

Tudengineiu ei ole rahul oma Elektroenergeetika eriala valinud noormehega:
"Kallis, sa räägid ainult roheoskustest ja süsinikuneutraalsusest , ma olen sellest juba nii tüdinud — Rohepööre siin see ..., digipööre too ..., vesinikutehnoloogia nii... Räägi mulle millestki muust!"

- "Hea küll, räägime siis millestki muust. Millest ma peaksin rääkima?"

- "Räägi mulle oma tunnetest, soovidest, ihadest, unelmatest! Räägi mulle armastusest, kallis!!!"

- "Okei... Ma armastan ... Ma armastan.... Ma armastan elektriautosid!"

ISC0100 KÜBERELEKTROONIKA

Kevad 2025

Digitaaltehnikas- mälu loogika (jadaloogika)

Martin Jaanus

NRG-308

martin.jaanus@ttu.ee 56 91 31 93

Õppetöö : <http://isc.ttu.ee>

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

Teemad

Digitaalelektronika analoogmaailmas

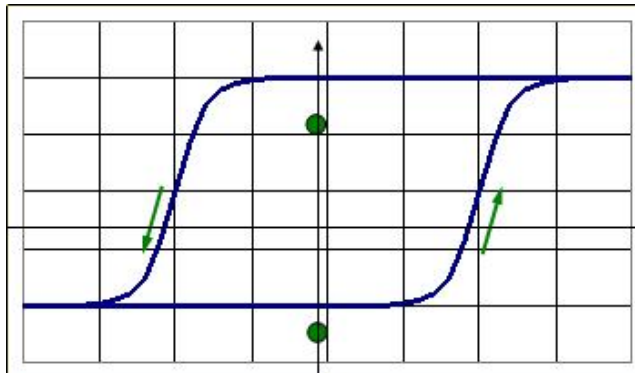
- Mäluga loogikaelemendid (trigerid)
- Loogikaautomaat

Digitaalelektronika

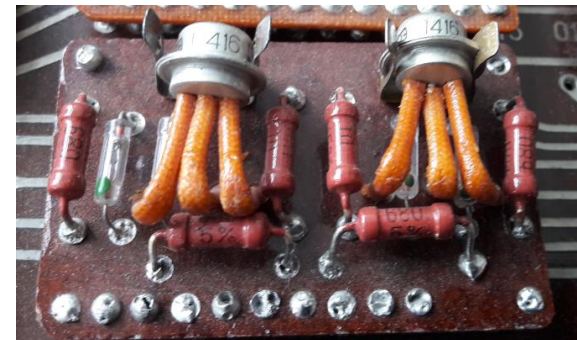
- Digitaalne (ladina keeles digitis – sõrm, inglise keeles digit- number) tähendab numbriline.
- Kasutusel (erinevalt pidevsüsteemist ehk analoogsüsteemist) kindlad , kokkulepitud signaali väärtused.
- Digisignaali saab muutuda astmete kaupa, lõplikud väärtused.
- Põhiline kasutus on kahendsüsteem ,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

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



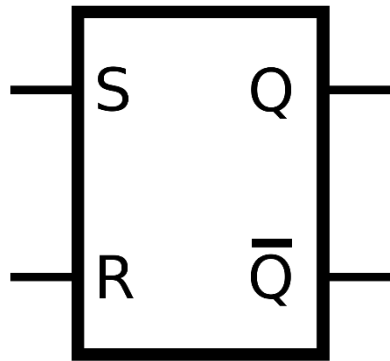
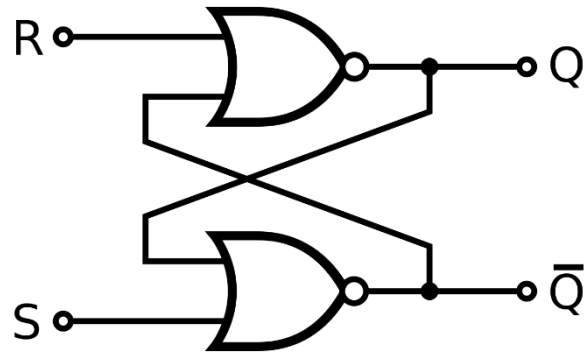
Mälu idee - hüsterees



(1973, NSVL)

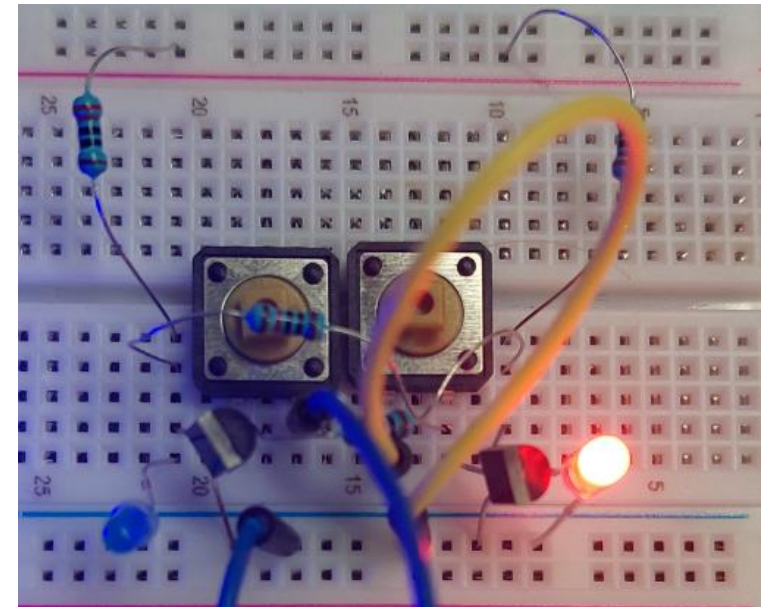
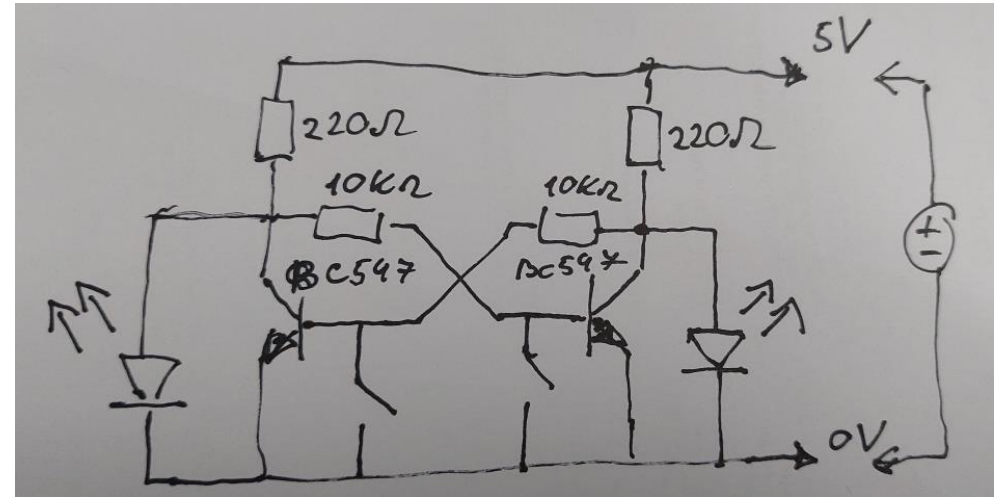
RS trigger (RS Flip-Flop)

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



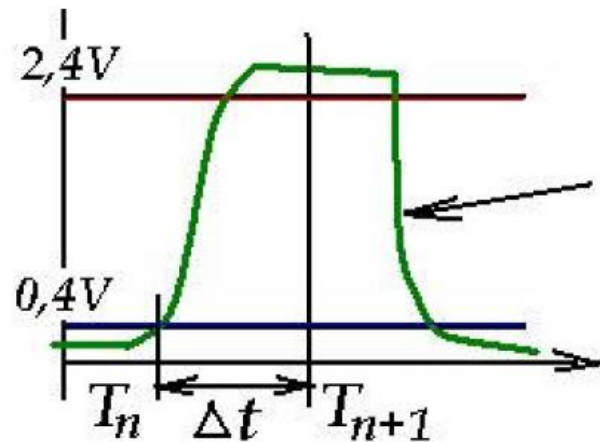
R	S	Q
0	0	ei muutu
1	0	0-RESET
0	1	1-SET
1	1	????

Keelatud
(info on määramata)



Sünkroniseerimine

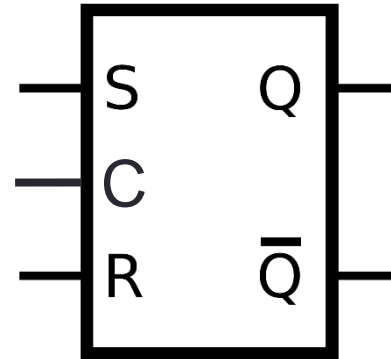
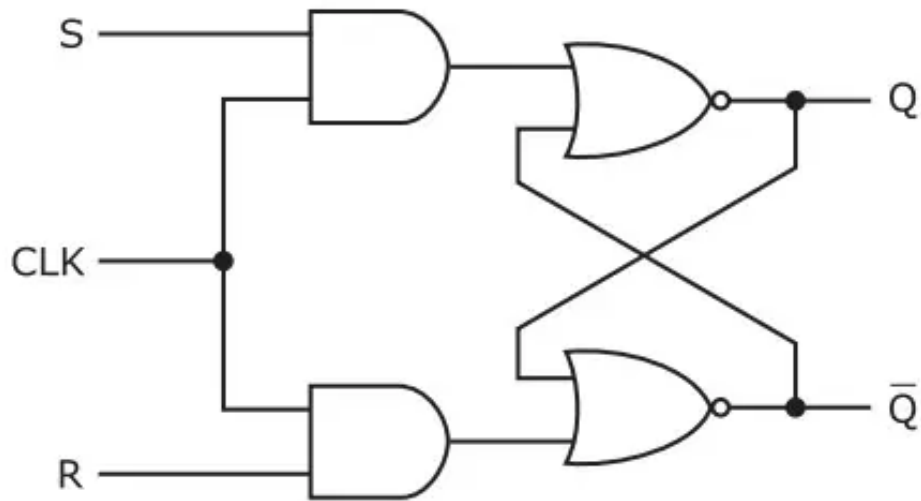
- Lihtloogikaelemendid töötavad pidevajas (asünkroonselt).
- Enamik digitaalelektronikat töötab takteeritult.
- Olekud muutuvad vaid siis kui on aktiivne taktisignaali (kokkulepitult signaali tõusev või langev front või ka mõlemad).
- **Kellasisignaal ütleb, millal on info õige .**



- CLOCK – kell
- Siire peab olema tunduvalt kiirem kui Δt .
- Taktsagedus $f=1/\Delta t$

Sünkroonne RS triger

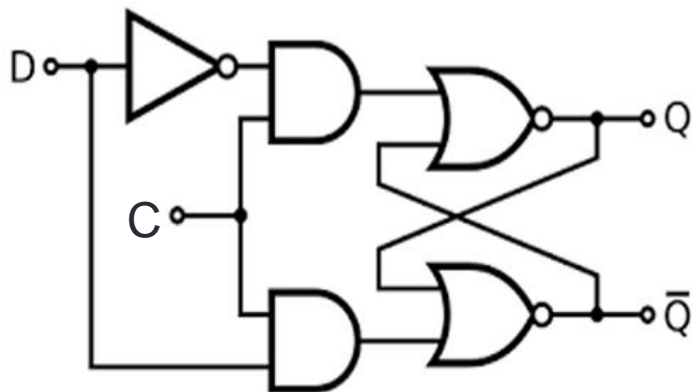
- Toimib vaid siis kui taktsignaali on aktiivne. Saab teha NING elemendida
- Olek $S=1$ ja $R=1$ on keelatud



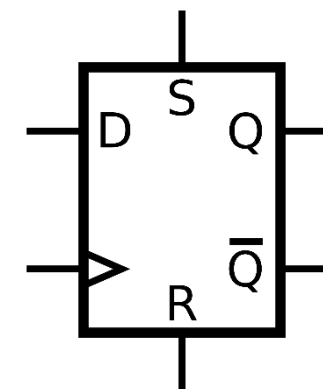
C	R	S	Q
0	0	0	ei muutu
0	1	0	ei muutu
0	0	1	ei muutu
0	1	1	ei muutu
0	0	0	ei muutu
1	1	0	0-RESET
1	0	1	1-SET
1	1	1	????

