõltub pöördumiskiirusest
 - ooterežiimis võimsustarve väga väike (μ W-des)
 - kõrgetel sagedustel sama suur võimsustarve kui näiteks DRAM-I (W-des)

4/27/2009

22

SRAM



- kasutatakse kas eraldi kividena või integreerituna
 - eraldi kivi korral kas asünkroonsena või sünkroonsena (näiteks vahemäluna (“cache”))
 - integreerituna kas RAM või vahemäluna mikrokontrollerites
 - esmase vahemäluna (“primary cache”) mikroprotsessorites
 - registritena mikroprotsessorites

4/27/2009

23

SRAM - rakendused



- manussüsteemid (“embedded systems”)
 - kõikvõimalikud tööstuslikud ja teaduslikud seadmed ja elektroonilised “vidinad” nagu näiteks mänguasjad võivad sisaldada mõned kilobaidid
 - telefonid, digikaamerad jms. omavad megabaite
- arvutid
 - protsessori vahemälud, kõvaketta, CD seadmete ja ruuterite puhvrid
 - LCD ja printeri andmete hoidmiseks
- väikeste seadmete valmistajad ja hobielektronikud
 - kergem ühendada ja adresseerida

4/27/2009

24

SRAM



- eelised
 - lugemine kirjutamine kõige kiirem - ümberlülitamine aktiivselt läbi inverteri
 - sümmeetria tõttu väikeste signaalide detekteerimine lihtsam
 - tarbib enamasti vähem energiat
 - kergem ühendada
- valmistatavad kiibid aktsepteerivad igal ajahetkel kõiki aadresse
- puudused
 - keerukam ja kallim kuna vajab 6 transistori
 - adresseerimiseks vaja rohkem siine
- kasutatakse kui vaja kiirust või madalat energiatarvet

4/27/2009

25

Püsiv muutmälu (SRAM)



- non-volatile RAM
 - omab liitumpatarei toidet, mis lülitub toitepinge asemele siis, kui toitepinge on alla poole nominaalsest
 - viiakse ka väikse voolutarbega režiimi, et patareitoidest jätkuks mitmeks aastaks
- EEPROM-ga dubleeritud SRAM
 - igale SRAM pesale, kus on triger, liidetakse EEPROM kuhu andmed siis, kui toitepinge väheneb
 - toitepinge taastumisel andmed tagasi trigerisse
 - kõik toimub sisemiselt mälu kiibis ja võimaldab kiiret tööd ja andmete säilimist hinna arvelt

4/27/2009

26

DRAM



4/27/2009

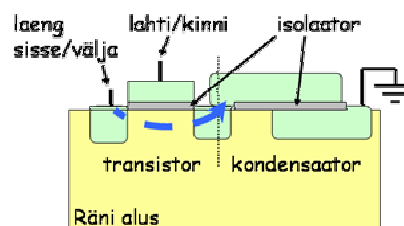
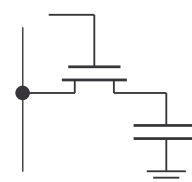
27

DRAM – dünaamiline RAM

Dynamic Random Access Memory



- iga andmebitt salvestatakse kondensaatori laenguna
- kondensaator tühjenemise tõttu peab teda perioodiliselt laadima ehk seisundit uuendama
- seetõttu nimetatakse dünaamiliseks
- pöördumiseks üks transistor
- eelised
 - lihtsus ja sellest tulenev suur andmetihedus
 - toite kadumisel on lühiajaliselt võimalik veel andmed taastada



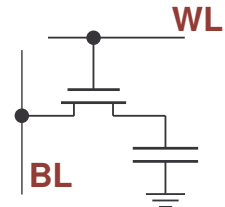
4/27/2009

28

SRAM



- kirjutamine
 - **BL** seatakse mõõtevõimendiga kas kõrgesse või madalasse seisu
 - **WL** abil kondensaator laetakse või tühjendatakse
- lugemine
 - **BL** seatakse teatud eelpingeni (laenguni)
 - transistori avamisel **WL**-ga liitub kondensaatori laeng **BL** liini laengule või võtab osa laengut ära ja mõõtevõimendi seab **BL** kas kõrgele või madalale
 - sellega värskendatakse ka kondensaatori laengut



