

MHK0120 SISSEJUHATUS MEHHATROONIKASSE

Sügis 2018

Digitaalelektronika analoogmaailmas

Martin Jaanus

U02-308 (hetkel veel)

martin.jaanus@ttu.ee

620 2110, 56 91 31 93

Õppetöö : <http://isc.ttu.ee>

Õppematerjalid : <http://isc.ttu.ee/martin>

Teemad

Digitaalelektronika analoogmaailmas

- Lihtloogikafunktsioonid (eitus, või, välistav või, ning)
- Realisatsioon erinevatel tehnoloogiatel (DTL, TTL, KMOP....)
- Mäluta elemendid (dekoodrid, multiplekserid)
- Mäluga loogikaelemendid (trigerid, loendurid)

Digitaalelektronika

- Digitaalne (ladina keeles digitis – sõrm, inglise keeles digit-number) tähendab numbriline.
- Kasutusel (erinevalt pidevsüsteemist ehk analoogsüsteemist) kindlad , kokkulepitud signaali väärtused.
- Digisignaal saab muutuda astmete kaupa, lõplikud väärtused.
- Põhiline kasutus on kahendsüsteem , sest seda on lihtne kasutada (signaal kas on või ei ole)
- Reeglina digitaalelektronikas on digitaalne (kindlate väärtustega) ka aeg.

Kahendsüsteem

- Kahe võimaliku oleku puhul on tegu binaarse signaaliga
 - Kõige lihtsam arvusüsteem. Bitt.
 - 0 – vale, puudub, madal tase
 - 1- tõde, olemas, kõrge tase
-
- Kui digitaalne signaal on tegelikult suurus, mis võib pidevalt muutuda, on tegemist hägusa (fuzzy) mudeliga. Näiteks kõrgemal asuv pinge tähendab ühte olekut, teisest nivoost madalam –teist olekut.

Kahendsüsteem elektrilisel kujul

- Voolupõhine (tööstuselektronika, -automaatika)

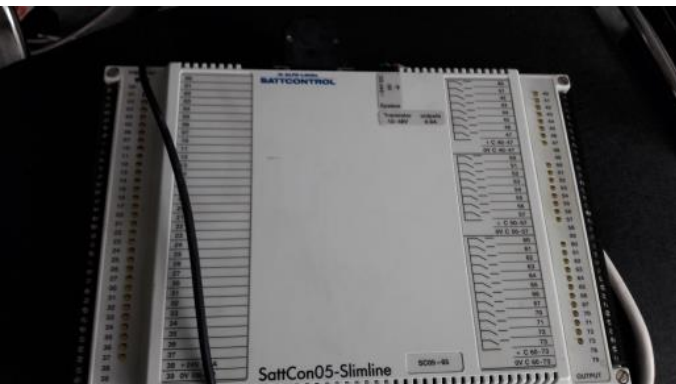
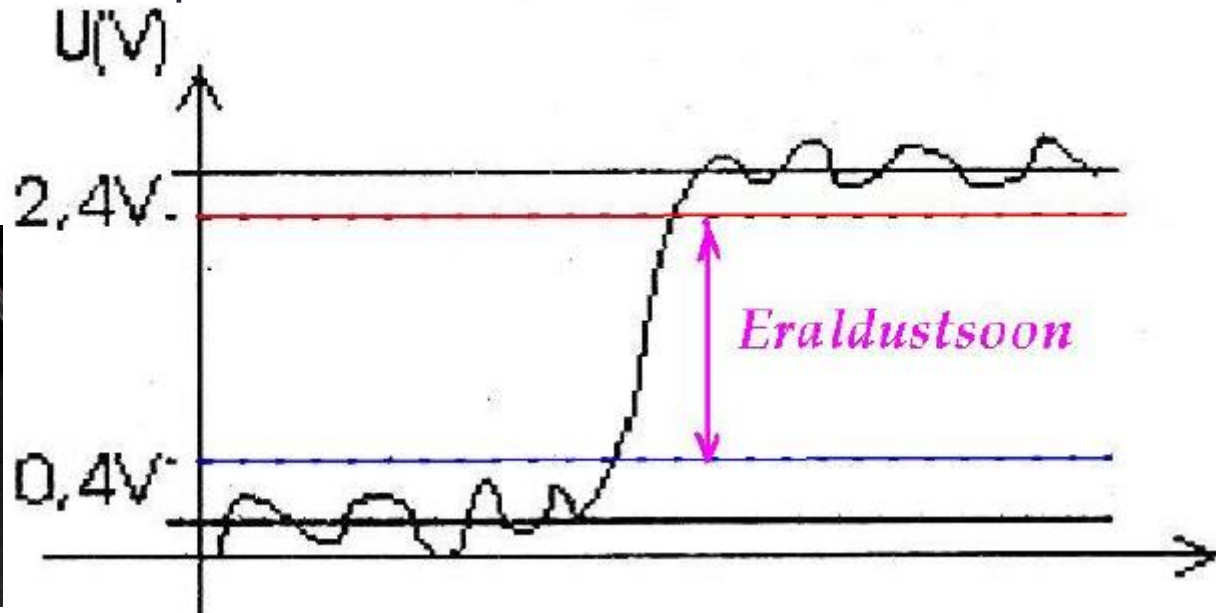
0 - 4 mA, 1 – 20 mA , kui vool puudub ,on ühendus katki.

Valdavalt kasutatakse pingepõhist süsteemi

- 0 – 0...0.5 V , 1 – 2.4.....(3.3 V , 5 V)

Tööstuselektronikas ja häirerikas keskkonnas kasutatakse ka teisi nivoosid 0 >>5 V, 1 < -5V...-24 V (RS232)

Aga olekuid võivad olla kodeeritud ka vahelduvpingesse (modulatsioon) : Amplituud,sagedus, faas. Tänapäevane sidetehnika.



Veidi ajaloo

- 1705 Binaarsüsteem (0,1) Gottfried Wilhelm Leibniz
- 1886 Georg Boole algebra (loogikatehted), releeloogika
- 1907 Audioni (elektronlambi) kasutamine NING-EI tehtes.
- 1924 tänapäevase loogikaelementide eelkäijad.
- 1941 Esimene elektrooniliselt programmeeritav automaat (Konrad Zuze, Z3), kasutas elektronlampe.
- 1953 Esimene täispooljuhtarvuti.
- 1958 Esimene loogikamikroskeem.

