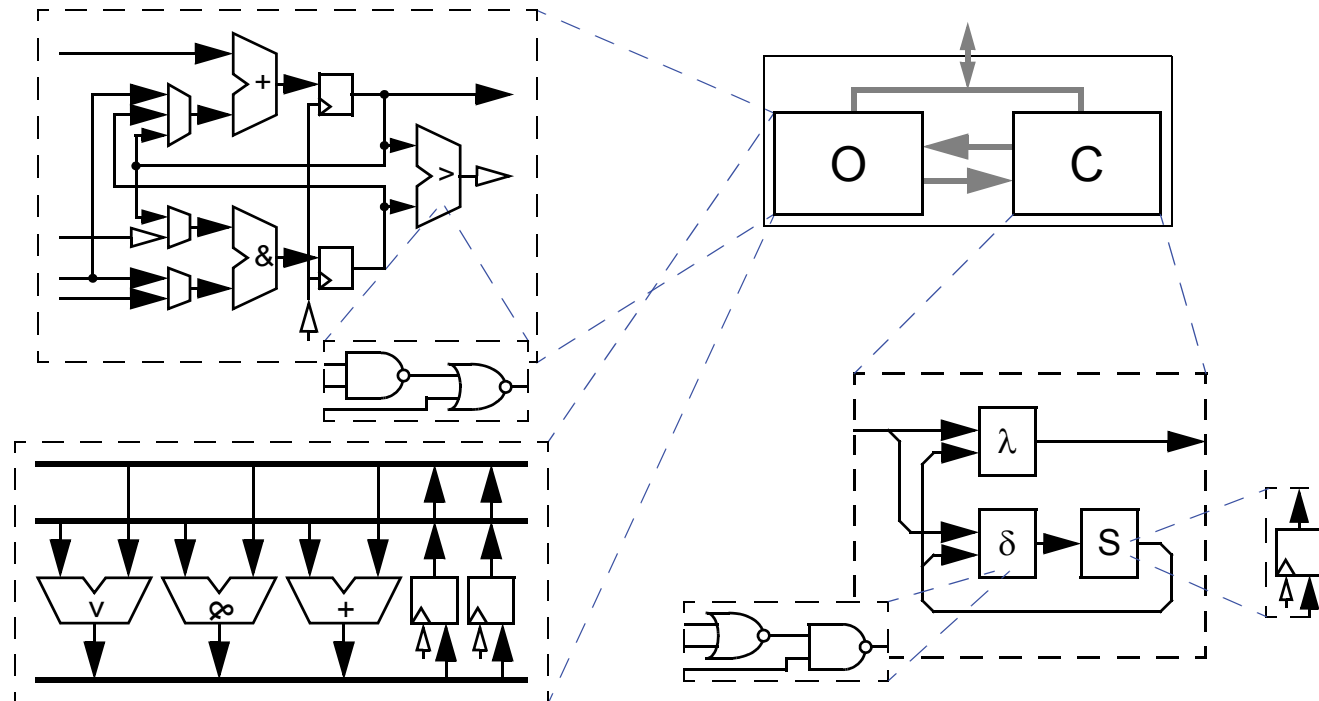
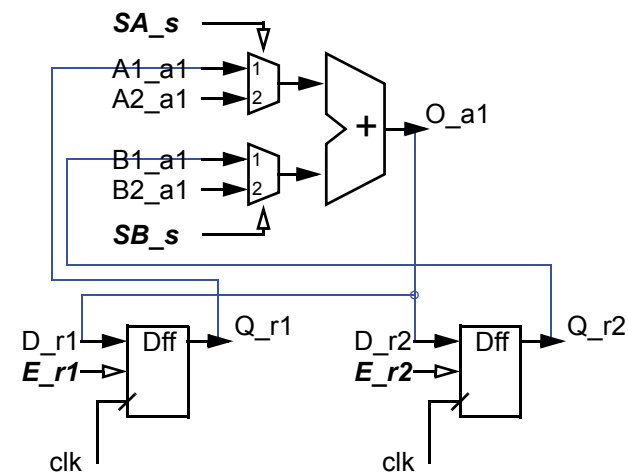