4/27/2009

29

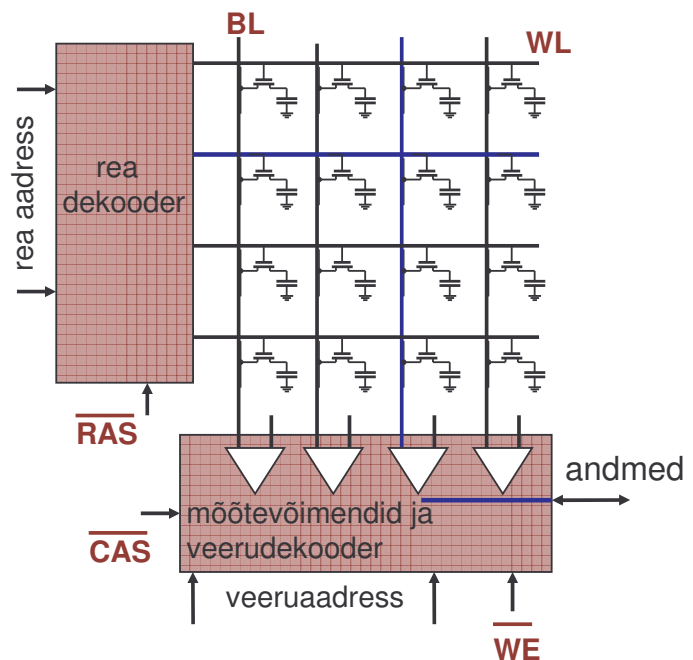
DRAM



rea ja veeru address eraldi

/RAS – row address strobe
/CAS – column address strobe

- värskendamine
 - ühe rea seisundid loetakse perioodiliselt (period 64 ms)



4/27/2009

30



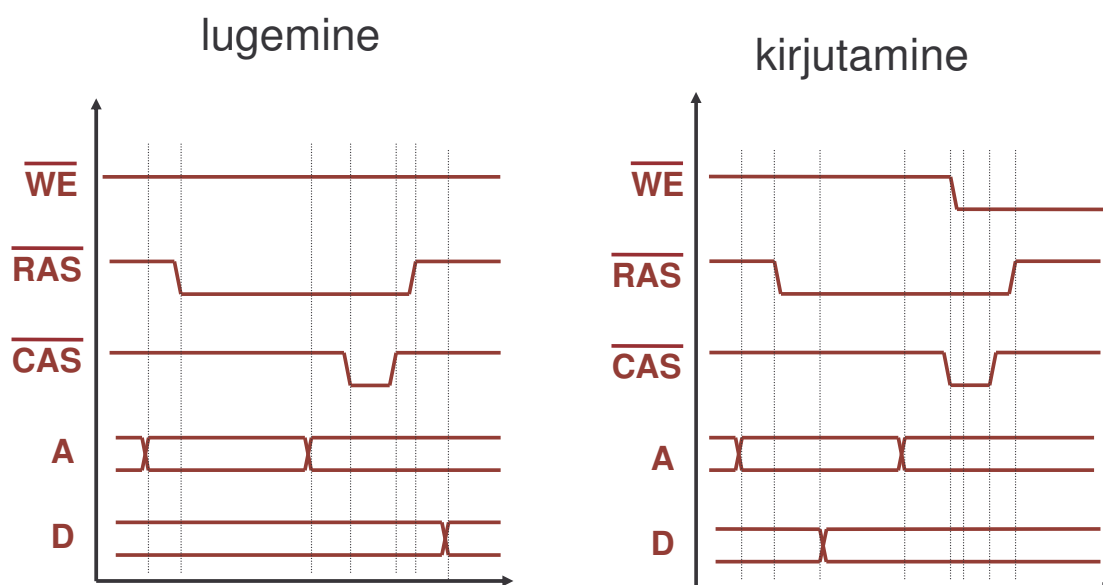
DRAM adresseerimise eripära

- aadressisiine poole vähem, kui aadresse
- jaotatud kaheks pooleks, millest ühte loetakse ühe tsükli ja teist teise tsükli jooksul
 - /RAS ja /CAS bitid
- võimaldab kokku hoida aadressisiine kuid teeb pöördumise keerukamaks

4/27/2009

31

DRAM ajadiagrammid



4/27/2009

32

DRAM värskendamine



- värskendamine
 - protsessor genereerib mäluaadresse alates 0-st kuni teatud väärtuseni ja sellega sünkroonis loetakse mälu sisu ja värskendatakse
 - värskendamine mälu siseselt (SDRAM)
 - värskendatakse kas kõiki ühe värskendustsükliga või ükshaaval teatud perioodiga
 - loendur, mis loendab millise aadressi juures ollakse

4/27/2009

33

DRAM tüübid



paljude ridade korral kulub palju aega värskendamiseks, seetõttu värskendamise kiirendamiseks erinevad meetodid