Tööstusautomaatika digijuhtmoodul (1973)
NSVL



Tehnoloogiad

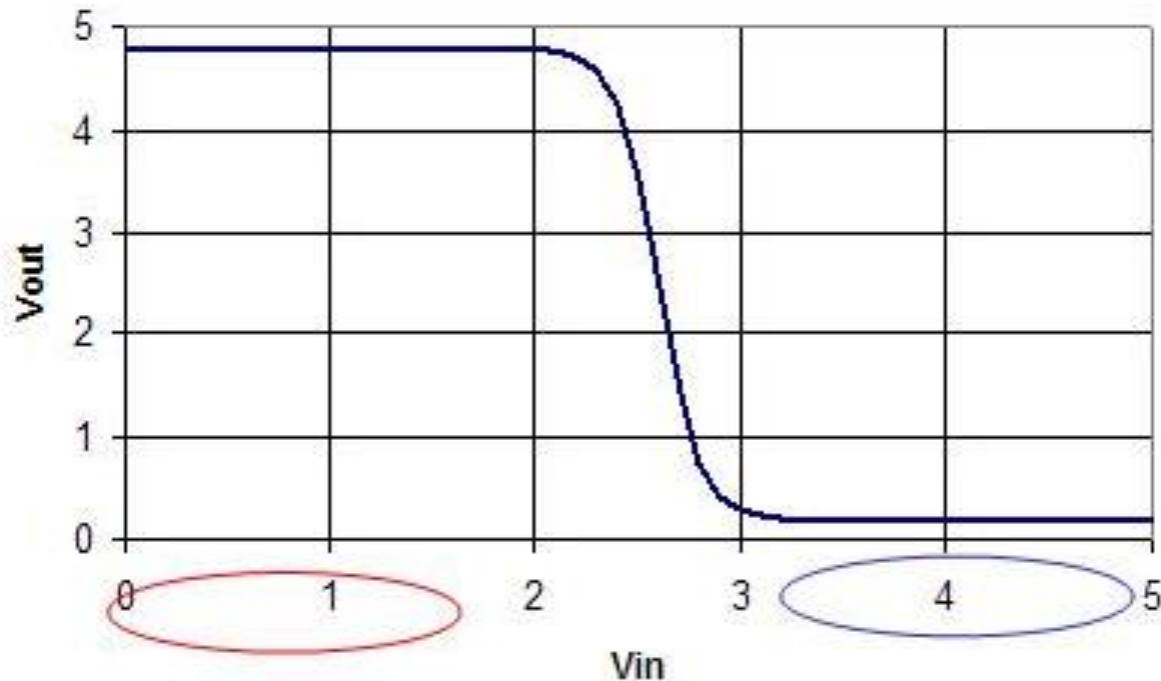
- Lihtloogikaelementide masskasutus on vähenenud – neid asendavad mikroprotsessorid/kontrollerid. Igal juhul on need elemendid peidus selle sees.
- Diskreetelementidena kasutatakse – kui sedasi on lihtsam või töökiiruse pärast (programmi täitmine on aeglane)



Tööstusautomaatika
digijuhtmoodul (1982) NSVL

Kahendsüsteem elektrilisel kujul

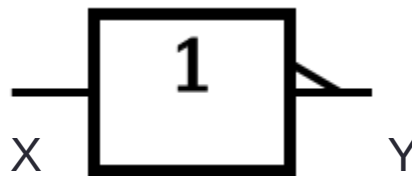
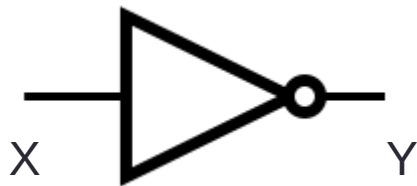
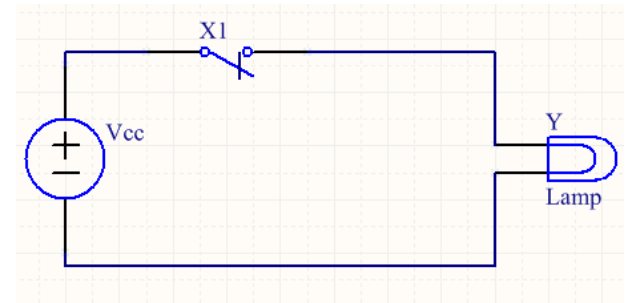
- Oluline on, et signaale töötlevad komponendid „kinnitaks“ olekut ehk viiks muutuja võimalikult kindlalt ja kiiresti vajalikku olekusse.



Inverteri olekuülekanne

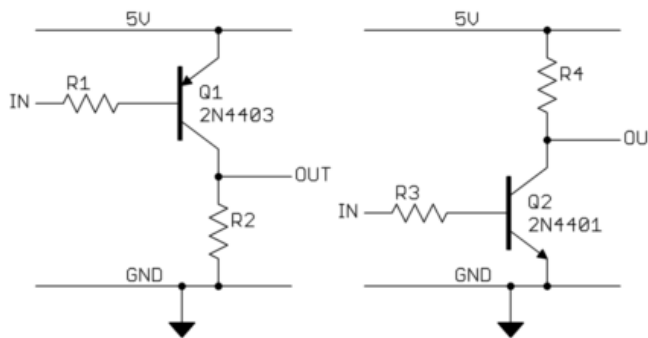
Loogiline tehe – eitus (inversioon)

- Loogikafunktsioon, ilma milleta ei ole digitaaltehnika võimalik !
- $0 \rightarrow 1$ ja $1 \rightarrow 0$ $Y = \overline{X}$



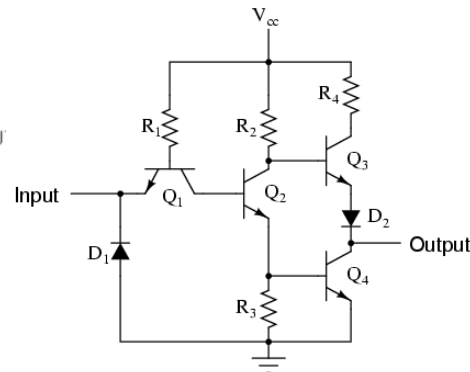
Loogiline tehe – eitus (inversioon)

- Lihtsam variant - saab teha ühe transistoriga.
- Transistor peab olema kas suletud või avatud (ei tohi olla aktiivrežisimis)

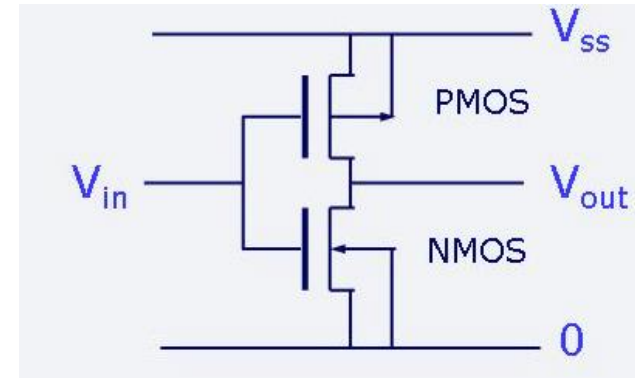


Diskreetelementidest.

Practical inverter (NOT) circuit



TTL

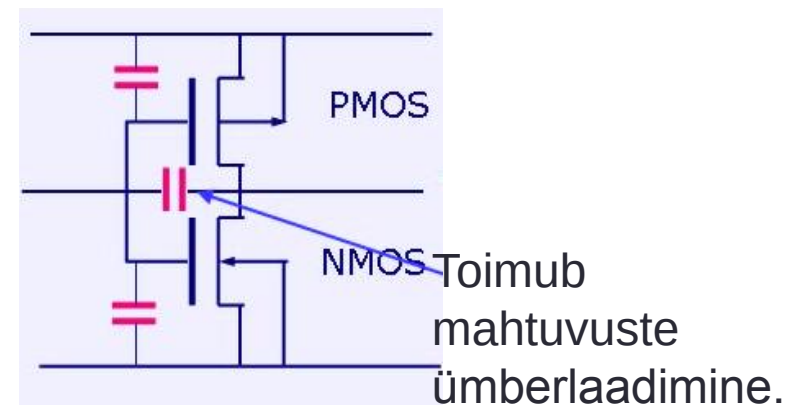
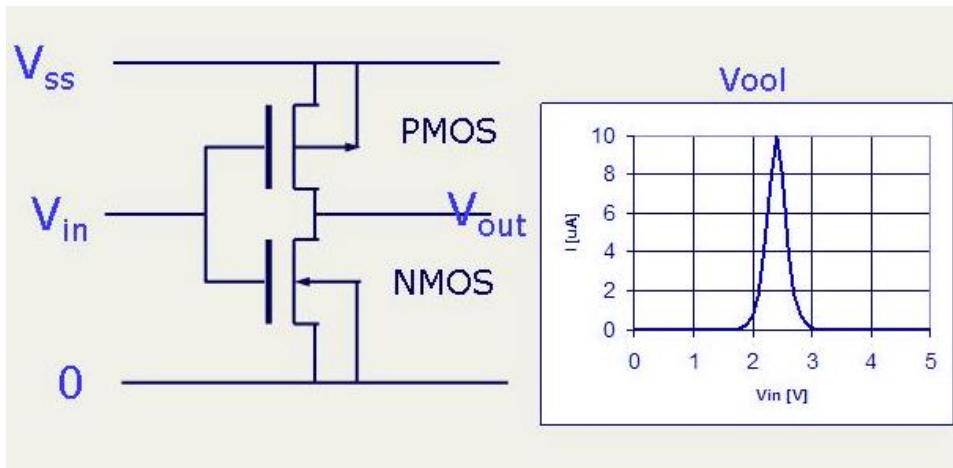


KMOP (CMOS)

Võib teha mitmel viisil aga populaarsem on CMOS tehnoloogia, mis ei tarbi oleku säilitamisel energiat.