Juhtautomaat

- Digitaalsüsteem = andmeosa + juhtosa



- **Andmeosa (operatsioonautomaat)**
 - **andmete töötlus (operatsioonid e. arvutamine)**
 - kombinatsiooniskeemid (loogikafunktsioonid)
 - **andmete salvestamine (mälu)**
 - registrid (mäluelemendid)
- **Juhtosa (juhtautomaat)**
 - **operatsioonide järjestamine**
 - **tingimuslik järjestamine**
 - (eelmiste) operatsioonide tulemused
 - välised tingimused (sisendsignaalid)
- **Algoritm**
 - **operatsioonide järjestus**
 - mikroprogramm

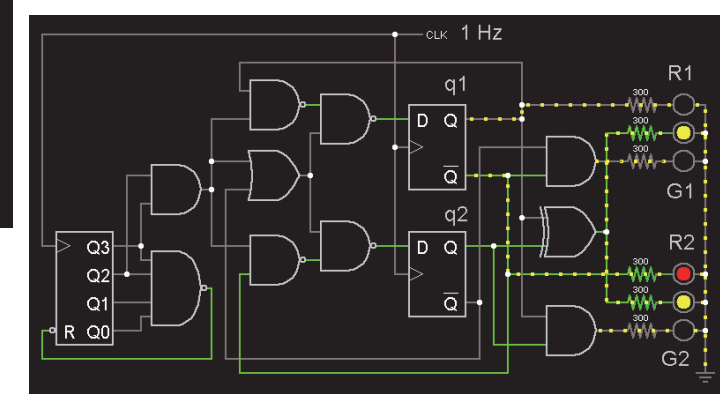
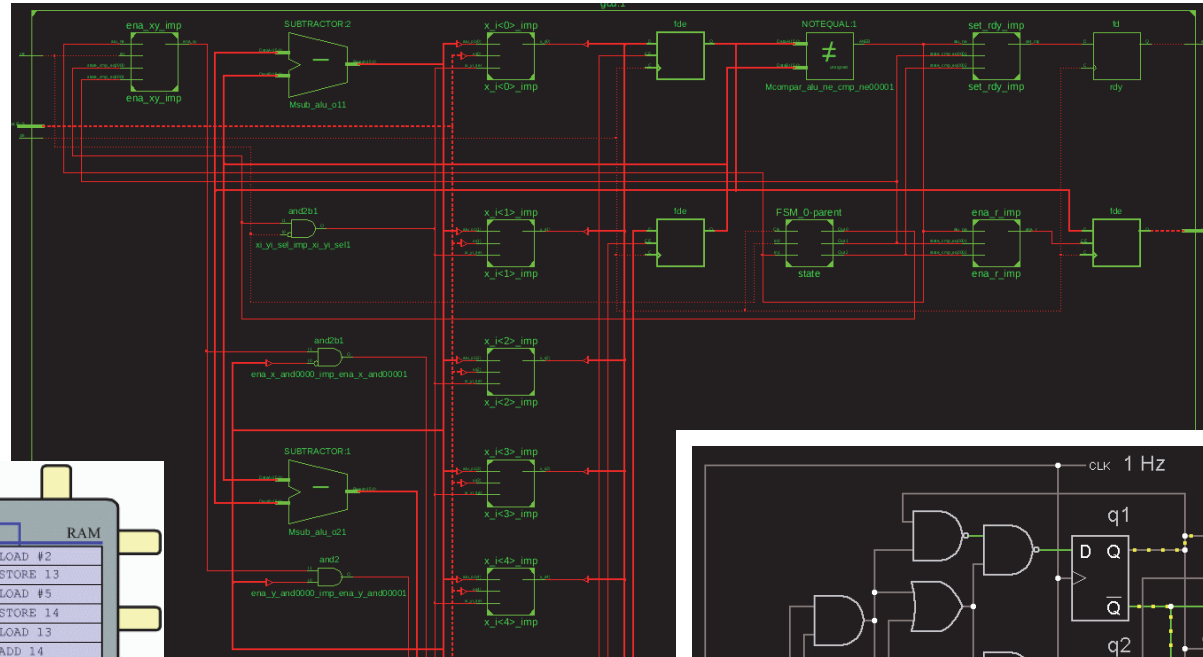
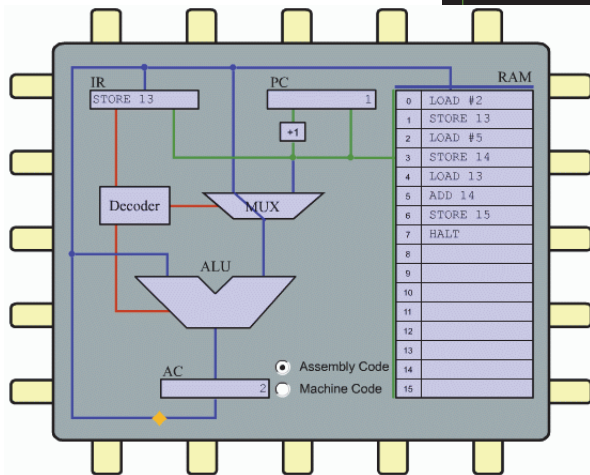