- FPM DRAM (Fast Page Mode DRAM)
 - ühe /RAS jooksul loetakse mitu /CAS tsüklit ehk bitti ehk mitu bitti ühe rea pealt korraga
 - “nibble mode” – neli järjestikust veergu loetakse ilma veeru aadressi sisestamata
- EDO-DRAM (Extended Data Out DRAM)
 - FPM DRAM modifikatsioon, kus uue aadressi saab sisestata eelmise pesa andmete lugemise ajal
 - kiirendab oluliselt lugemist

4/27/2009

34



DRAM tüübid

- SDRAM (synchronous DRAM)
 - sünkroniseeritud andmete edastus
 - andmeedastus takti langeva ja tõusva frondiga
 - ka DDR DRAM (double data rate DRAM)
- 1T RAM (Z-RAM)
 - kondensaator on ära jäetud ja selle asemel kasutatakse ära transistori parasiitset mahtuvust
 - lugemine ei hävita enam andmeid

4/27/2009

35



DRAM pöördumisajad

- näide asünkroonses DRAM-st (10 a. tagasi)
 - t_{RC} 84 ns: juhuslik R-W tsükkel ühest /RAS-st teiseni)
 - t_{RAC} 50 ns: pöördumisaeg e. aeg /RAS kuni andmed väljundisse
 - t_{RAS} 50 ns: minimaalne /RAS pikkus
 - t_{RP} 30 ns: /RAS laadumine (precharge)
 - t_{PC} 20 ns: R-W "Page mode"-s (ühest /CAS-st teiseni)
 - t_{CAC} 13 ns: aeg /CAS kuni andmed väljundisse
 - t_{CAS} 8 ns: minimaalne /CAS pikkus

järjestus: /RAS ja siis /CAS (ka mitu korda)

tegelikud pöördumisajad seotud taktsagedusega

4/27/2009

36

DRAM evolutsioon

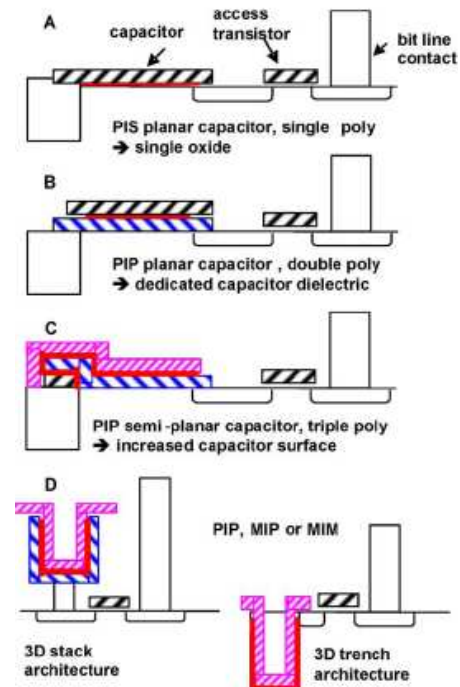


aluspind on limiteeritud aluspind
mahtuvus peab olema piisavalt suur
pakketihedus pinnal on ka piiratud

Kasutatakse 3D struktuure

Edaspidi asendub uute tüüpidega:
PRAM, FeRAM, ReRAM
ühendavad püsimalu ja muutmälu

4/27/2009



37
Gerritsen et al. Solid-State Electron. 49 (2005) 1767

Püsimalud



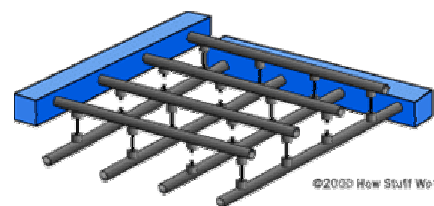
4/27/2009

38

ROM



- ROM (Read Only Memory)
 - programmeeritakse vaid korra vabrikus
 - andmete säilimine hea, kuid väikestes tiraažides kallis
- PROM (Programmable ROM)
 - mälupesades “sulavkaitsmed”, mida suure voolu (rakendatud pinge) abil saab läbi põletada
 - programmeeritav üks kord
 - endiselt kulukas programmeerida ja kardab staatilist elektrit