D –triger (mälulement – 1 bitt)

- D – delay → viitetriger (info jõuab sisendist väljundisse peale taktsignaali)
- Kui D=1 siis clock aktiivne front lülitab alati olekusse 1
- Kui D=0 siis clock aktiivne front lülitab alati olekusse 0



D	C	Q
0	0	ei muutu
1	0	ei muutu
0	1	0
1	1	1



Reaalsetel trigeritel on peaaegu alati olemas ka S ja eriti R (Reset) sisend.

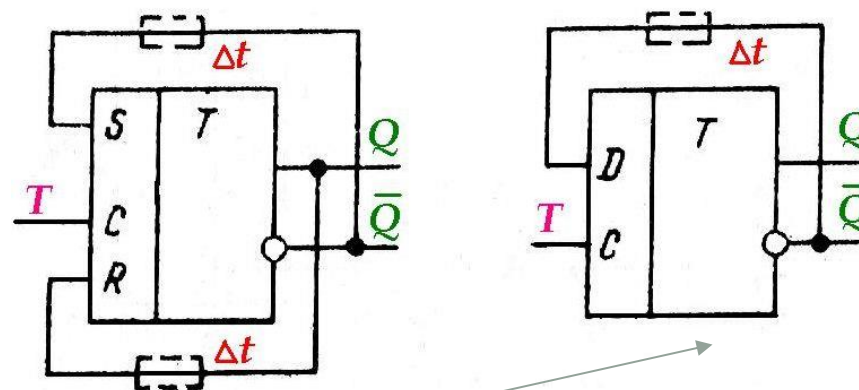
- Ainult üks infosisend – info kirjutatakse väljundisse sünkrosignaali puhul.
- Saab olla vaid sünkroonne.
- Taktisignaali peab olema võimalikult lühike, sest selle aktiivolekus võib triger ümber lülitada mitu korda. Aga seda me üldjuhul ei soovi

T- trigger (loendame)

- Kaheastmeline trigger
- T trigger - loendustriger (jagamine kahega) .
- Trigger vahetab oma olekut alati kui ilmub aktiivne loogikasignaal sisendile.

$$Q_{n+1} = (Q_n \cdot \bar{T} + \bar{Q}_n \cdot T) \cdot C + \bar{C} \cdot Q_n$$

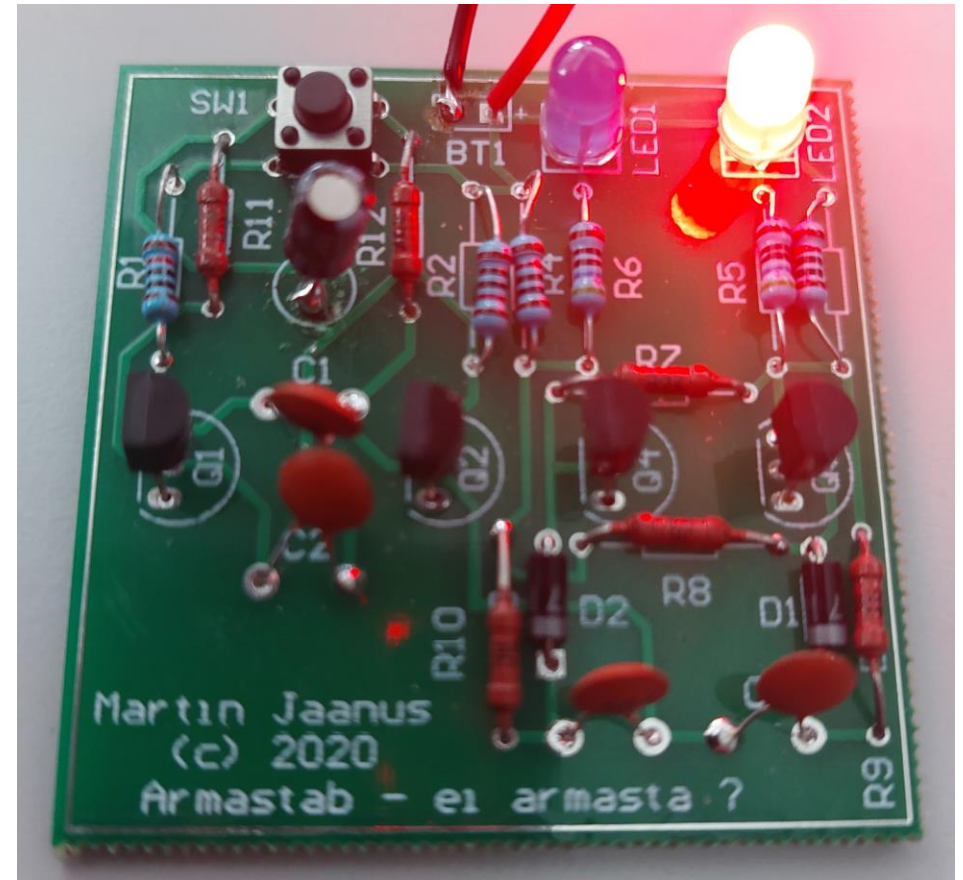
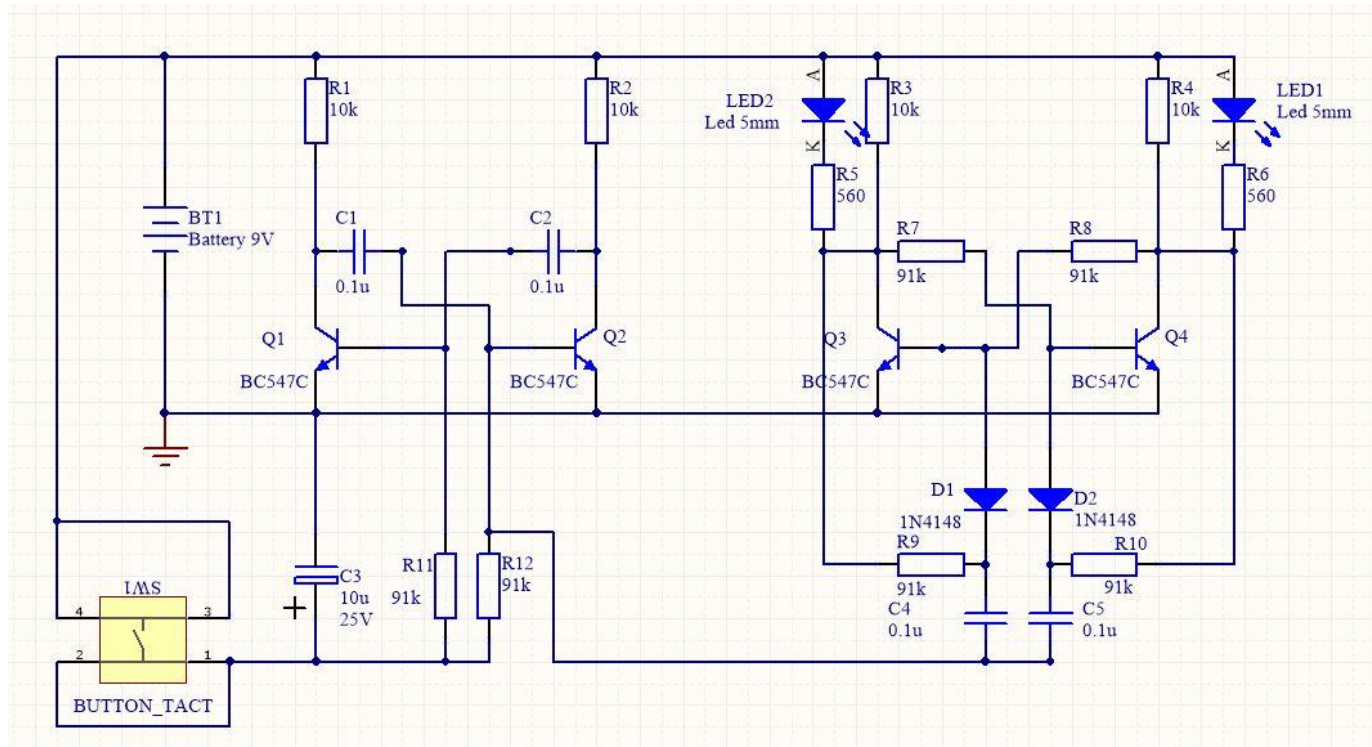
Sisend	praegu	takt hiljem
T	Q_n	Q_{n+1}
0	0	0
1	0	1
1	1	0
0	1	1



- Esialgne mõte, mis ei ole töökindel.
- Trigger ei või üheaegselt mängida infoallika ja infovastuvõtja rolli!
- Uue info vastuvõtt on vana info kaotamine.
- Ideaalsete elementide kiiretoimelisuse puhul struktuur ei ole töövõimeline, reaalselt läheb võnkuma kui R,S signaalide muutuse ajaks pole T signaal maha võetud.