Loogiline tehe – eitus (inversioon)

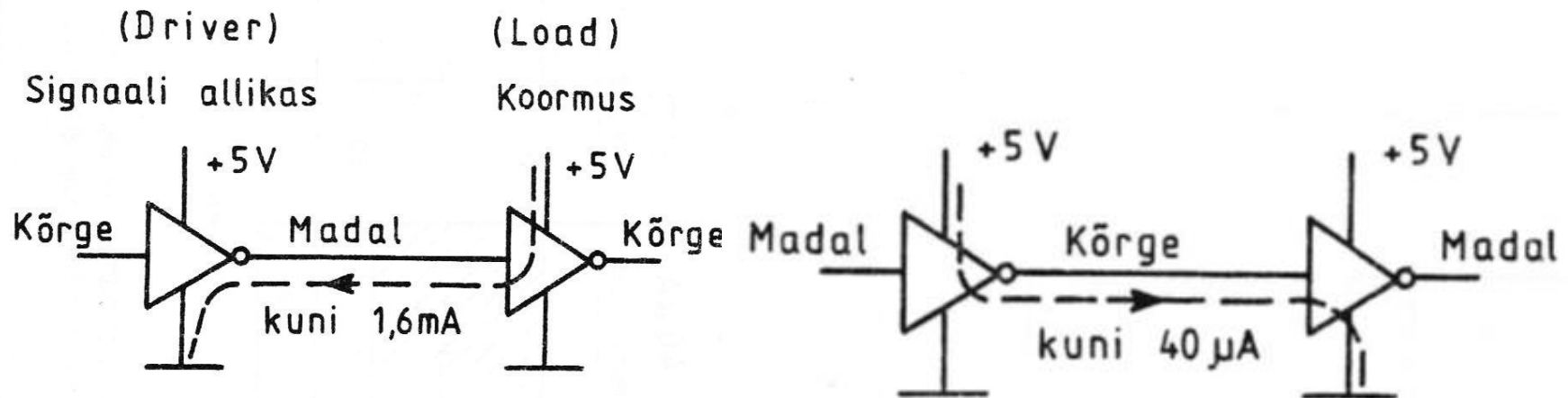
- Digitaaltehnikas probleem – siire ühest olekust teise olgu võimalikult kiire !



- Lahendus – vähendame toitepinget (võimsus sõltub pinge ruudust) ning võimalusel töösagedust
- Jahutamine

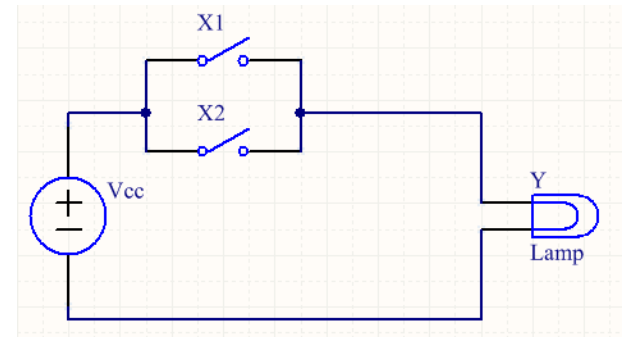
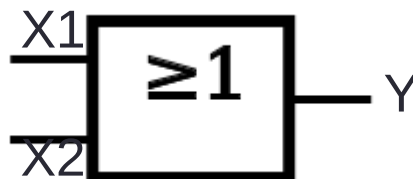
Loogikaelementide ühendamine

- Programmeeri jaoks on olemas vaid 0 ja 1
- Reaalses skeemis on pinged ning voolud – **need on analoogsuurused !** Skeemide disainimisel tuleb sellega arvestada !
- Järgmine element tarbib voolu (CMOS ümberlülitusel, TTL pidevalt), elemendi väljund peab seda võimaldama.
- Üldjuhul saab väljundisse ühendada kuni 10 järgmise elemendi sisendit.



Loogiline tehe VÕI (OR)

- Vähemalt kahe sisendiga element.
- Väljund on 1 kui **vähemalt** üks sisend on 1.
- $Y = X_1 + X_2 + \dots + X_n$

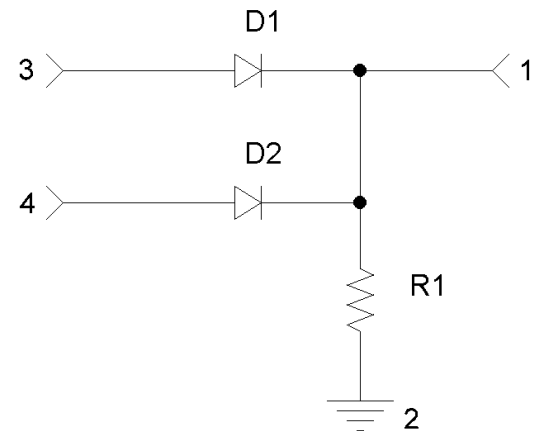
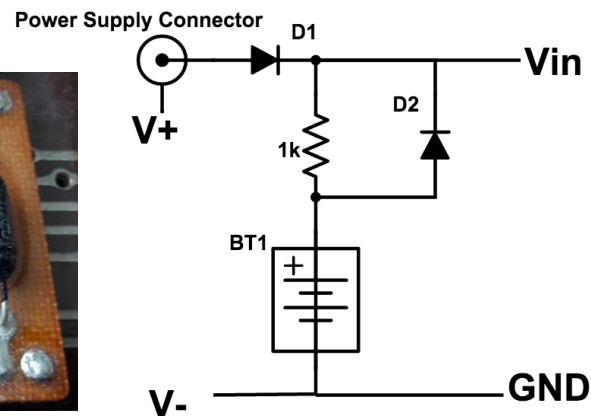


Loogiline tehe VÕI (OR)

- Kõige lihtsam realisatsioon – kasutada dioode.
- Näide ollmeelektroonikast - seadet toidab aku või elektrivõrk.
- Põhipuudus – dioodile jääb 0.7 V
- Kasutatakse tänapäeval diskreetelemente ja aeglastes kohtades . Mikroskeemisiseselt ei kasutata !