$O_{a1} \equiv D_{r1} \equiv D_{r2}$ $Q_{r1} \equiv A1_{a1}$
 $Q_{r2} \equiv B1_{a1}$ $n \equiv A2_{a1}$ $m \equiv B2_{a1}$

$x = 2 * n + 2 * m$	SA_s	SB_s	E_r1	E_r2
1: r2 <- n	2	0	0	1
2: r2 <- n + r2	2	1	0	1
3: r1 <- m	0	2	1	0
4: r1 <- r1 + m	1	2	1	0
5: r1 <- r1 + r2	1	1	1	0

SA_s & SB_s – väärtus 0 annab väljundisse "00...00"

Digitaalsüsteem = andmeosa + juhtosa



- **The Central Processing Unit –**
<http://courses.cs.vt.edu/~csonline/MachineArchitecture/Lessons/index.html>

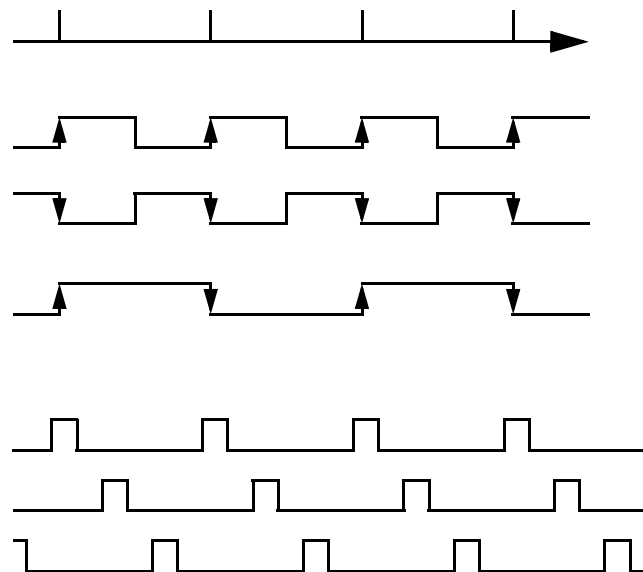
Diskreetne aeg

- **Rangelt järjestatud sündmuste jada (ajamomentide jada)**
 - üksiksündmuse kestus on 0
 - sündmuste vaheline ajavahemik pole oluline
- **Taktsignaali (clock)**
 - reaalne diskreetse aja esitusviis
 - üksiksündmus == taktsignaali front
 - tõusev või langev front – ühefaasiline taktsignaali (single phased clock)
 - tõusev ja langev front – kahefaasiline taktsignaali (double phased clock)
 - varasem mitme faasiline taktsignaali – eri faasid tüürisid eri mäluelemente