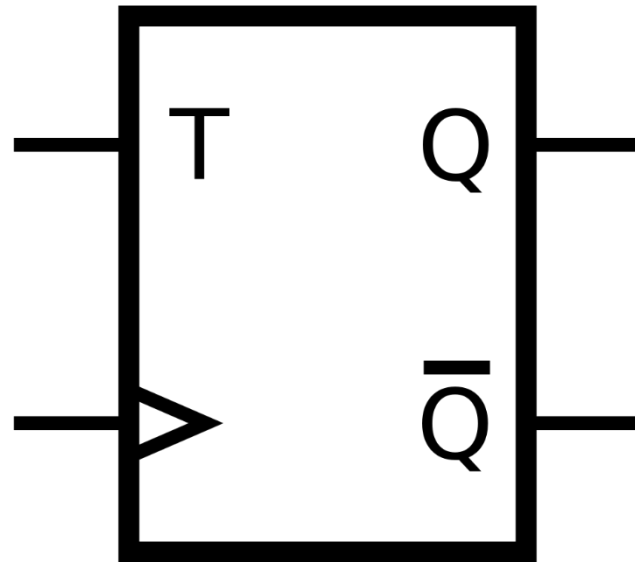
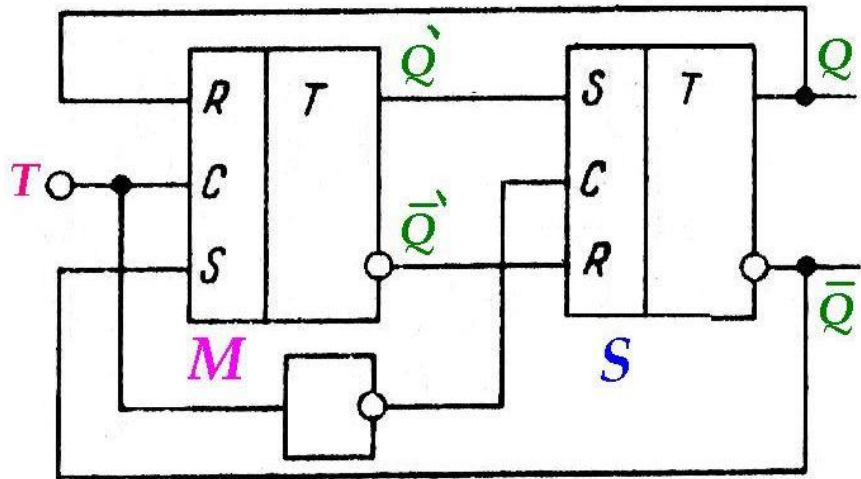
T-triger (näide)

- Juhusliku oleku generaator



T- triger

- Lahendus: Vajalik lisa mäluelement uute R,S signaalide tähenduste säilitamiseks.
- Need uued tähendused tuleb anda põhimäluelemendi sisenditele ainult siis, kui aktiivne T – signaal on juba maha võetud. -> Kaheastmeline (MS → Master – Slave) struktuur.
- Võnkumise vältimiseks tehakse sünkroniseerimine eriaegadel (esi ja tagafrondiga)



Universaaltriger (JK)

- Selle abil saab teha kõik teised – kõrvaldatud on keelatud kombinatsioonid.
- Käitub nagu RS triger, kuid lülitab oleku ringi kui $J=K=1$
- Saab olla vaid sünkroonne ja kaheastmeline

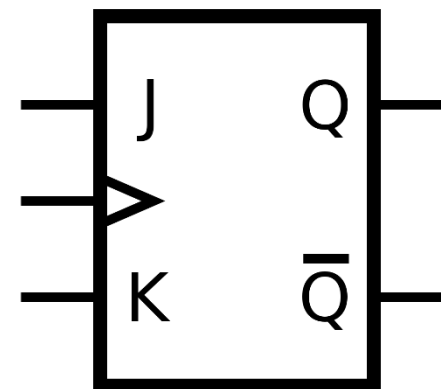
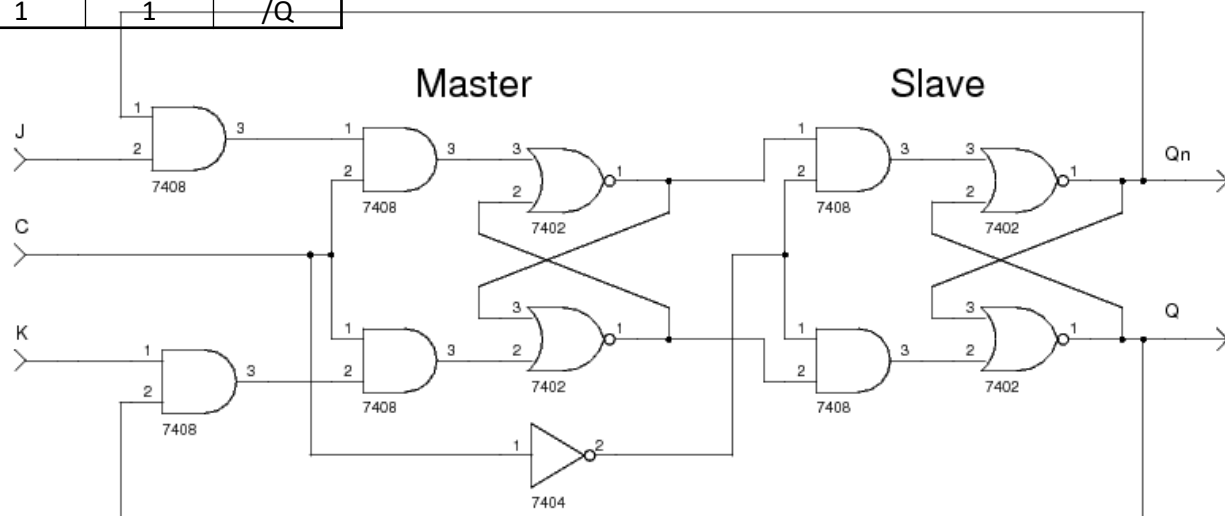
↑ - olek muutub $0 \rightarrow 1 \rightarrow 0$

C	J	K	Q
↑	0	0	ei muutu
↑	1	0	1
↑	0	1	0
↑	1	1	/Q



- Realisatsioon RS trigerite baasil.
- Tagasiside rakendamine **väljastab** keelatud kombinatsioonide tekkimist.
- **J, K sisendid võivad funktsioneerida nagu R, S sisendid.**
- J ja K kokkuühendamisel saame T trigeri

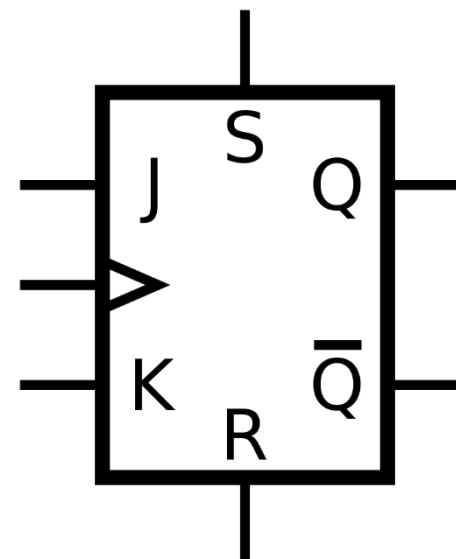
Tõusev front



Universaaltriger (JK)

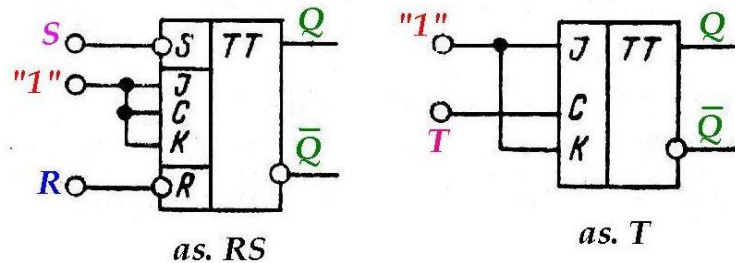
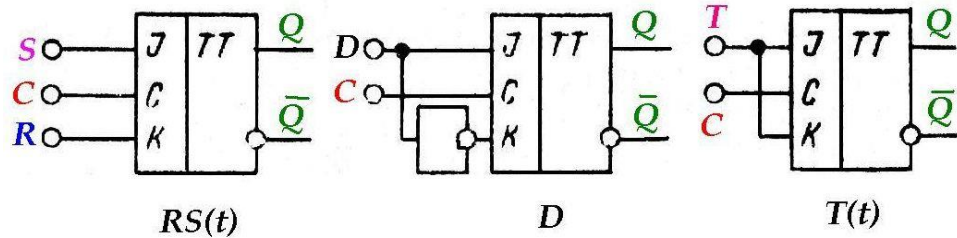
Liigitus infosisendite järgi:

- R – eraldi tagastamise sisend ($Q = 0$)
- S – eraldi seadmise sisend ($Q = 1$)
- K – universaalse trigeri tagastamise sisend ($Q = 0$)
- J – universaalse trigeri seadmise sisend ($Q = 1$)
- T – loendussisend
- D – trigeri ümberlülitamise infosisend. Trigeri ümberlülitamine toimub olekusse, mis vastab loogikalisele nivoole sellel samal sisendil
- C – juhtimise või sünkroniseerimise sisend.



Universaaltriger (JK)

- Kasutusnäited → Google.
- <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/cd4027b-mil.pdf>
- CD4027BE
- 2 trigerit ühes korpuses



2 Applications

- Registers, counters, control circuits

small-outline packages (M, M90, M11, and M5K suffixes), and 16-lead thin shrink small-outline packages (PW and PWR suffixes).