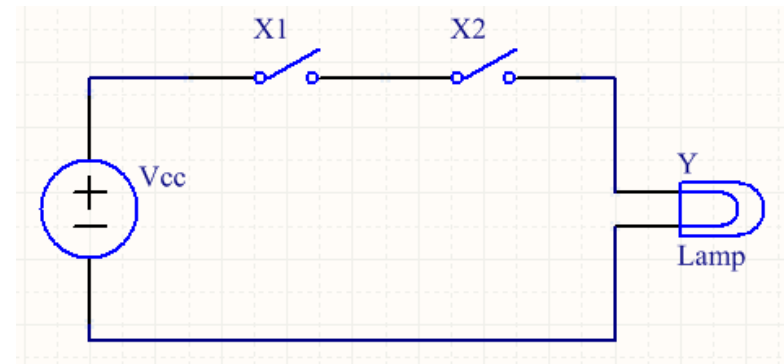


(1973)



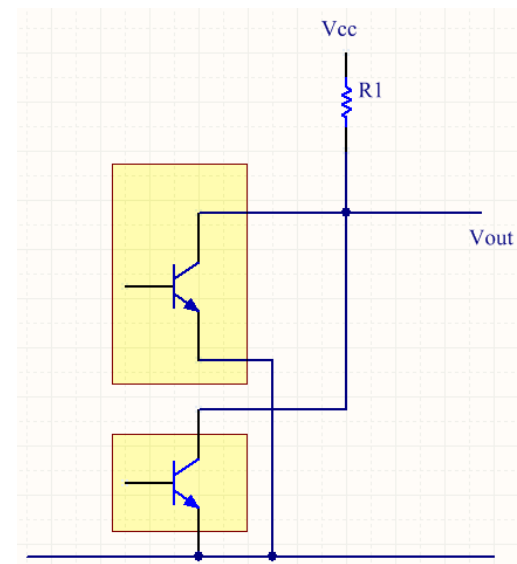
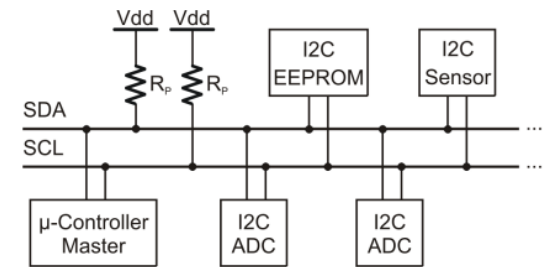
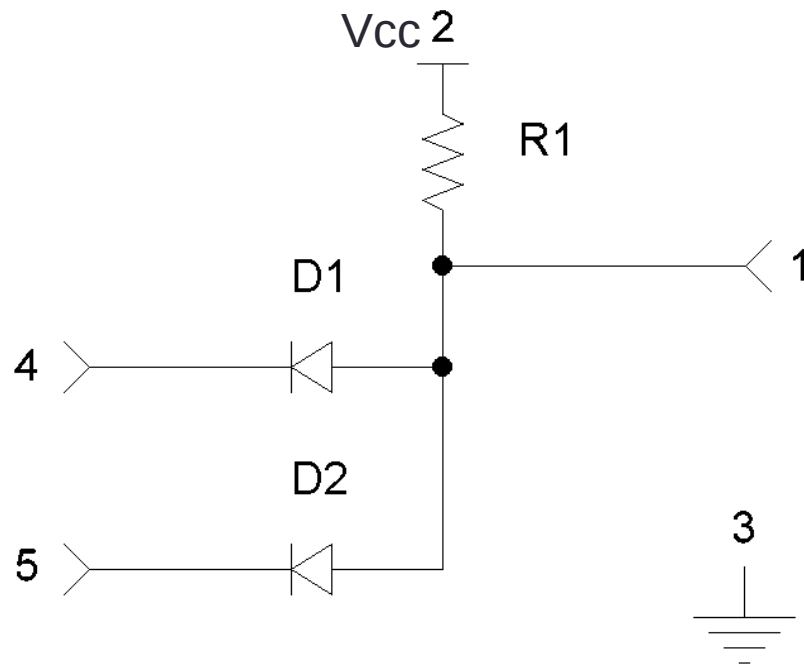
Loogiline tehe NING (AND)

- Vähemalt kahe sisendiga element.
- Väljund on 1 kui **Kõik** sisendid on **samaaegselt** 1.
- $Y = X1 * X2 * \dots * Xn$



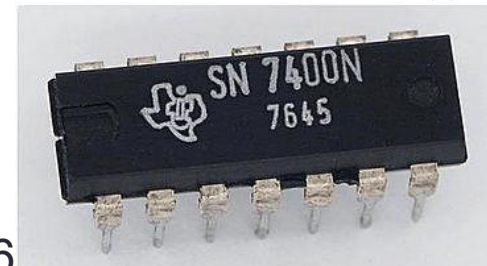
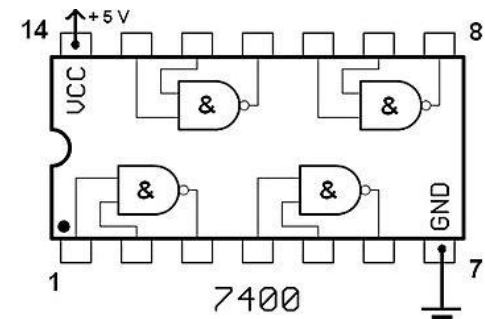
Loogiline tehe NING (AND)

- Kõige lihtsam realisatsioon – kasutada diode.
- See tehe toimub avatud kollektoriga elementide kokkuühendamisel.
- Andmesiinid (näit I2C)
- Mikroskeemi siseselt ei kasutata



Kombineeritud tehted

- Kõikide muude loogikafunktsioone saamiseks peab meil olema:
- Eitus (NOT) ja üks kahest – NING või VÕI element.
- Nende baasil saab teha digitaalelektronikas kõike.
- Põhiehituskivid sisaldavad endas kas NING-EI elementi (levinum) või VÕI-EI elementi.



1973 Nõukogude Liit , Texas Instruments 1966

NING-EI (NAND)

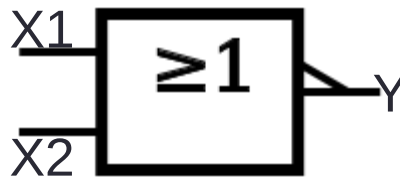
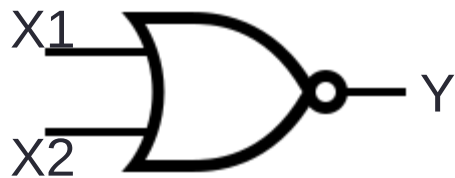
- Üks võimalikest loogika „põhiehituskivist“
- NING ja EI elemendi kaskaadühendus.
- Väljund on 1 kui kasvõi üks sisend on 0
- $Y = X_1 * X_2 * \dots * X_n$



Ainult sellest elemendist piisab, et teha kõike !
(Charles Sanders Peirce tõestas 1880)

VÕI-EI (NOR)

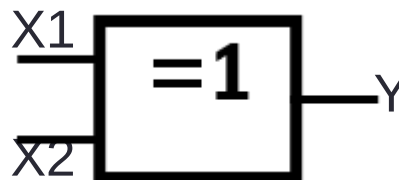
- Üks võimalikest loogika „põhiehituskivist“
- VÕI ja EI elemendi kaskaadühendus.
- Väljund on 0 kui kasvõi üks sisend on 1
- $Y = X_1 + X_2 + \dots + X_n$



- Ainult sellest elemendist piisab, et teha kõike !