diskreetne aeg

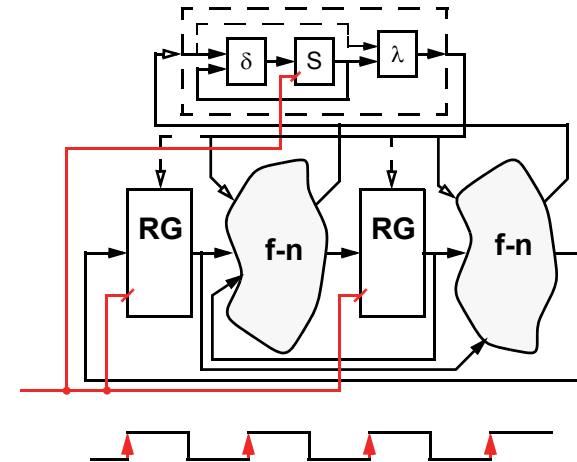
taktsignaali



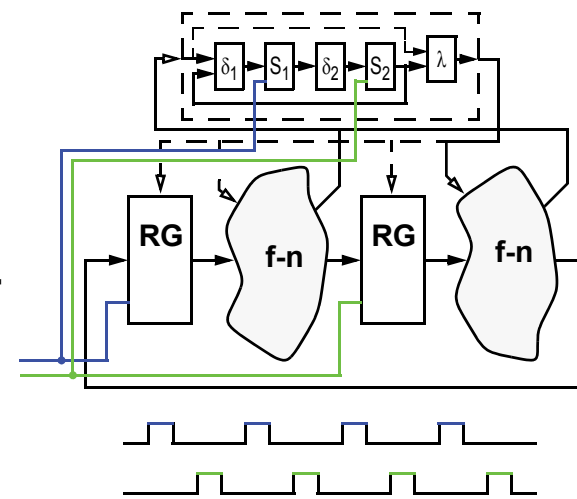
Takteerimine

- **register** →
kombinatsiooniskeem →
register → ...
- **registri tüüp määrab taktsignaali faaside arvu ja lubatud tagasisided**
- **flip-flop**
 - frondist aktiveeruv triger
 - tagaside korral peab olema vähemalt üks triger ahelas
- **latch**
 - lukustuv triger (lukk-register)
 - taktsignaali aktiivse nivoo korral on triger “läbipaistev” → tagaside selliselt, et vähemalt üks suletud triger ahelas

ühefaasiline taktsignaali – flip-flop registrid



kahefaasiline taktsignaali(id) – lukk-registrid





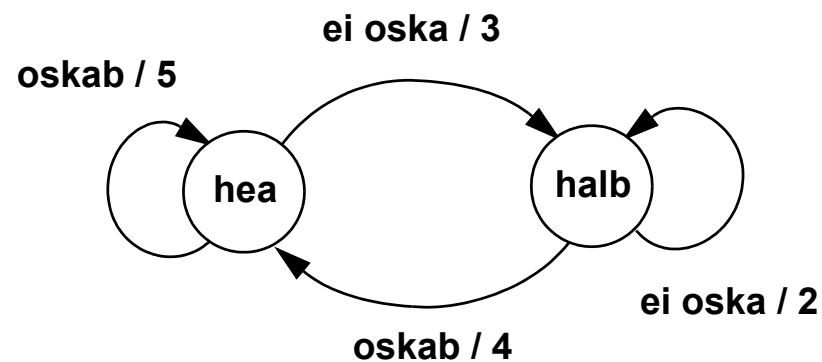
Abstraktne automaat

- **Kombinatoorne skeem**
 - skeemi väljund sõltub ainult skeemi sisendist
 - atsüklilise topoloogiaga skeem on kombinatoorne
 - tsükliga (tagasisidega) skeemid võivad olla kombinatoorsed
- **Mäluga skeem**
 - eksisteerivad mäluelemendid
 - asünkroonsetes skeemis võib mäluelement olla mitteilmutatud kujul
 - tagasiside on vajalik
- **Automaat – mäluga skeemi erijuht**
 - sisendid, väljundid ja olekud – lõplikud hulgad
 - abstraktne automaat, lõplik automaat
 - automaton (pl. automata), sequential machine, finite state machine (FSM)

Näide

- **Õppejõu käitumine eksamil**
 - kui õppejõud on heas tujus ja tudeng oskab, siis tudeng saab 5 ning õppejõu hea tuju säilib
 - kui õppejõud on heas tujus ja tudeng ei oska, siis tudeng saab 3 ning õppejõu tuju läheb halvaks
 - kui õppejõud on halvas tujus ja tudeng ei oska, siis tudeng saab 2 ning õppejõu halb tuju säilib
 - kui õppejõud on halvas tujus ja tudeng oskab, siis tudeng saab 4 ning õppejõu tuju läheb heaks

<i>sisend</i>	<i>olek</i>	<i>väljund</i>	<i>uus olek</i>
tudeng	õppejõud	hinne	õppejõud
oskab	hea tuju	5	hea tuju
ei oska	hea tuju	3	halb tuju
ei oska	halb tuju	2	halb tuju
oskab	halb tuju	4	hea tuju





Abstraktne automaat – definitsioonid

- **Automaat on viisik (quintuple) – $M = (S, I, O, \delta, \lambda)$**
 - **S: (sise)olekute hulk (states)**
 - **I: sisendite hulk (inputs)**
 - **O: väljundite hulk (outputs)**
 - **δ : siirdefunktsioon (transition) - $\delta: S \times I \rightarrow S$**
 - **λ : väljundfunktsioon - $\lambda: S \times I \rightarrow O$**