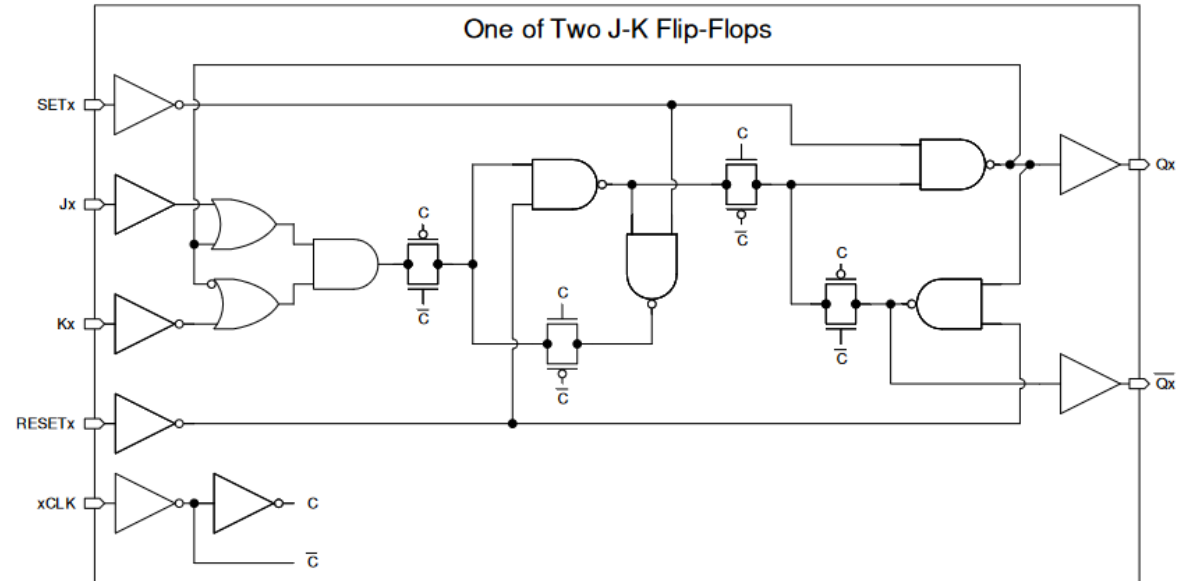
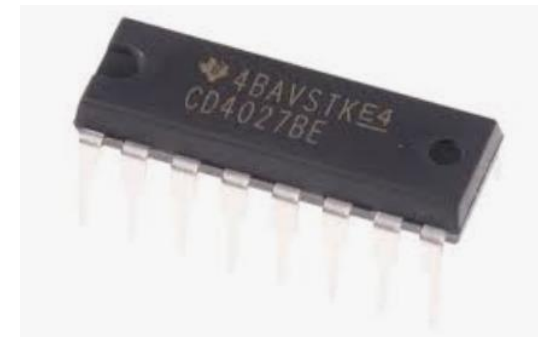
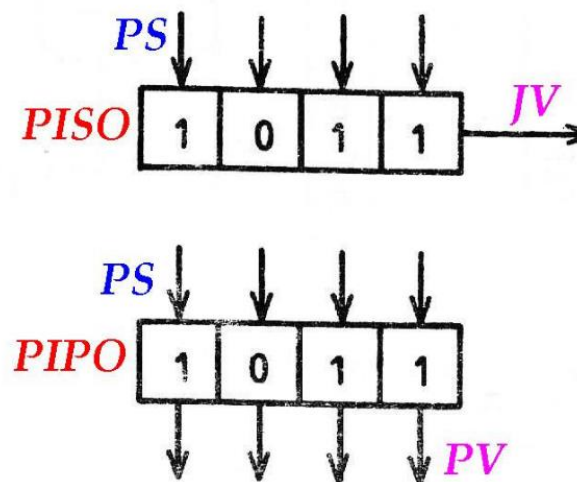
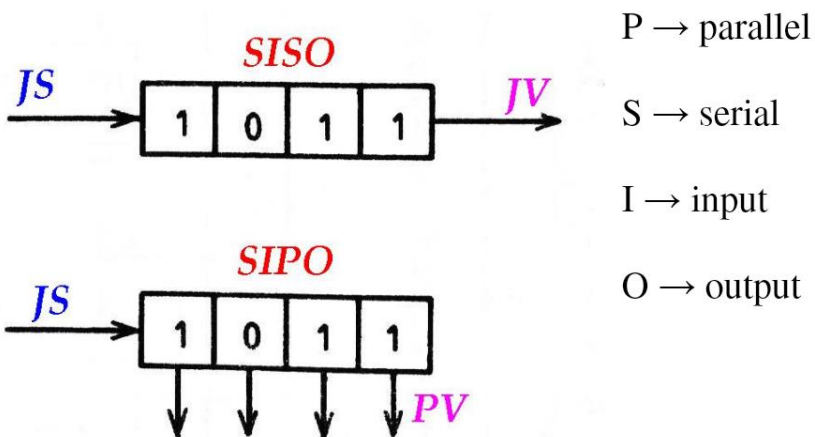


Figure 3-1. Logic Diagram

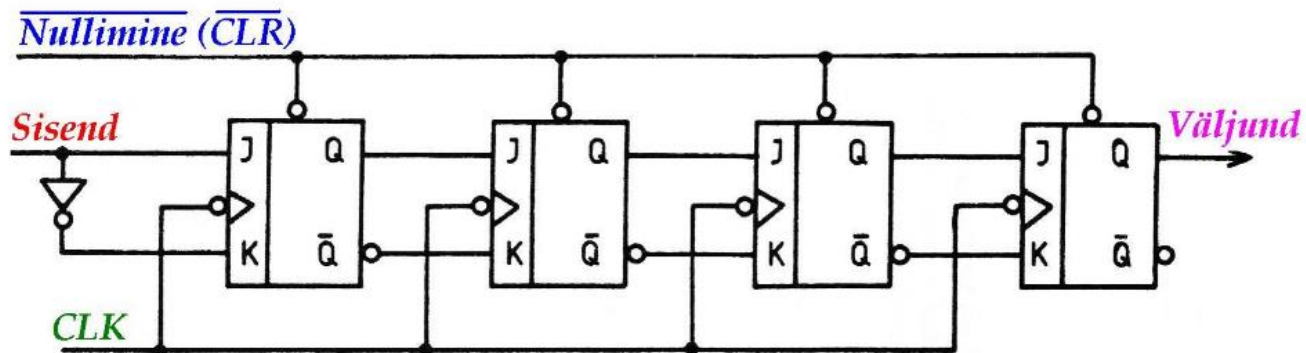


Trigerite rakendused

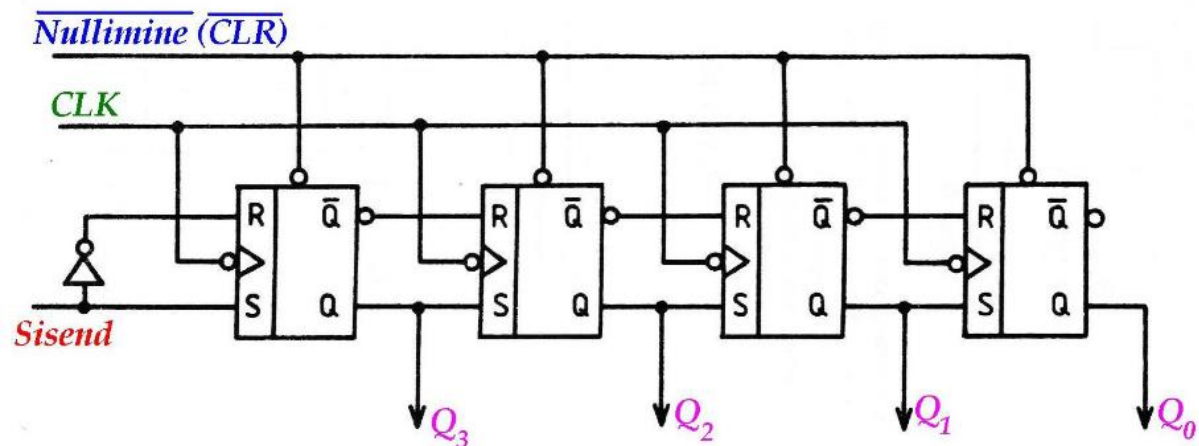
- Registrid – mäluelement mitmebitise info säilitamiseks. Register koosneb trigeritest.
- Kas jada või paralleelpöördusega



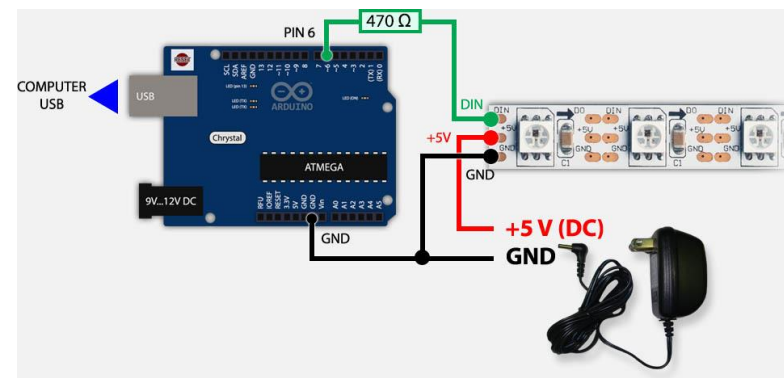
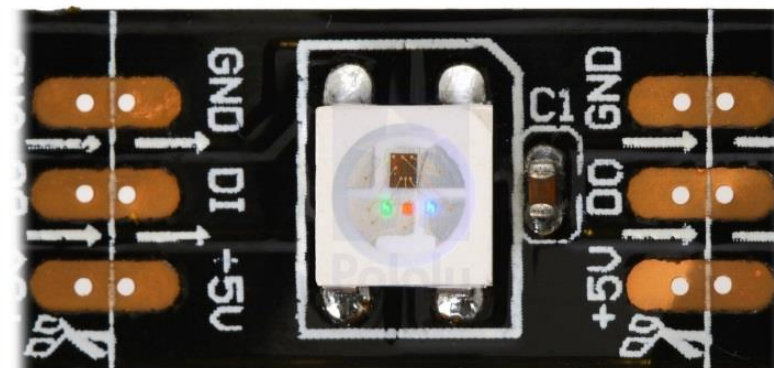
Registrid



Järjestiksisendiga ja järjestikväljundiga nihkeregister



Järjestiksisendiga ja paralleelväljundiga nihkeregister

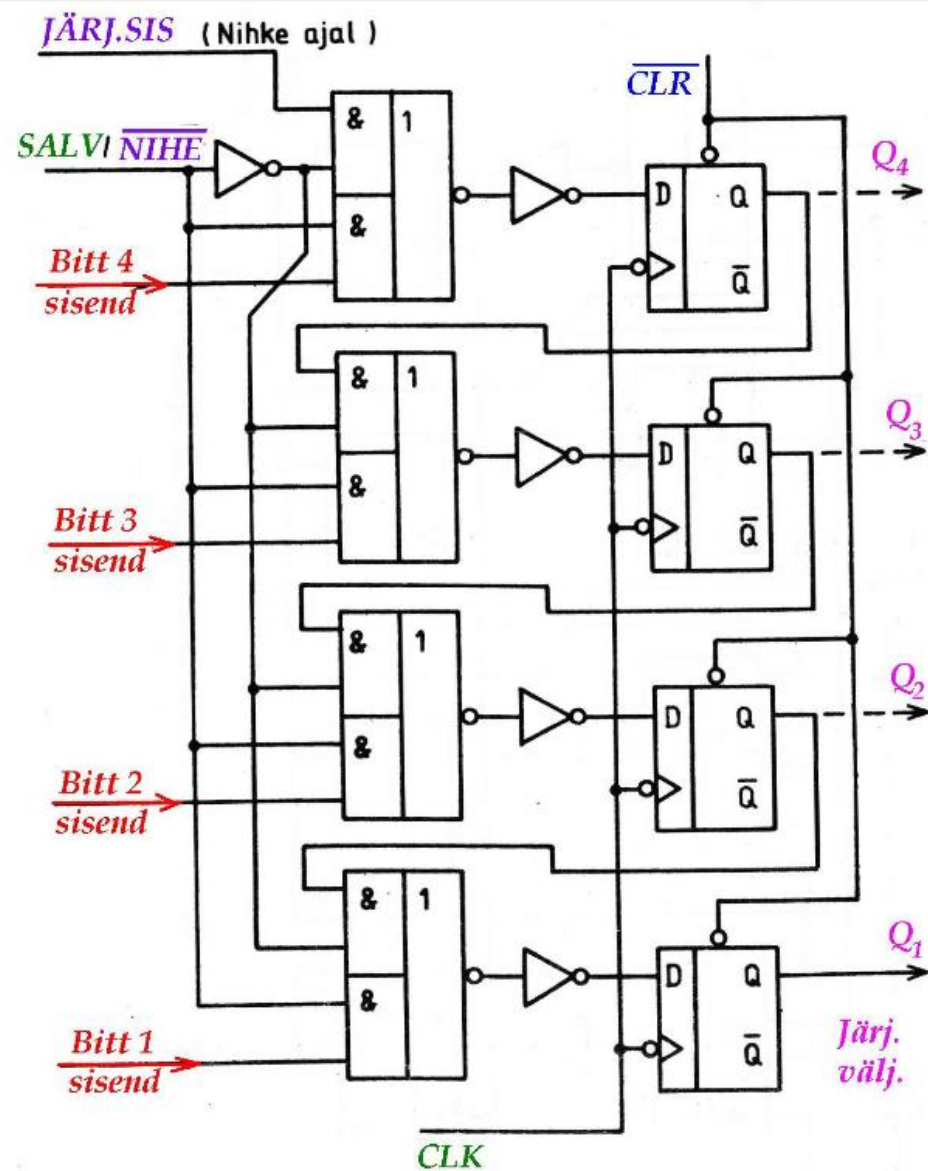


WS2812

Andmesides (tänapäeval enamasti mikroprotsessorite koostisosa-
paralleel-jadakoodi muundamine), mikrokontrollerite välisseadmed