PROM

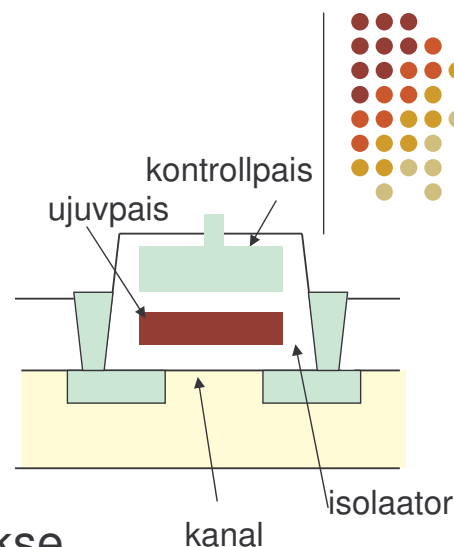
4/27/2009

39

EPROM Erasable ROM



- kustutatav ROM
 - kahe paisuga transistor
- ujuvpais
 - sobiva pingestamise abil laetakse
 - kontrollib kas kanal juhib või mitte
- andmed kustutatavad UV-ga
 - laeng juhatakse ära
 - andmed säilivad üle kümne aasta



4/27/2009

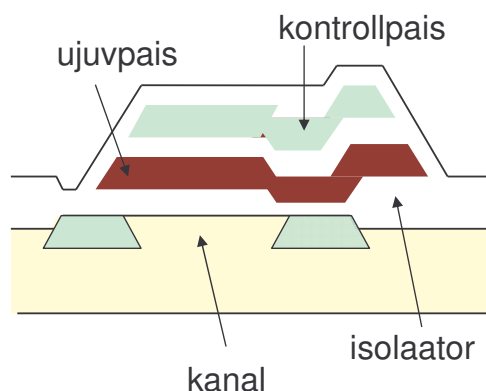
40

EEPROM

Electrically Erasable ROM



- elektriliselt kustutatav ROM
 - elektronid saab eemaldada elektriliselt
 - ühe baidi kaupa: EEPROM
 - blokkide kaupa: FLASH
- kirjutamiseks vajatakse palju kõrgemat pinget ja on aeglane
- kirjutamistsüklite arv piiratud

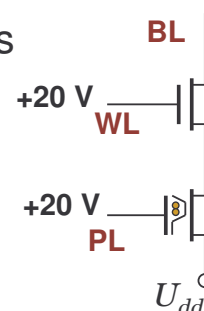
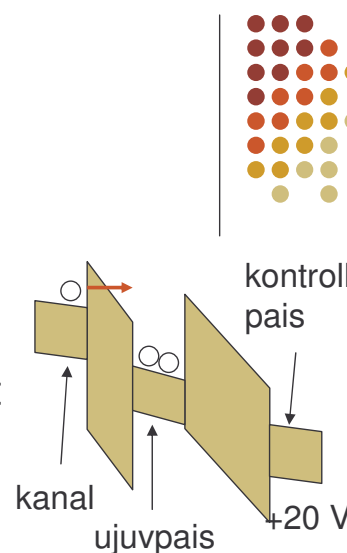


4/27/2009

41

(E)EPROM

- programmeerimine
 - juhitavale paisule rakendatakse **PL** abil "+" pinge mille mõjul liiguvad elektronid neelust ujuvasse paisu
- lugemine
 - **WL** avab transistori, mis ühendab vastava veeru **BL** läbi (E)EPROM mälu toitega
 - kui kanal suletud (laengu tõttu ujuvpaisus) siis **BL** ei pingestata
 - võib ka vastupidi: juhtiv kanal lühistab



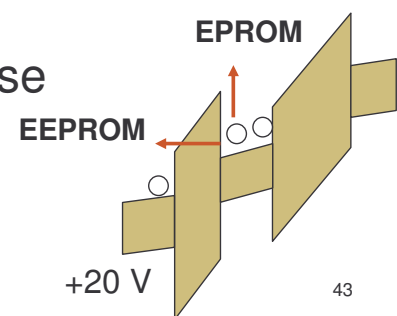
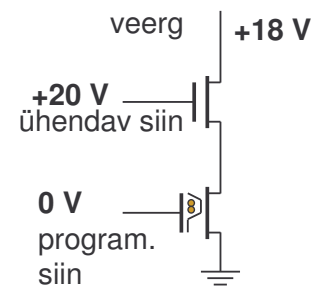
4/27/2009

42

(E)EPROM kustutamine



- EPROM
 - kanalile rakendatakse positiivne pinge
 - UV annab elektronidele piisavat energiat, et ületada barjäär
- EEPROM
 - kanalile positiivne pinge
 - elektronid tunnelleeruvad ujuvast paisust kanalisse
- kanalist positiivse pinge mõjul toitiesse
- EPROM programmeeritakse ja kustutakse eraldi seadmes