- **Hulgad on lõplikud ja (üldjuhul) mittetühjad**
 - **hulkade ja funktsioonide erijuhud – automaatide erijuhud**

- **Lähteolek s_0 – $M = (S, I, O, \delta, \lambda, s_0)$**



Automaatide erijuhud

- **Mealy automaat – $M = (S, I, O, \delta, \lambda)$**
 - $S \neq \emptyset, I \neq \emptyset, O \neq \emptyset, \delta: S \times I \rightarrow S, \lambda: S \times I \rightarrow O$
- **Moore automaat – $M = (S, I, O, \delta, \lambda)$**
 - $S \neq \emptyset, I \neq \emptyset, O \neq \emptyset, \delta: S \times I \rightarrow S, \lambda: S \rightarrow O$
- **Primitiivne automaat – $M = (S, I, \delta)$**
 - $S \neq \emptyset, I \neq \emptyset, O = \emptyset (O \equiv S), \delta: S \times I \rightarrow S, \lambda \equiv \emptyset$
- **Generaator – $M = (S, O, \delta, \lambda)$**
 - $S \neq \emptyset, I = \emptyset, O \neq \emptyset, \delta: S \rightarrow S, \lambda: S \rightarrow O$
- **Loogikafunktsioon – $M = (I, O, \lambda)$**
 - $S = \emptyset, I \neq \emptyset, O \neq \emptyset, \delta = \emptyset, \lambda: I \rightarrow O$
- **Mikroprogramm automaat – $M = (S, I, O, \delta, \lambda)$**
 - $S \neq \emptyset, I = \{0,1\}^L, O = \{0,1\}^M, \delta: S \times I \rightarrow S, \lambda: S \times I \rightarrow O$

Esitusviisid

- Tabel**

- veerud:
 - sisend (i_t), jooksev olek (s_t), väljund (o_t), uus olek (s_{t+1})
- read: siire jooksvast olekust uude olekusse:
 - $i_t \times s_t \rightarrow o_t \times s_{t+1}$

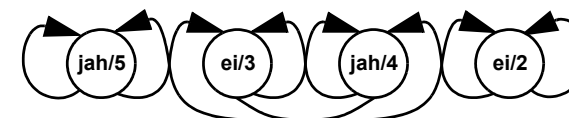
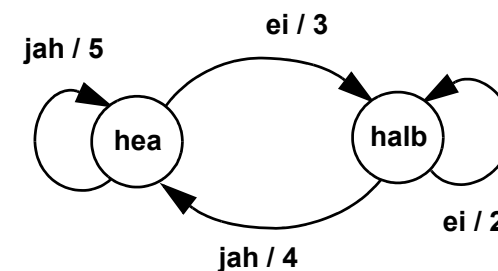
i_t	s_t	o_t	s_{t+1}
jah	hea	5	hea
ei	hea	3	halb
ei	halb	2	halb
jah	halb	4	hea