Registrid

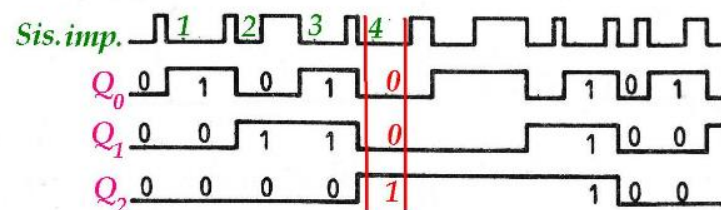
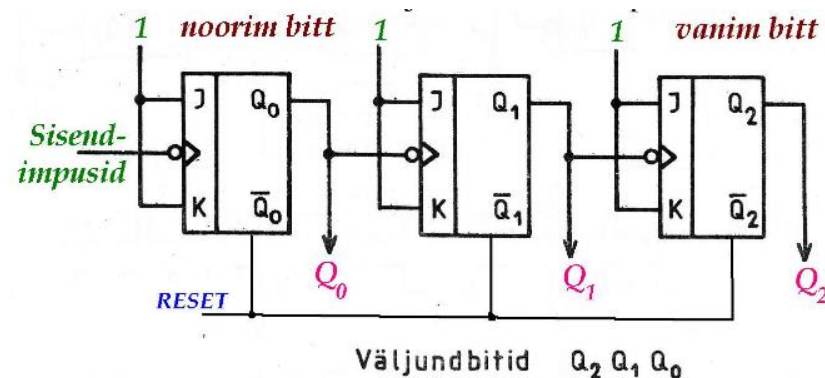
- Paralleelkoodist jadakoodi



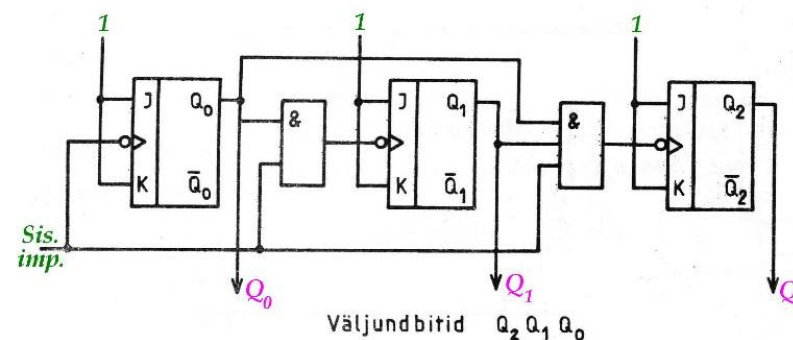
Paralleelsisendiga ja järjestikväljundiga register. Sellel moodustub ka järjestiksisend; võib moodustada ka paralleelväljundi (joonisel punkt-tiiriga).

Loendurid (sagedusjagurid)

- Asünkroonne summeeriv kahendloendur
- Sageduse jagamine 2^n (n on loendurite arv)
- T trigeritest
- Probleem: trigerid ei lülitu ümber samaaegselt
- Reaalne kasutus – taktigeneraatorite sagedusjagurid
- -ka mikroprotsessorites
- Sünkroonne loendur (vajab lisaloogikaelemente) – kui on vaja, et väljundkood tekib õigel ajal



Asünkroonne (e. trigerite jadalülituses) summeeriv kahendloendur



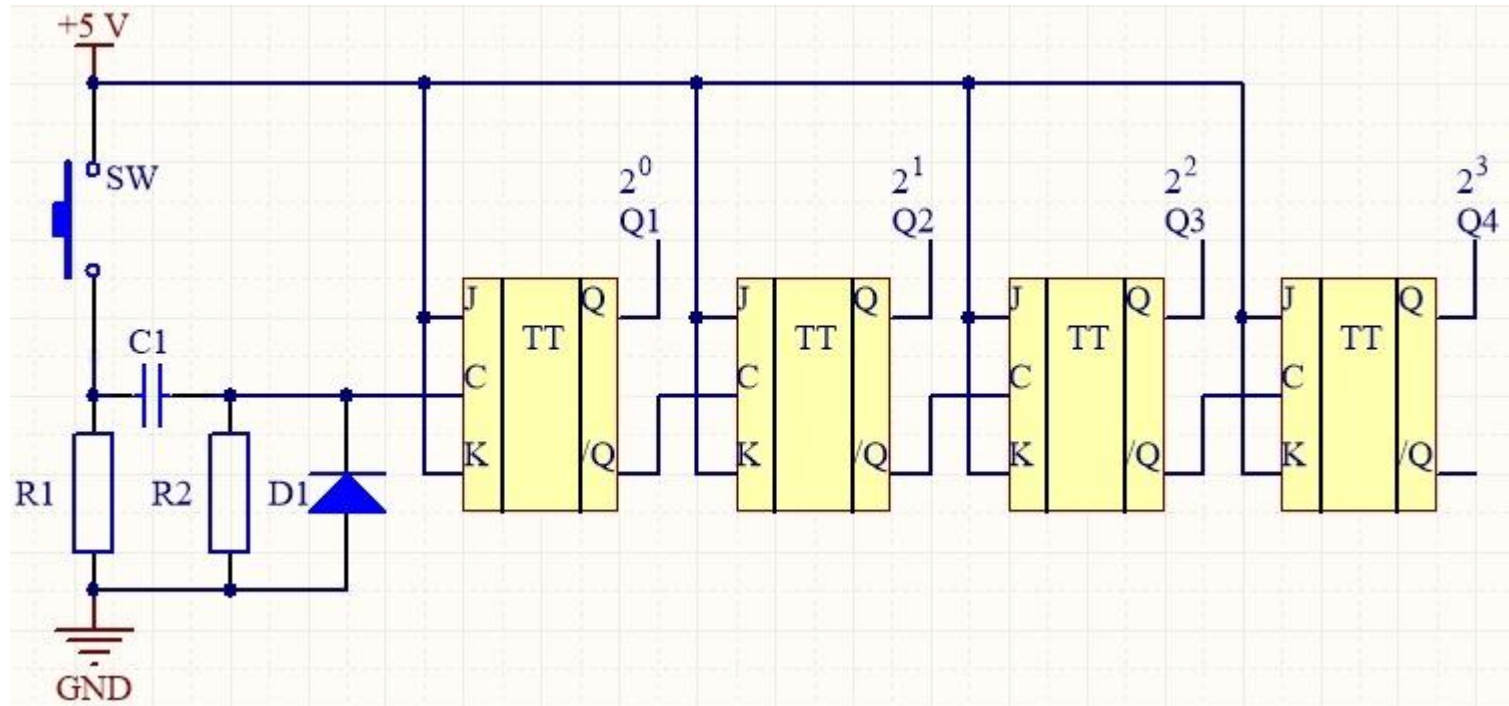
Jagame kahega

- Või tehe $x=x+1$ (16 süsteemis)
- Sunniviisiliselt saab koodi ette anda S ja R sisenditega (kui need olemas)

- Saab teha ka lahutaja $x=x-1$

- $15+1=0$, sest 4 bitti

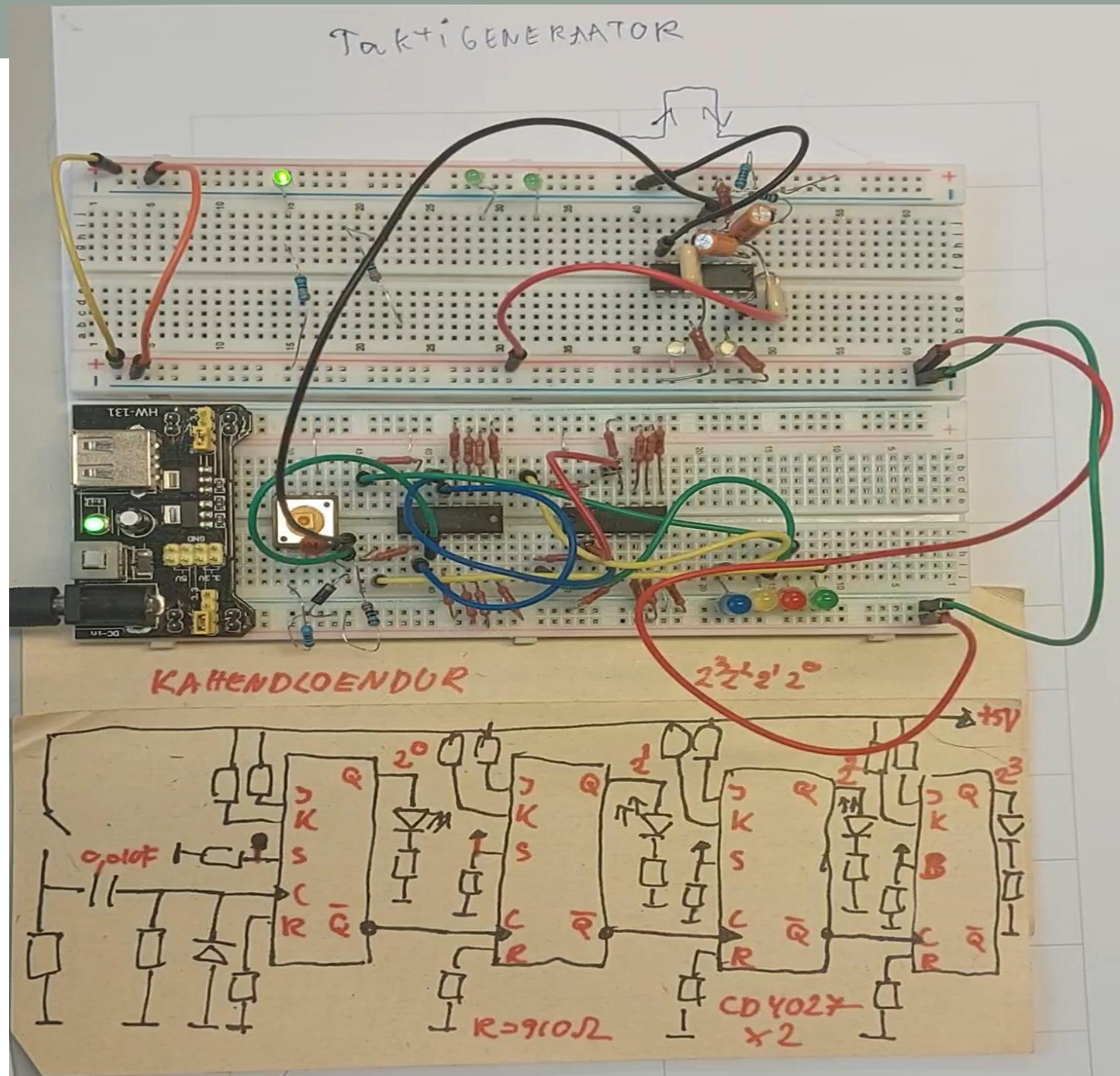
- Arduino Byte – $255+1=0$



Jagame kahega

- Või tehe $x=x+1$ (16 süsteemis)
- Sunniviisiliselt saab koodi ette anda S ja R sisenditega
- Saab teha ka lahutaja $x=x-1$
- 15+1=0 , sest 4 bitti
- Arduino Byte – 255+1=0

(Punased takistid on kasutusel "juhtmetena")



Mittekahendloendurid

- Idee – õige arvuni loendamisel lähtestada loendur
- Näide – loendame viieni.