Välistav VÕI (XOR)

- Kahe sisendiga
- Väljund on 1 kui sisendid on erinevad.
- $Y = X1 \oplus X2$
- Saab teha VÕI-EI ja NING-EI elementidest.
- Põhiline kasutus protsessorites (summaatori koostisosa)

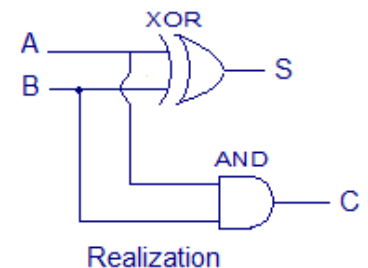
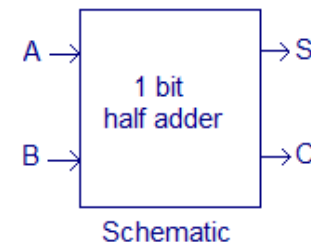


Poolsummaator →

Inputs		Outputs	
A	B	S	C
0	0	0	0
1	0	1	0
0	1	1	0
1	1	0	1

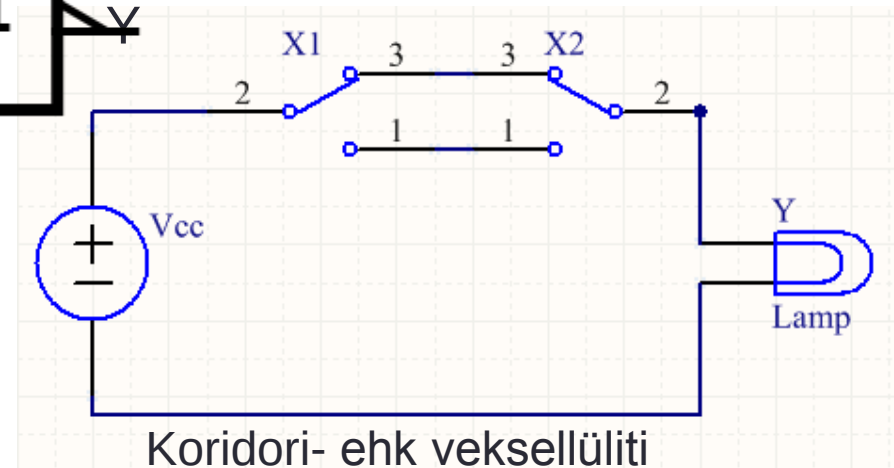
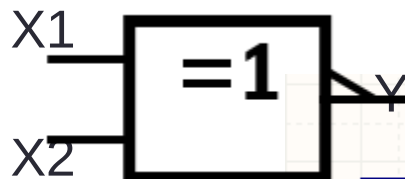
Truth table

<http://www.circuitstoday.com/half-adder>



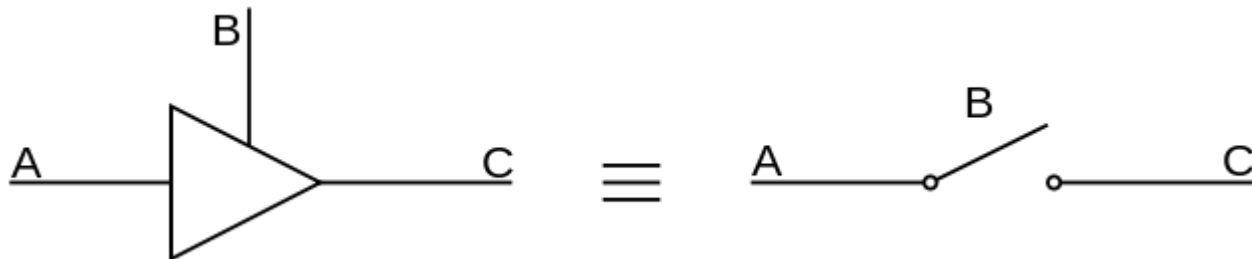
Välistav VÕI-EI (XNOR)

- Kahe sisendiga
- Väljund on 1 kui sisendid on **võrdsed**.
- $Y = X1 \oplus X2$
- Saab teha VÕI-EI ja NING-EI elementidest.
- Kasutatakse näiteks sünkroondetektoris.



Kolme olekuga loogikalülitused

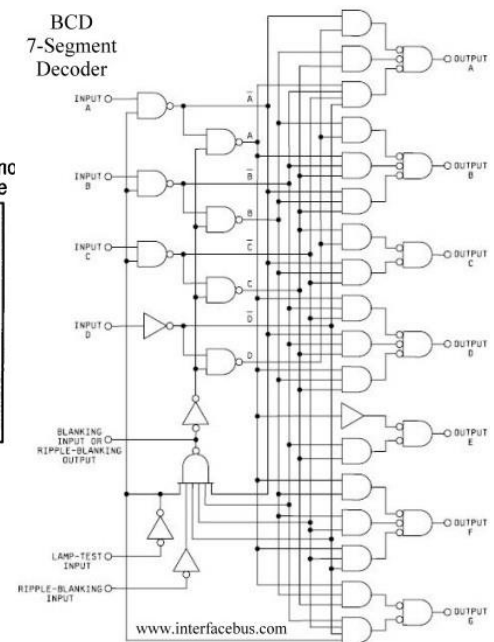
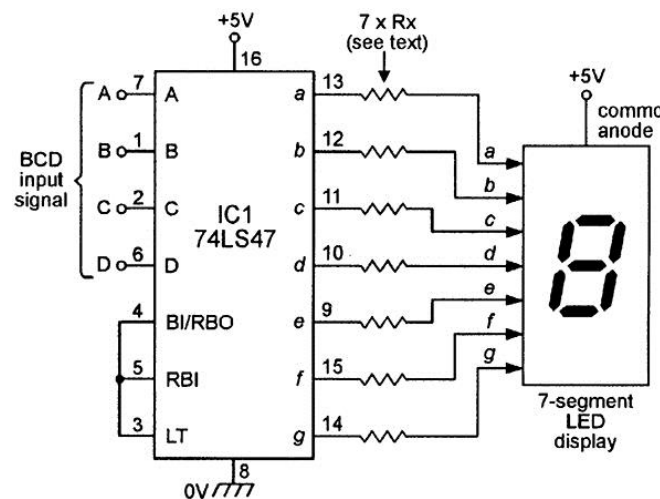
- Tavaliste lülituste väljundite kokkuühendamisel tekib probleem kui nende olekud on erinevad. Päästab avatud kollektoriga element , aga siis toimub igal juhul NING tehe.
- Selle jaoks on osadel elementidel võimalus katkestada väljund (viia see kõrge takistusega olekusse high-Z)
- Sageli tähistatakse seda klemmi tähisega ENABLE (luba)
- Kasutus – arvutitehnikas erinevate seadmete ühisele andmesiidile ühendamine.



Dekooder

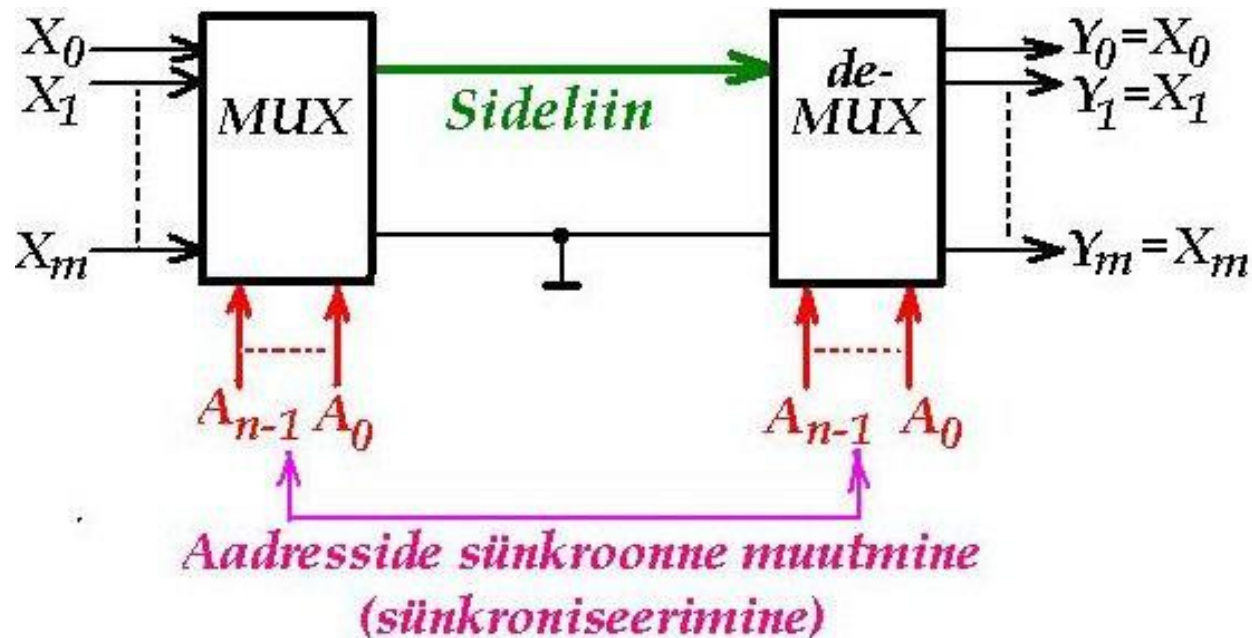
- Dekooder –lülitus, mis tunneb ära sisendisse saabuva kahendarvu ja annab signaali vastavasse väljundisse. Näiteks LED indikaatorite juhtlülitus.