- Olekudiagramm, olekugraaf (state graph)**

- sõlmed: olekud
- kaared: siirded

- Siirdediagramm (transition graph)**

- sõlmed: siirded
- kaared: olekud



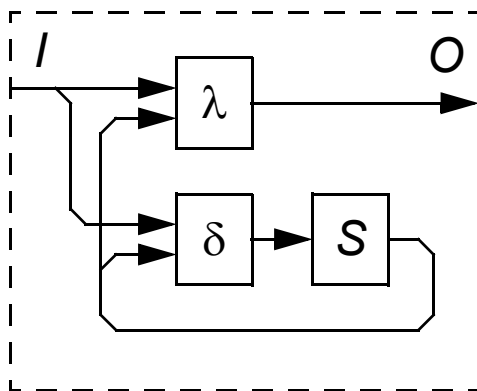


Automaatide omadusi

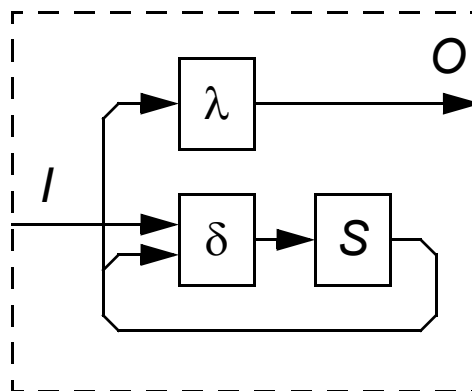
- **Osaliselt määratud automaadid**
 - leidub olekuid, kus siire pole mingi sisendi puhul määratud
 - lihtsustatud kirjapilt – vaikimisi jääb nt. samasse olekusse
 - määramatus tuleneb väliskeskonna iseärasustes – mitte-eksisteerivad sisendkombinatsioonid
 - kahendkodeeritud olekud – osa kombinatsioone on kasutamata
 - automaadi minimeerimisel vabamad käed – osaliselt määratud loogikafunktsioonid
- **Mittedeterministlikud automaadid**
 - leidub olekute ja sisendite kombinatsioone, mille puhul on määratud rohkem kui üks järgmine olek
 - kompaktne meetod kirjeldamiseks, kui leidub rohkem kui üks legaalne reaktsioon mingile sisendkombinatsioonile (jadale)
 - matemaatilised mudelid
- **Isomorfism**
 - üksühene vastavus kahe automaadi komponentide $(S, I, O, \delta, \lambda)$ vahel
- **Homomorfism**
 - ühene vastavus kahe automaadi komponentide $(S, I, O, \delta, \lambda)$ vahel ~ “alam-automaat”

Automaadi struktuur

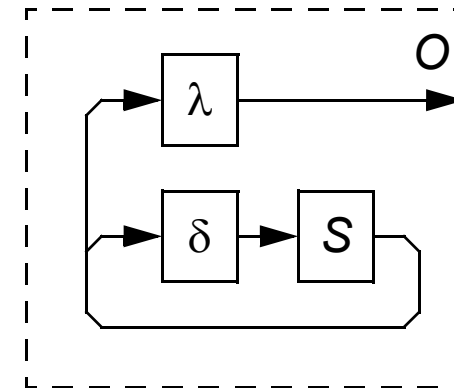
Mealy



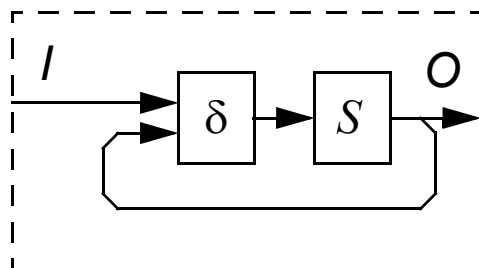
Moore



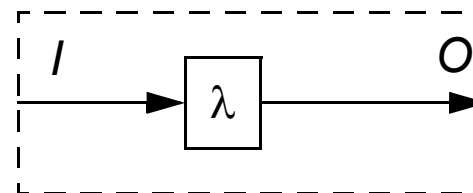
generaator



primitiivne



loogikafunktsioon





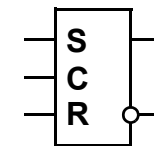
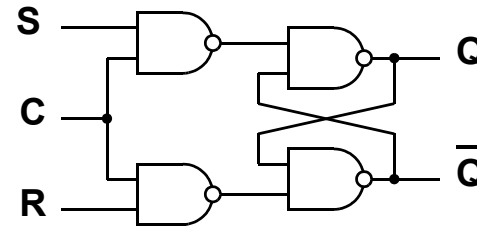
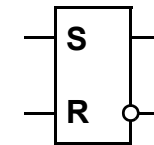
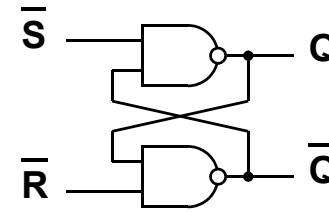
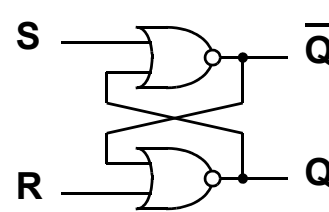
Mäluelemendid

- **Salvestavad olekukoodi**
- **Register**
 - kahendvektori salvestamiseks
 - sama tüüpi mäluelemendid
- **Mäluelementide tüübid**
 - funktsionaalsus – SR, JK, D- ja T-trigerid
 - takteerimine
 - asünkroone – takt puudub
 - latch (lukk-register/-triger) – läbipaistev kui takt on aktiivne
 - flip-flop (frondist aktiveeruv triger) – väljundis muutus ainult taktsignaali frondi korral
 - master-slave (meister-sell) – kaks järjestikust lukk-registrit (latch'i)
 - frondile reageerivad trigerid – spetsiaalne sise-ehitus