Teeme viiendloenduri: Loendab: 000 → algseis.

1. imp. 001

2. imp. 010

3. imp. 011

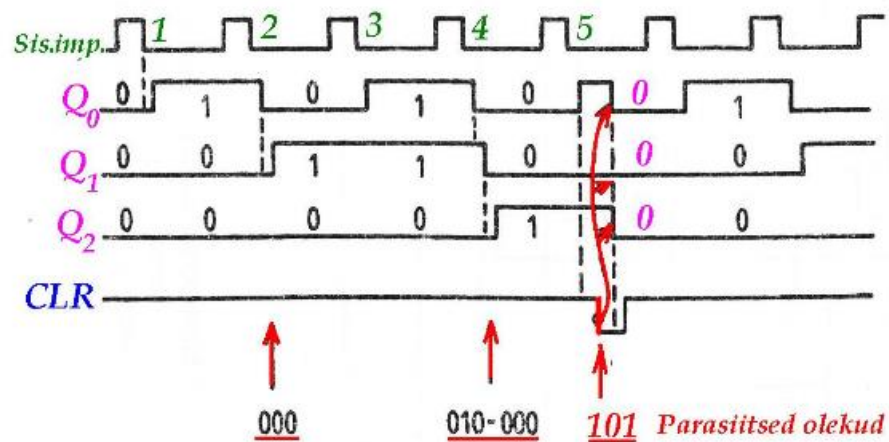
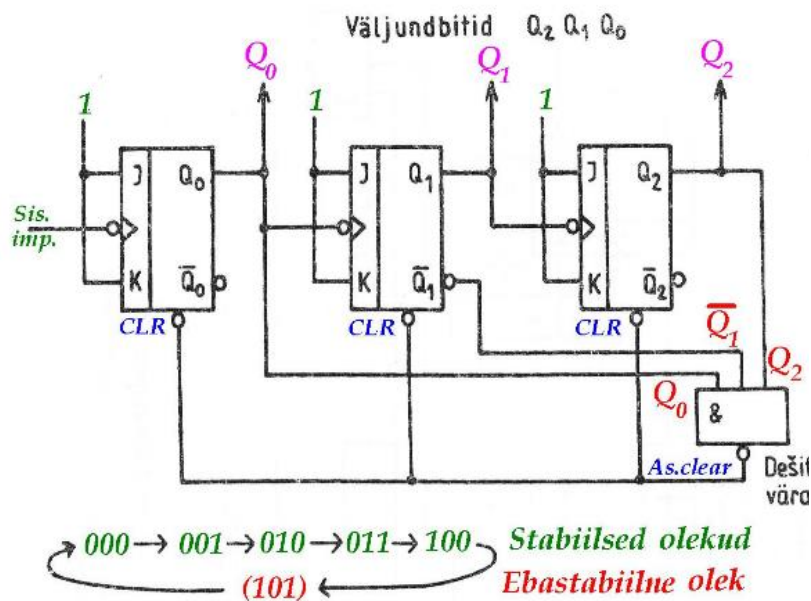
4. imp. 100

5. imp. peaks tulema **101**; meile on aga vaja 000!

Järeldus: kombinatsioon 101 peab kõik trigerid nullima!

Mittekahendloendurid

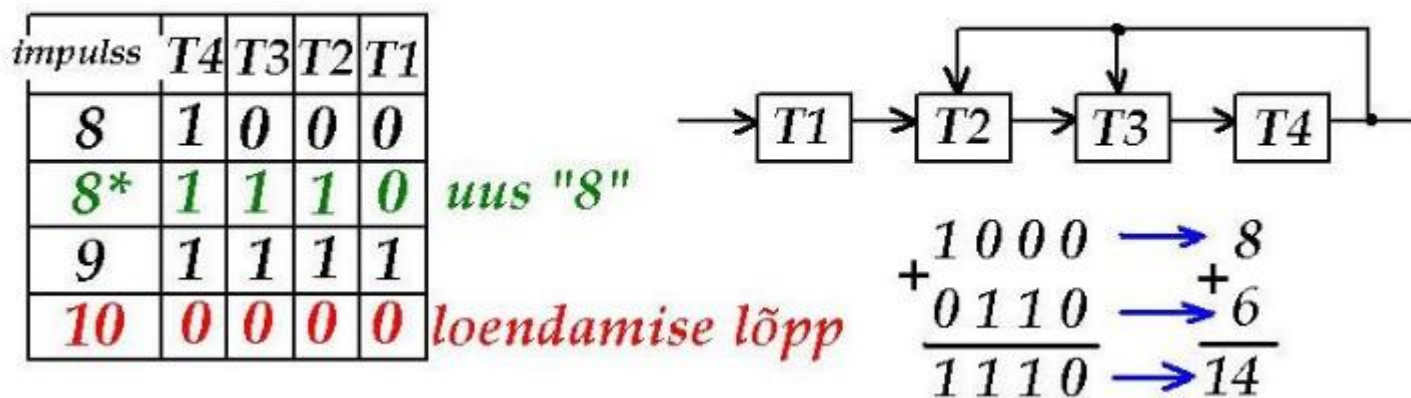
- Kasutame dekodeerit õige oleku leidmiseks
- Probleem – viimane olek jääb lühikeseks ajaks



Mittekahendloendurid

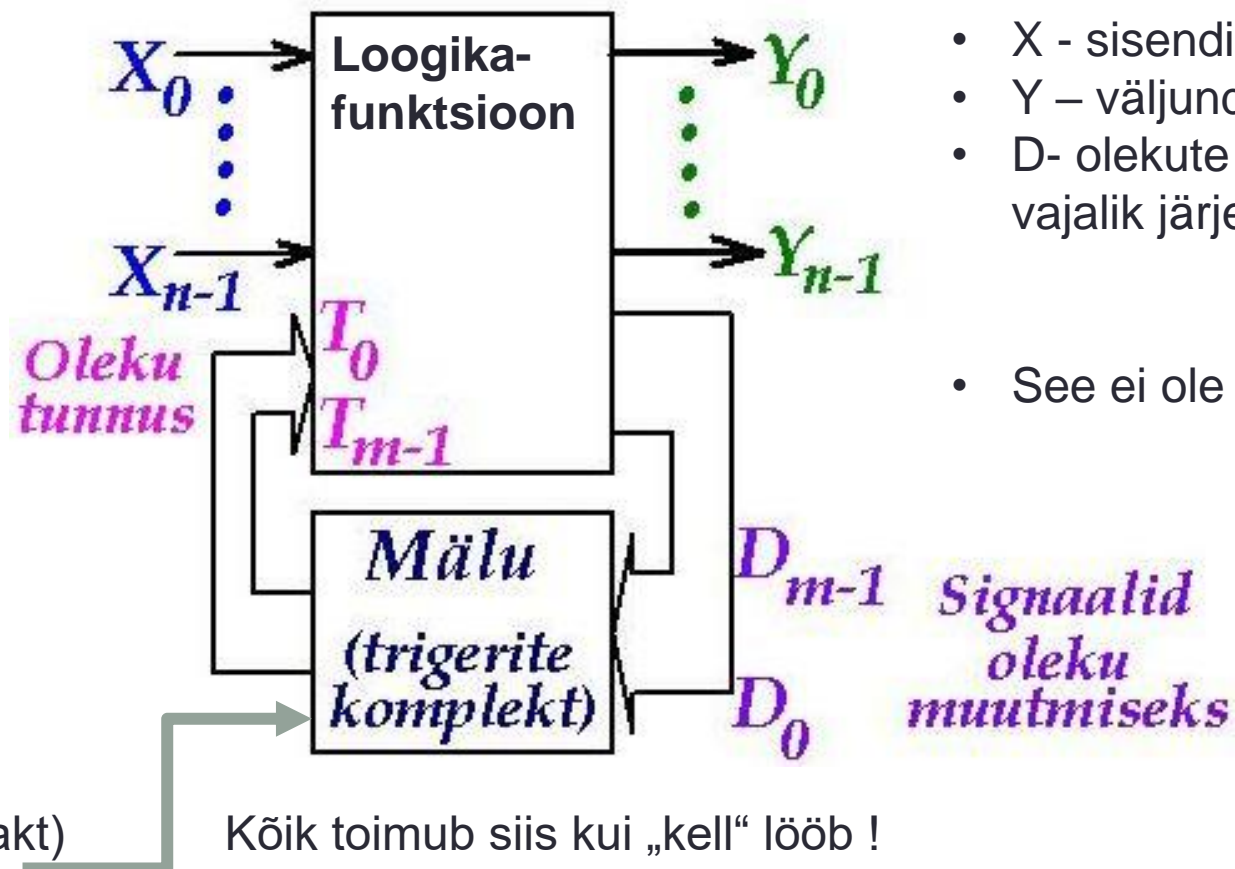
- Lahendus – teeme loendamise teatud olekust kuni lõpuni (sunniviisiline juurdeloendamine – lähtestuse „õigetele“ trigeritele loendamise keskel)
- Valmiskümnendloendurid (elektronkellad)

On vaja teha kümnendloendur:



Digitaalne automaat

- Numbriline (digitaalne) automaat
- Hoffmanni mudel :



- X - sisendi koodisõna
- Y – väljundi koodisõna
- D- olekute muutumise vajalik järjekord
- See ei ole veel arvuti !

Digitaalne automaat

- Mälu mahu (trigerite arvu) määramine – tähtsaim probleem, mis tekib DA projekteerimisel. Juhul, kui DA funktsioneerimiseks on vaja M olekut, siis trigerite alasüsteem peab koosnema miinimum n – trigeritest.
- $n \geq \log_2 M$ (n – lähim täisarv)
- Maksimaalne trigerite arv ülevalt poolt on piiratud M tähendusega.
- Olekute vajalik arv võib olla leitud kui maksimaalne väljundsignaali tähenduste arv, mis võib eksisteerida tema väljundil ühe sisendsignaali tähenduse puhul.
- DA tööalgoritmi kirjeldamiseks sobib:
- Suusõnaline kirjeldus (esialgne ülesande püstitamine),
- Olekute tabelid,
- Olekute skeemid (graafid).