Decimal	Binary DCBA	7 Segment Code a b c d e f g
0	0000	1 1 1 1 1 1 0
1	0001	0 1 1 0 0 0 0
2	0010	1 1 0 1 1 0 1
3	0011	1 1 1 1 0 0 1
4	0100	0 1 1 0 0 1 1
5	0101	1 0 1 1 0 1 1
6	0110	0 0 1 1 1 1 1
7	0111	1 1 1 0 0 0 0
8	1000	1 1 1 1 1 1 1
9	1001	1 1 1 0 0 1 1

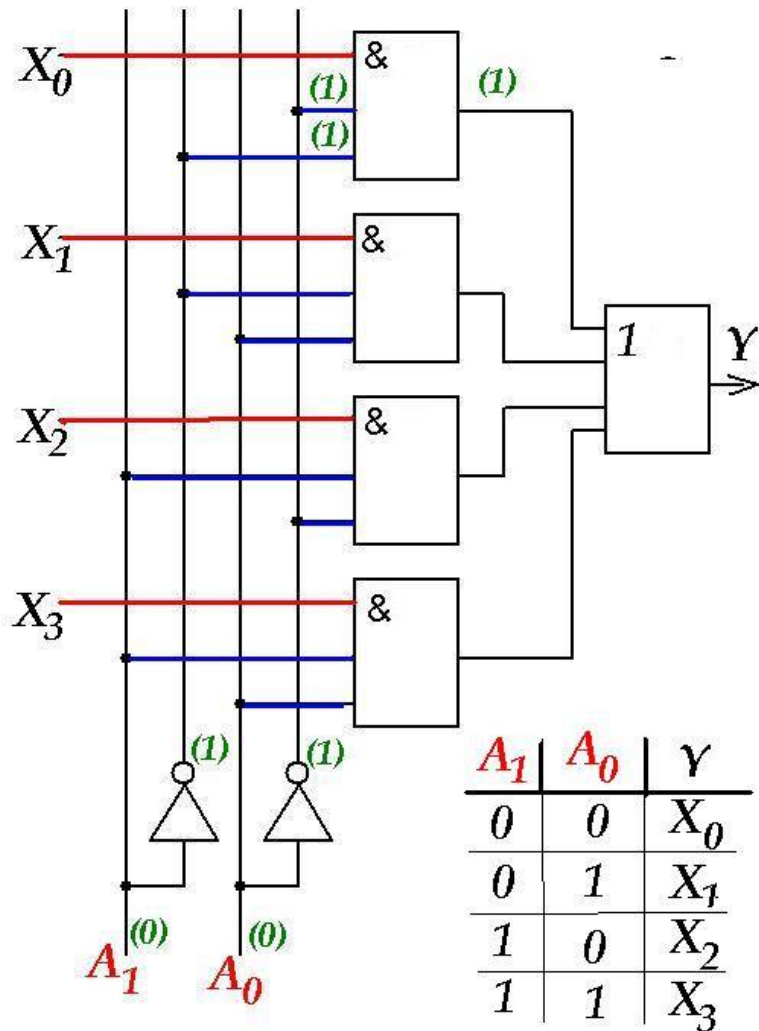


Multiplekser

- Ühendada vastavalt juhtkoodile üks mitmest sisendist ainsa väljundiga.
- Kombinatsioonloogika lülitus.

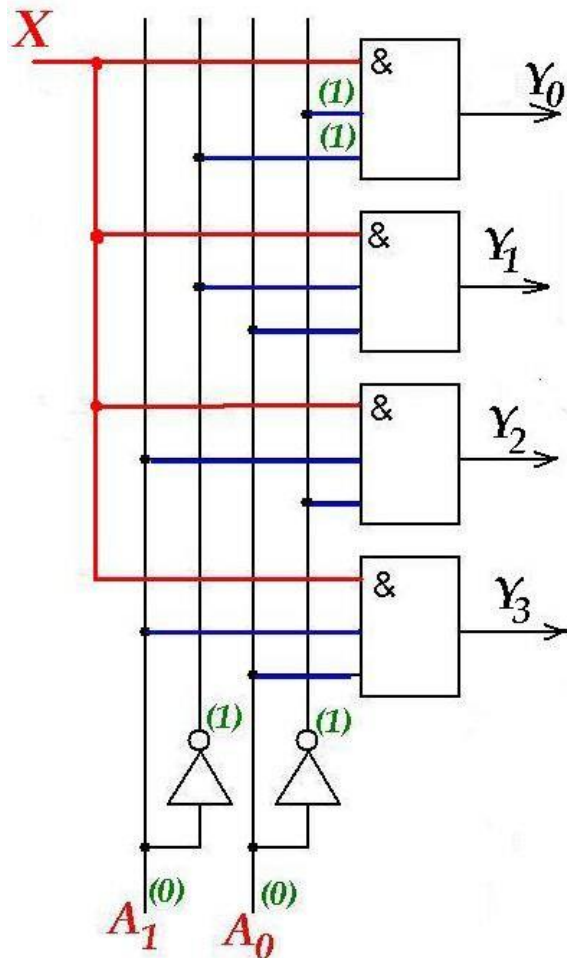


Multiplekser



- Omab 2^n sisendit ja n aadressisisendit
- Ühendab ühe sisendi väljundiga.
- Sisendi number on määratud aadressiga.