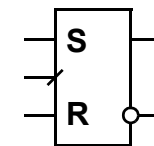
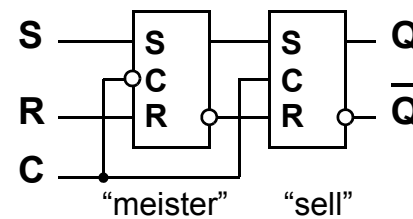
SR-triger (set/reset)

S	R	Q_{t+1}	\bar{Q}_{t+1}
0	0	Q_t	\bar{Q}_t
0	1	0	1
1	0	1	0
1	1	?	?

Q_t	Q_{t+1}	S	R
0	0	0	-
0	1	1	0
1	0	0	1
1	1	-	0



latch

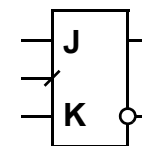


flip-flop

JK-triger

J	K	Q_{t+1}	\overline{Q}_{t+1}
0	0	Q_t	\overline{Q}_t
0	1	0	1
1	0	1	0
1	1	\overline{Q}_t	Q_t

Q_t	Q_{t+1}	J	K
0	0	0	-
0	1	1	-
1	0	-	1
1	1	-	0



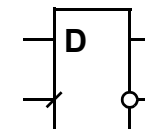
- Määramatus võimaldab loogikafunktsioone efektiivsemalt minimeerida
- Kaks sisendit → kaks loogikafunktsiooni

D-triger (delay)

- **Kõige enam kasutusel**
- **lihtne sise-ehitus**
- **väike sisendite arv → vähem loogikafunktsioone**

D	Q_{t+1}	\overline{Q}_{t+1}
0	0	1
1	1	0

Q_t	Q_{t+1}	D
0	0	0
0	1	1
1	0	0
1	1	1

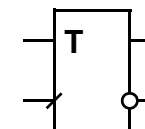


T-triger

- **Sobiv loendurites kasutamiseks**

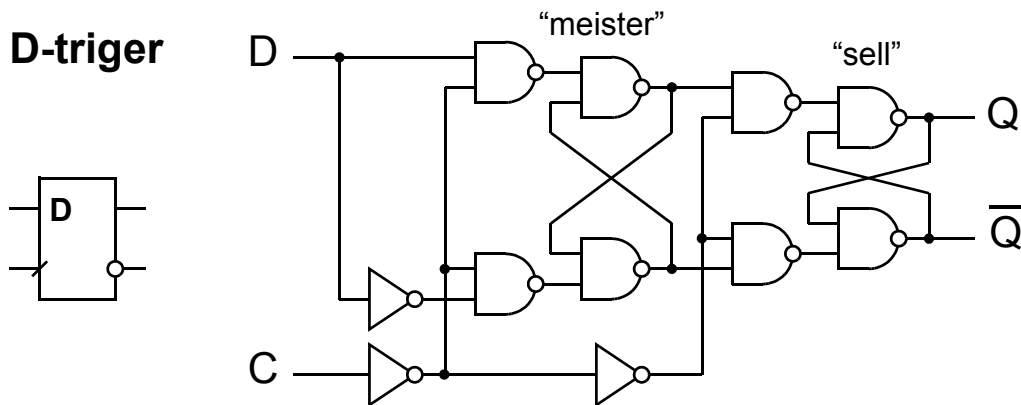
T	Q_{t+1}	\overline{Q}_{t+1}
0	Q_t	\overline{Q}_t
1	\overline{Q}_t	Q_t