Näide 1 (lift)

- Automaat, mis formeerib lifti ülekoormamise signaali.
Lifti kabiini mahub 6 inimest. Lubatud on aga ainult 3 inimese vedamine. Kui inimeste arv on rohkem kui 3, peab olema formeeritud blokeerimissignaali (ülekoormus).
- Sisendsignaali – kahendkood (inimeste arv suurenes ühe võrra +1 , vähenes ühe võrra -1 või jäi samaks. Vajalik 2 bitti
- 0 0 – reisijate arv jäi muutmatuks;
0 1 – reisijate arv suurenes ühe inimese võrra;
1 0 – reisijate arv vähenes ühe inimese võrra.
1 1 – keelatud kood (sellist olukorda ei ole kirjeldatud, kuigi kood on võimalik)
-> 4 veergu:

Näide 1 (lift)

- Üleminekute tabel peab omama 4 veergu. Vajalik olekute arv M tuleb määrata lähtudes seadme töö analüüsist.
 $M = 7$, kuna on seitse võimalikku situatsiooni.
- 1) Lift tühi. 2) Liftis on 1 inimene. 3) Liftis on 2 in. 4) Liftis on 3 in. 5) Liftis on 4 in. 6) Liftis on 5 in. 7) Liftis on 6 in.
- 1, 2, 3, 4 olekute puhul blokeerimissignaali formeerimine ei toimu. **5, 6, 7 olekute puhul formeeritakse blokeerimissignaali.**
- Teeme kindlaks trigerite vajaliku arvu:
 $n_{\min} > \log_2 7 \rightarrow n_{\min} = 3$
DA olekute kirjeldus: 3 – järguline kahendkood. Üleminekute tabelis peab olema 8 (2 astmes $2^3=8$) rida.

Näide 1 (lift)

- Olekud tabelina :

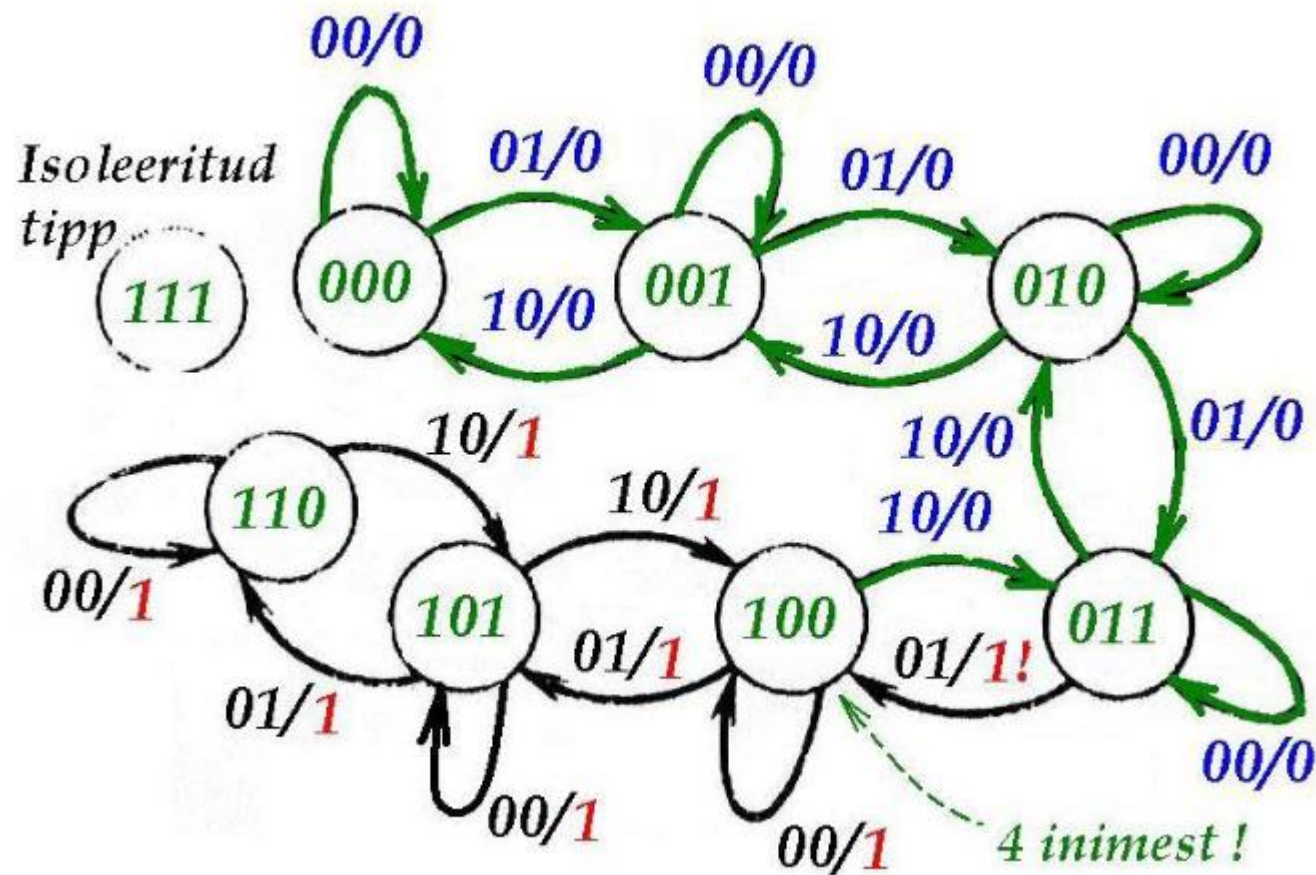
S <i>Inimeste arv lifti kabiinis</i>		X'		
		00 <i>Keegi sisse ega välja ei tulnud</i>	01 <i>Üks inimene astus sisse</i>	10 <i>Üks inimene astus välja</i>
0	000	000/0	001/0	—
1	001	001/0	010/0	000/0
2	010	010/0	011/0	001/0
3	011	011/0	100/1	010/0
4	100	100/1	101/1	011/0
5	101	101/1	110/1	100/1
6	110	110/1	—	101/1
-	111	—	—	—

7 inimest kabiini ei mahu!

Kui lift oli tühi, keegi sealt välja astuda ei võinud!

Näide 1 (lift)

- Olekud graafina



Demo

**Subjektiivne digipädevustega
digitark digitaaltehnik
õppejõud
TalTech Digitalis**

Digitaalne automaat - näide

- „Subjektiivne digipädev digitaalne digitehnika õppejõud - hindaja“
- Lihtsuse mõttes variant – üldhariduskoolidele(hinded 2-5) .
- Sisend 1 – õppuri vastus 0 – vale ,1 – õige
- Sisend 2 – õppejõu hetketuju 0 – halb, 1- hea

Hinne formeeritakse järgmiselt:

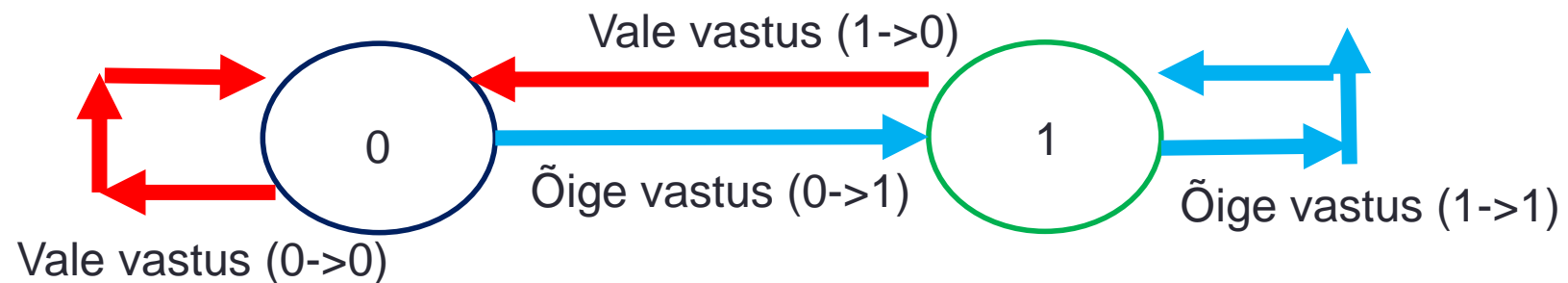
- 2 – vastus 0 – õj. tuju 0
- 3 – vastus 0 – õj. tuju 1
- 4 – vastus 1 – õj. tuju 0
- 5 – vastus 1 – õj. tuju 1

Õppejõu tuju muutub (järgmise õppuri jaoks) – kui oli vale vastus – siis halvaks, kui õige vastus, siis heaks.



Digipädev õppejõud

- Automaati saab koostada mitut moodi, lihtsaim viis on vaadelda õppejõu tuju olekuid – 2 ehk piisab ühest trigerist.
- Joonistame ülevaate mõttes olekudiagrammi (graafi):



Digitaalautomaadi süntees

Üldised reeglid :

- Lähtudes DA funktsioneerimistingimustest määratakse vajalik olekute arv ja trigerite alasüsteemi mälu maht.
- Teostakse DA funktsioneerimisalgoritmi formaalne kirjeldus. Selleks kasutakse olekute tabelit, olekute skeemi(üleminekute graafi).
- Kasutades formaliseeritud DA tööalgoritmi ja valitud trigeri tüübi üleminekute tabelit koostatakse laiendatud tõeväärtuste tabel.
- -----
- Trigeri tüüp – valida saab põhimõtteliselt suvalist, kuid universaalsuse tõttu eelistatakse JK trigerit