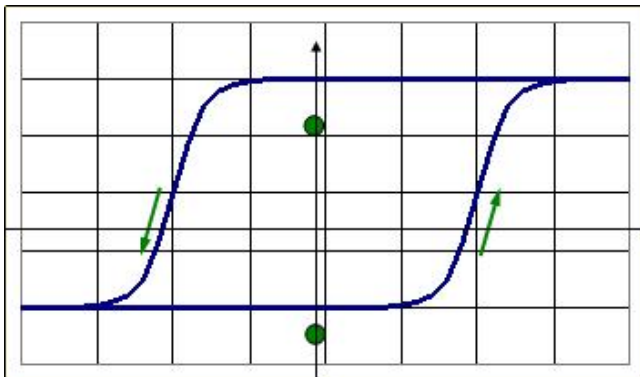
Demultiplekser (demux)



- Üks sisend, 2^n väljundit
- Sisend ühendatakse selle väljundiga, mille järjekorranumber on esitatud aadressibitiga

Mäluga loogikaelemendid (trigerid)

- Võimaldab säilitada ühe biti informatsiooni.
- Säilitab seda niikaua kuni toide on sisse lülitatud.
- Sünkroonne triger (lülitab ümber vaid taktiimpulsi ajal)
- Asünkroonne triger (lülitab ümber kohe oleku muutudes)
- Vajalik mittelineaarsus ja positiivne tagasiside



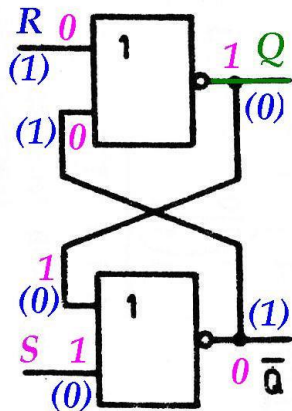
Mälu idee - hüsterees



(1973, NSVL)

RS trigger (RS Flip-Flop)

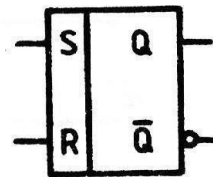
- S - Set --> sättima , R – Reset --> tühistama
- Kõige lihtsam mälu kuid omab keelatud olekut
- Asünkroonne, lülitab ringi kui olek muutub.



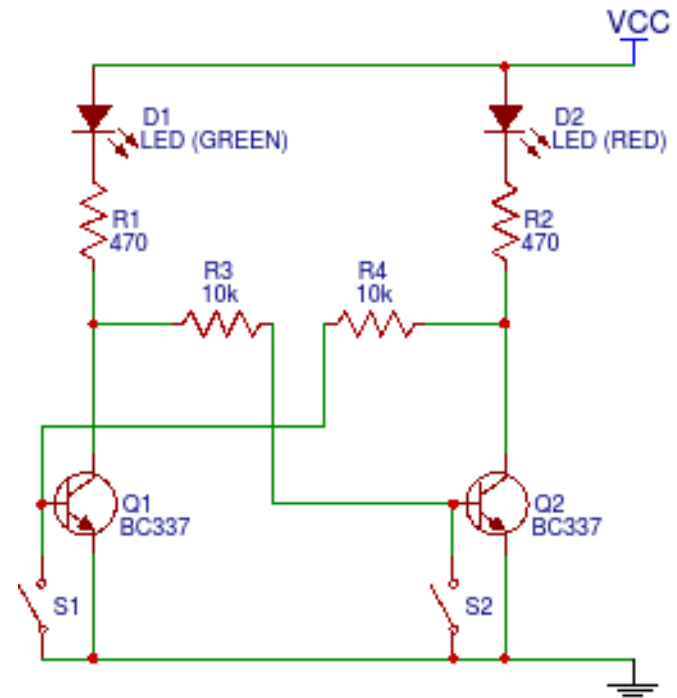
R	S	Q
0	0	ei muutu
1	0	0 (reset)
0	1	1 (set)
1	1	?

R = S = 1 on keelatud

Asünkroonne RS-trigger

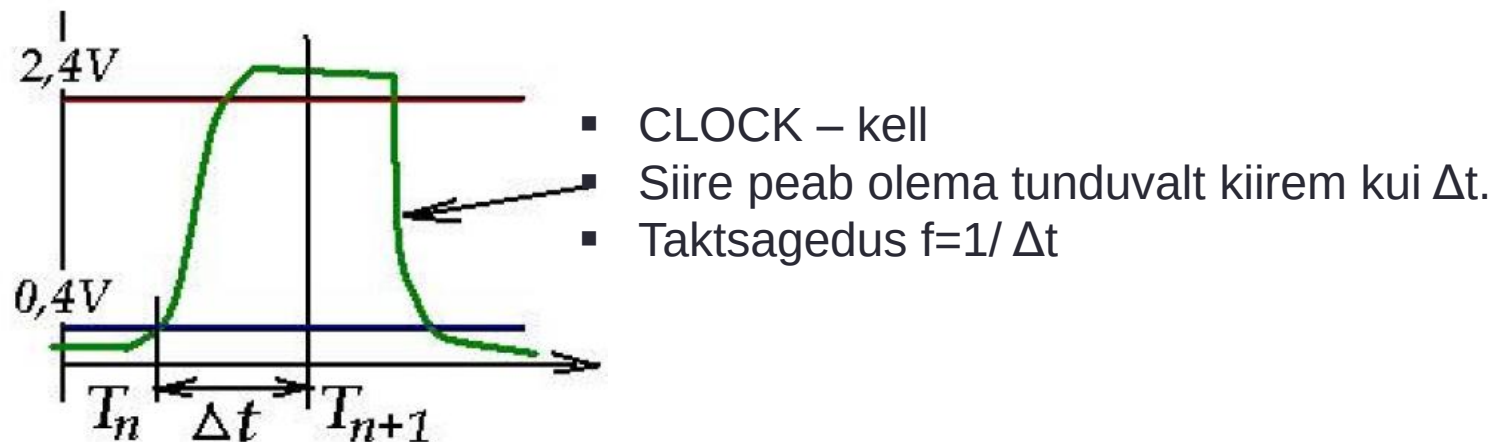


Tingmärk



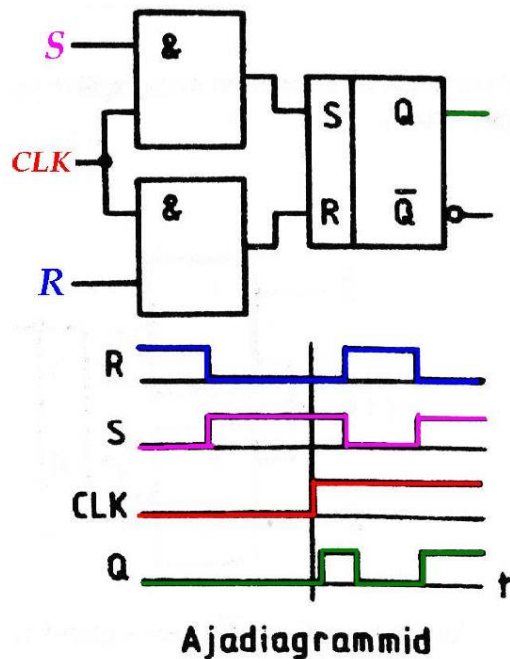
Sünkroniseerimine

- Lihtloogikaelemendid töötavad pidevajas (asünkroonselt).
- Enamik digitaalelektronikat töötab takteeritult.
- Olekud muutuvad vaid siis kui on aktiivne taktisignaali (kokkulepitult signaali tõusev või langev front või ka mõlemad).

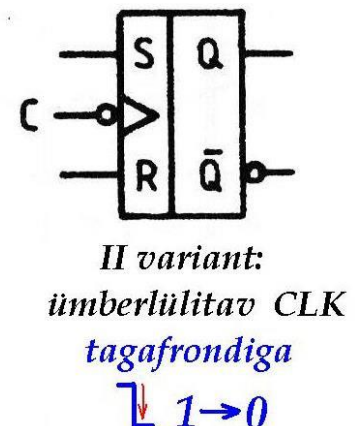
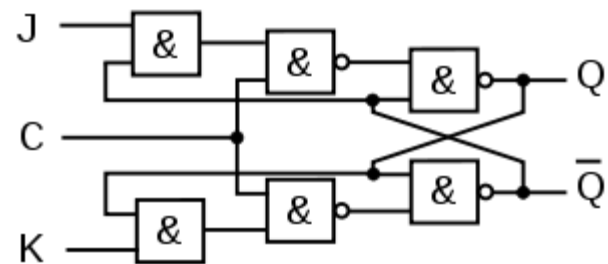
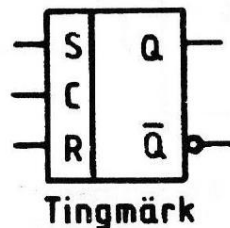


Sünkroonne RS triger

- Toimib vaid siis kui taktsignaali on aktiivne, reeglina tehakse NING elemendiga.
- Olek $S=1$ ja $R=1$ on keelatud (puudus on kõrvaldatud JK trigeris, mis olemuselt on 2 RS trigerit kaskaadühenduses+loogika).