Q_t	Q_{t+1}	T
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

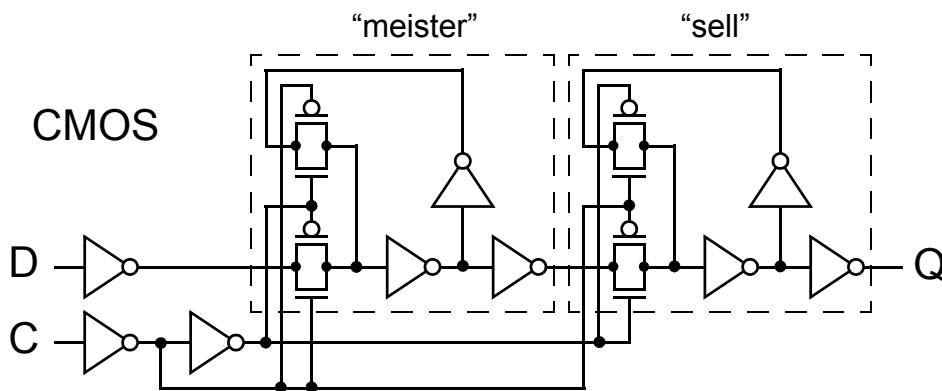


Trigerite sise-ehitus

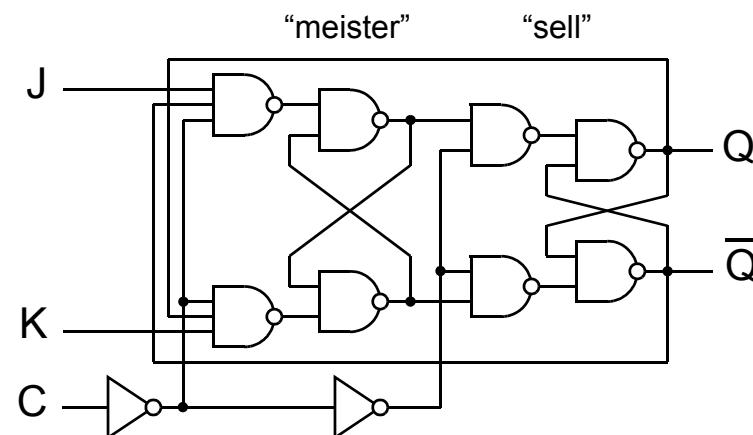
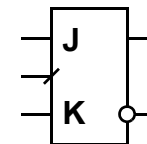
D-triger



CMOS



JK-triger



- **Trigerite simulaatorid**

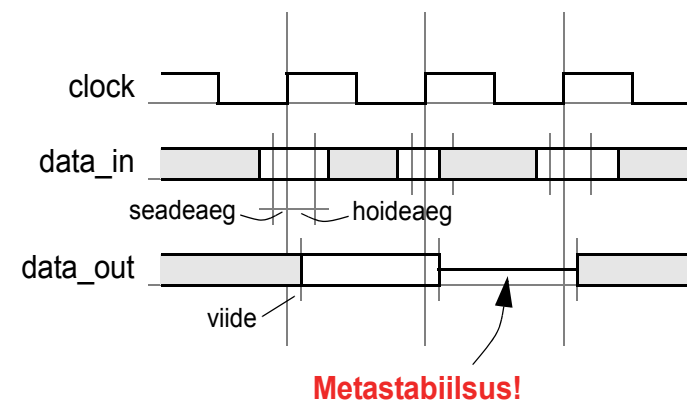
- <http://www.falstad.com/circuit/> – Sequential Logic → Flip-Flops → ...
- <http://tams-www.informatik.uni-hamburg.de/applets/cmos/cmospdemo.html> – CMOS D-latch



Trigerite ajalised parameetrid

- **Sisemised ahelad erinevate viidetega**
 - nt. sisendist mälulementideni võrreldes tagasisidega
 - seadeaeg (setup) – nõutav valmisoleku aeg
 - hoideaeg (hold) – nõutav stabiilsuse aeg
 - nõuete rikkumise korral metastabiilsuse oht
- **Metastabiilsus**
 - registri vahepealne olek
 - sisendis ettenägematu olukord
 - määramata pingeniivood (ei 0 ega 1)
 - keelatud sisendkombinatsioon
 - võivad jääda loogikanivoode vahele
 - oluline voolutarbe kasv

vt. ka VHDL-i loengu näidet atribuutide kasutamisest





Juhtautomaatide süntees

- **Automaadi olekudiagrammi / tabeli genereerimine (süntees)**
 - tabeli süntees plokk-skeemist (plokk-diagrammist)
 - plokk-skeemi genereerimine kõrgtaseme keeltest
- **Automaadi süntees olekudiagrammist / tabelist**
 - eesmärk – automaadi efektiivne realisatsioon
 - suurus, kiirus, energiatarve, testitavus jne.
 - sisendite / väljundite kodeerimine
 - olekute kodeerimine
 - siirde- ja väljundfunktsiooni süntees ja minimeerimine
 - sõltub valitud mälulementide tüübist (tüüpidest)