4/27/2009

FLASH



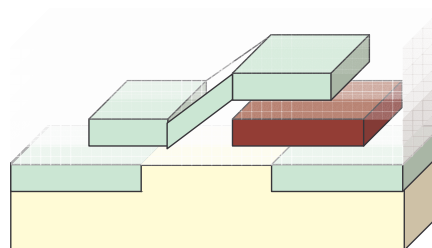
4/27/2009

44

FLASH



- kirjutatavad vaid blokkide kaupa
- uuemad võimaldavad salvestada ühele transistorile mitu bitti
 - ujuvpaisus erinev kogus laenguid
- NOR
 - kuumade elektronide energia piisav et siseneda ujuvpaisu
 - kustutamine nagu EEPROM

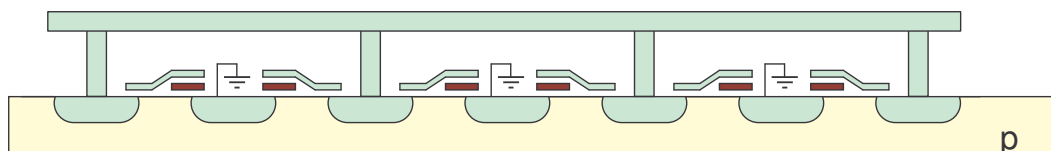


- NAND
 - elektronid tunnelleeruvad ujuvpaisu
 - kustutamine nagu EEPROM

4/27/2009

45

NOR FLASH

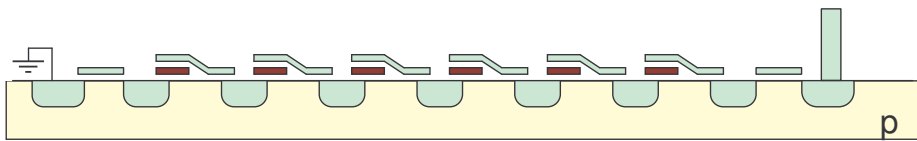


- pikad kustutamise ja kirjutamise ajad
- ligipääs kõigile mälupeadele ja adresseerimine sarnane RAM-le
 - kirjutamiste arv 10 000 – 1 000 000 korda
 - sobib ROM asendamiseks kuna siis vähe kirjutamisi aga vaja kõigile bittidele individuaalselt ligi pääseda

4/27/2009

46

NAND FLASH



- kiirem kustutamise ja kirjutamise aeg
- suurem bittide tihedus
- 10 x suurem vastupidavus
- lugemine vaid blokkide kaupa (~1kb)
 - sobib kõvaketta asendamiseks
 - mälukaardid
- andmed loetakse vahemälusse

4/27/2009

47

FLASH eluea pikendamine



- ühtlane kulumine
 - failisüsteemi draiver jälgib andmete kirjutamist ja jaotab andmed ühtlaselt üle kogu mälu
- kirjutamise õnnestumise jälgimine
 - failisüsteemi draiver kontrollib kirjutamise õnnestumist ja vajadusel kirjutab uute kohta
- 1 vea parandamise võimalus
- paljude kaasaskantavate seadmete korral on FLASH mälu eluiga pikem kui seadmel
- ei sobi seadmetes, kus andmete kadu ei saa lubada
- sobib seadmetesse, kus vähe kirjutamist

4/27/2009

48



FLASH ühendamine

- Serial FLASH – väike madala võimsustarbega jadamisi (serial) ühendatav FLASH mälu
 - vähem ühendusviike
 - sageli just viikude arv määrab suuruse
 - sisemised ühendused lihtsamad
 - NAND Flash korral eriti sobilik
 - USB mälupulk
- maskimine läbi SRAM-i
 - ROM lugemine peab olema kiire
 - andmed hoitakse FLASH-s kuid loetakse SRAM-i
 - seadmete “firmware”

4/27/2009

49

mitme biti salvestamine FLASH-ga



- Multi-level cell devices
- selleasemel, et kontrollida avatud kanali (voolu) olemasolu, kontrollitakse voolu väärtust
- erineva koguse laengu salvestamisel ujupaisu saab kanali juhtivust ja seega voolu kontrollida
- 4 erinevat seisundit 0 - 3
 - 0,0 0,1 1,0 1,1

4/27/2009

50



Mälude jaotus uuesti

- ROM
 - EEPROM, FLASH-SRAM
- registrid ja osa vahemälu
 - SRAM
- suurem vahemälu
 - DRAM
- peamine mälu
 - DRAM
- püsivad andmed
 - kõvaketas
 - FLASH