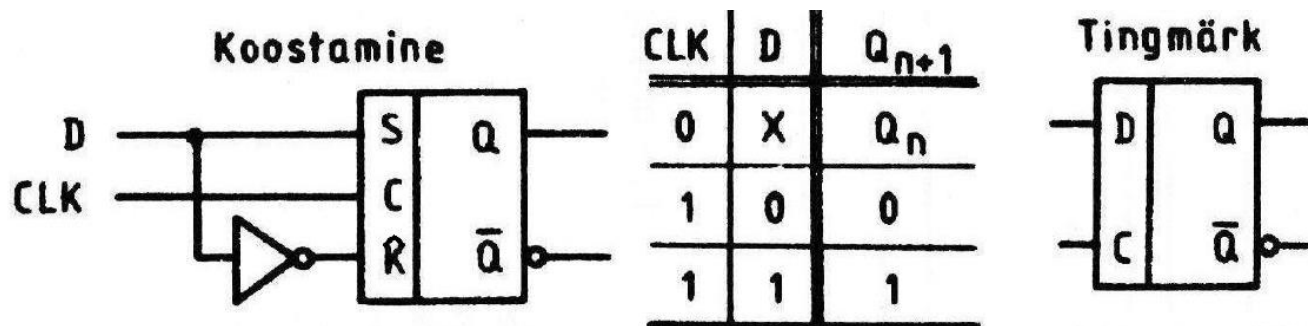


CLK	R	S	Q_{n+1}
0	X	X	Q_n
1	0	0	Q_n
1	1	0	0
1	0	1	1
1	1	1	—



D –triger (mälulement)

- D – delay $\rightarrow$ viitetrigger
- Kui $D=1$ siis clock aktiivne front lülitab alati olekusse 1
- Kui $D=0$ siis clock aktiivne front lülitab alati olekusse 0

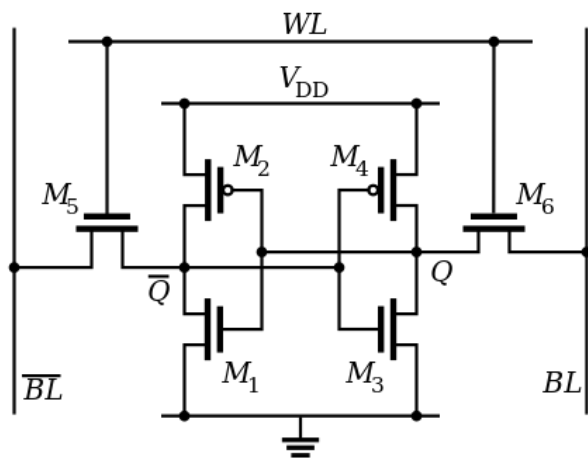


Muud trigerid

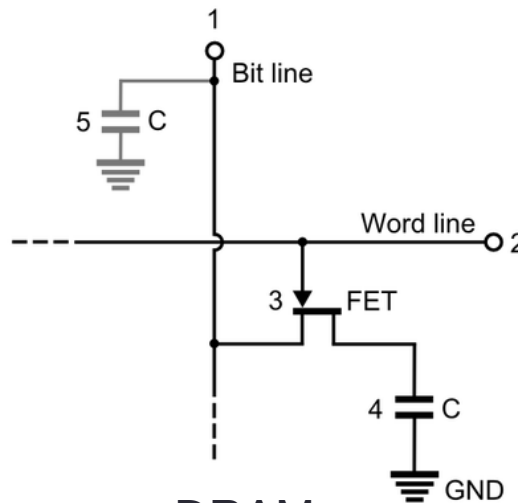
- JK triger . Töötab nagu RS triger, aga mõlema sisendi oleku 1 puhul muudab olukorra vastupidiseks.
- T triger . Loendustriger (jagamine kahega) . Saadakse JK trigerist, kui ühendatakse sisendid kokku.
- Liittrigerid (enamlevinud). Trigerite kombinatsioon, sageli sisaldavad sisendis loogikafunktsioone.
- <http://www.circuitstoday.com/flip-flop-conversion>
- Trigeritest saab teha loendureid, mäluelemente, sagedusjagureid.

Tänapäevane arvutimälu RAM

- Juhupöördusega mälu (Random Access Memory)
- Staatileine (basserub trigeril), kiirem, kallim
- Dünaamiline (mäluelement – kondensaator), võtab vähem ruumi, aga vajab värskendust – laeng aja jooksul väheneb.
- **Info hävineb toite katkestamisel !**



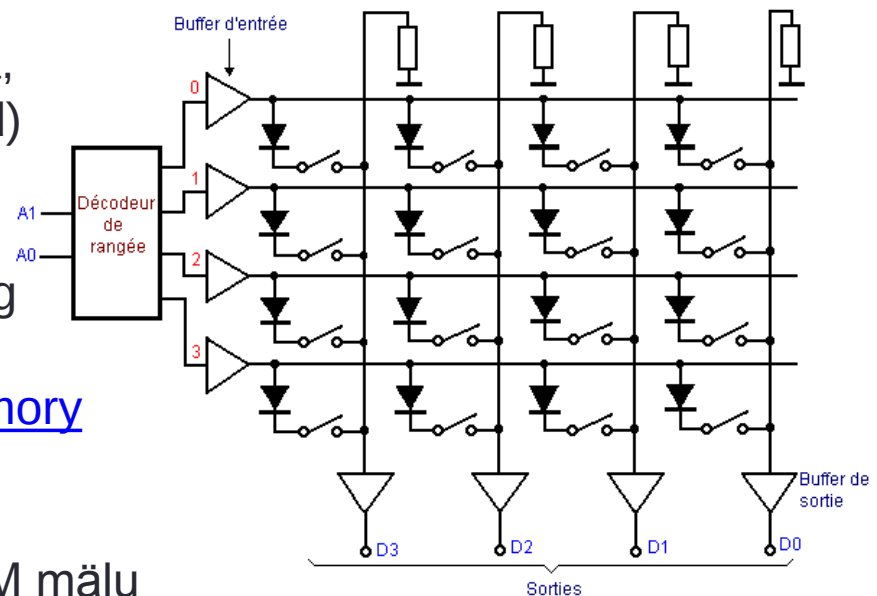
SRAM



DRAM

Tänapäevane arvutimälu ROM

- Ainult lugemiseks (Read Only Memory).
- **Informatsioon säilib toite katkestamisel.**
- Kasutamine sarnaneb RAM mäluga.
- ROM – info sisestatakse valmistamisel
- EPROM – infot saabkasutaja sisestada, kustutamine UV kiirgusega (vananenud)
- EEPROM – elektriliselt kustutatav ning programmeeritav mälu, aeglane
- Flash EEPROM , sama, aga kiirem ning tänapäevasem variant, masskasutus.
https://en.wikipedia.org/wiki/Flash_memory
- EEPROM mälude põhipuudus – kirjutuskordade arv on piiratud.
- Flash mäluga üritatakse asendada RAM mälu



Püsimälu idee:

<https://www.cl.cam.ac.uk/teaching/1213/SysOnChip/materials/sg3bus/zhp4c6e8640b.html>