Digipädev õppejõud

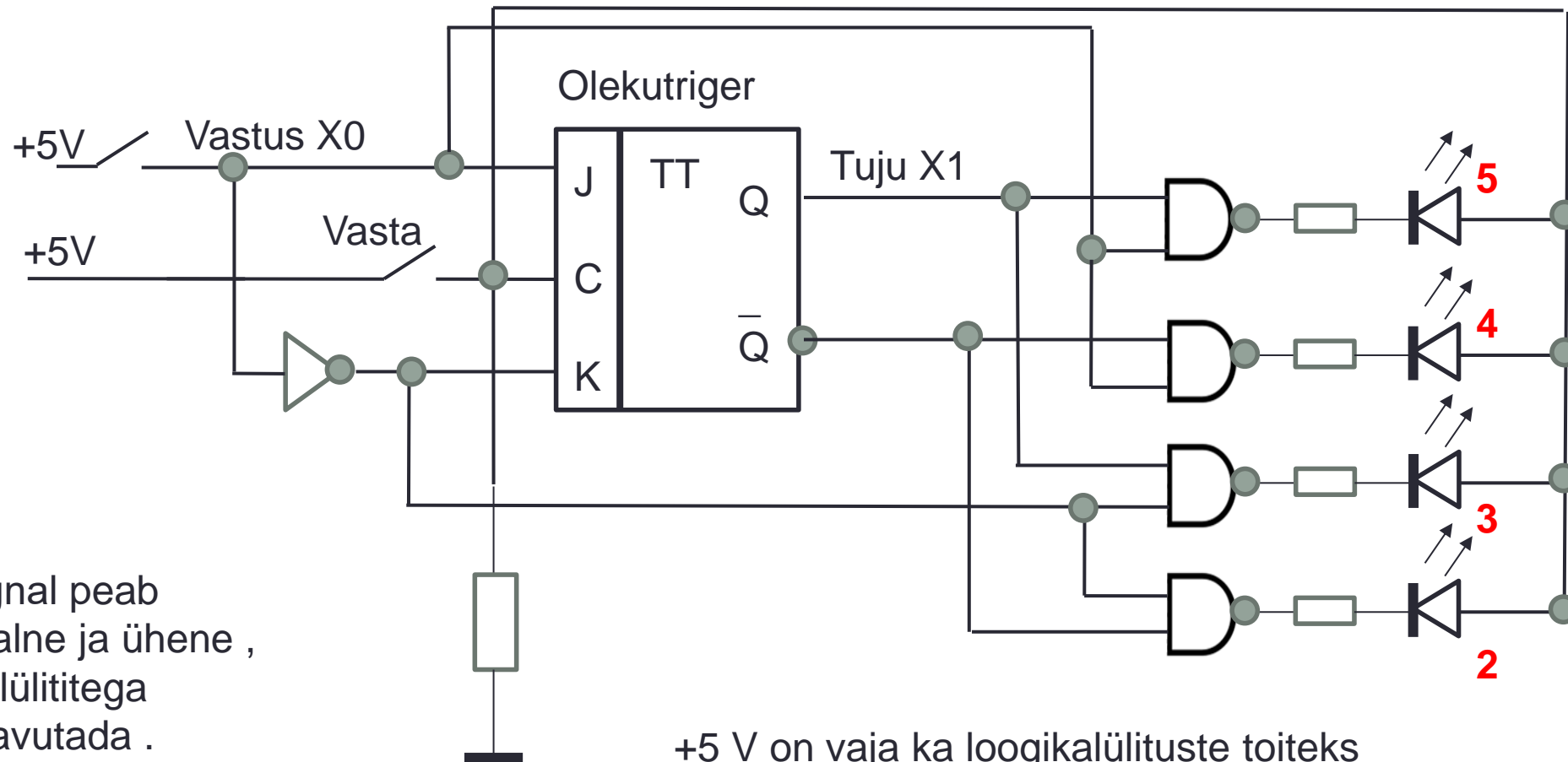
- Antud näite puhul on 2 muutujat (õppuri vastus- õppejõu tuju), Trigeri juhtväljundid Y_j , Y_k
- Lihtsuse mõttes väljundeid 4 – iga hinde jaoks oma – saab panna valgusdiodi

Õppuri vastus	Õppejõu tuju	Hinne 2	Hinne3	Hinne4	Hinne5	Tuju heaks	Tuju halvaks	
X_0	X_1	Y_0	Y_1	Y_2	Y_3	Y_j	Y_k	
0	0	0	1	0	0	0	0	1
0	1	1	0	1	0	0	0	1
1	0	0	0	0	1	0	1	0
1	1	1	0	0	0	1	1	0

- Tabelist tuleb välja kirjutada loogikafunktsioonid, lihtsustada....
- Näiteks Hinne 2 $Y_0 = X_1 * X_2$
- Jne...

Digipädev õppejõud

- “teoreetiline” elektriskeem
- Kuna triger lülitab ümber „nagu vaja“, pole vaja täiendavaid juhtsignaale



- “vasta” signal peab olema ideaalne ja ühene, mis on tavalülititega võimatu saavutada.

+5 V on vaja ka loogikalülituste toiteks

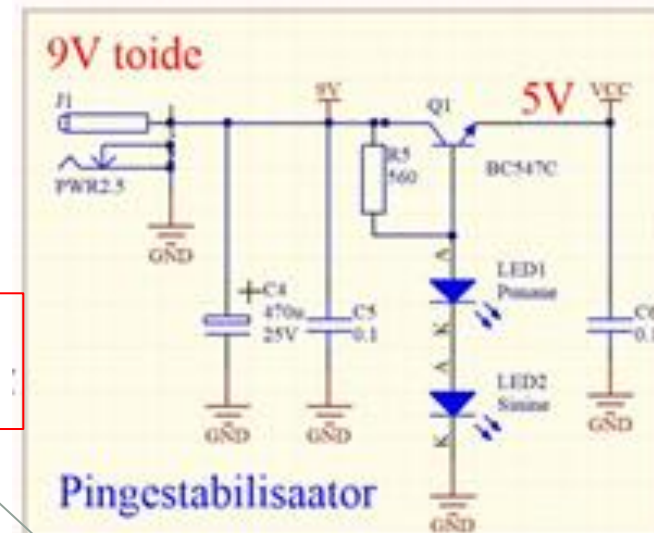
Tegelik realisatsioon (1)

NING-EI – väljund =1 kui 1 VÕI 2 sisend on 0

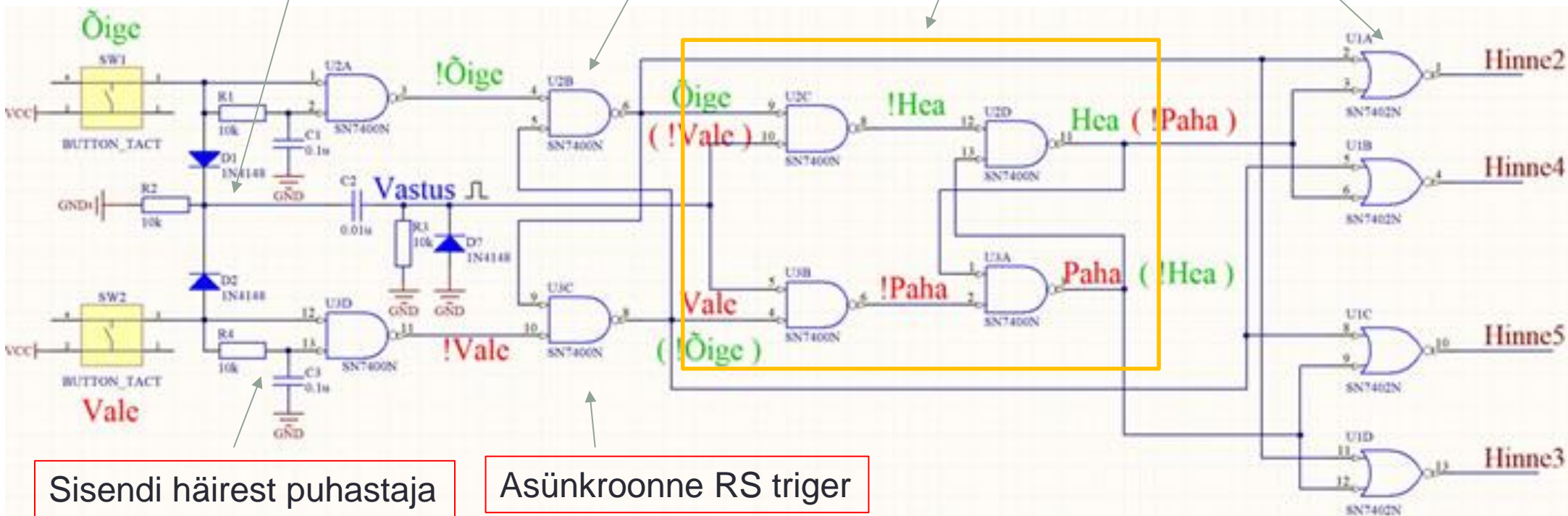
VÕI-EI – väljund =1 kui 1 JA 2 sisend on samaaegselt 0

Diodeidega VÕI tehe

Sünkroonne RS -triger



Pingestabilisaator

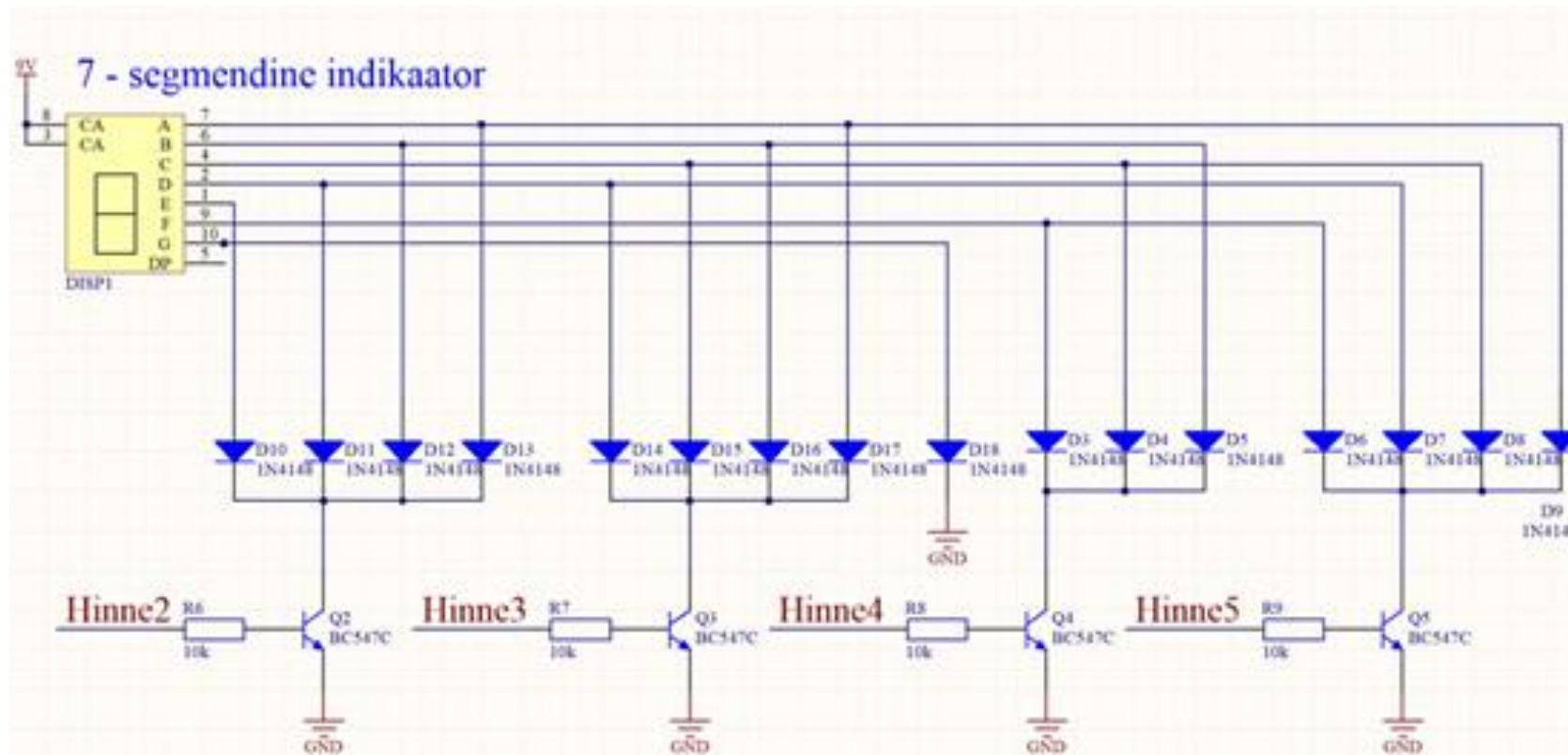


Sisendi häirest puhastaja

Asünkroonne RS triger

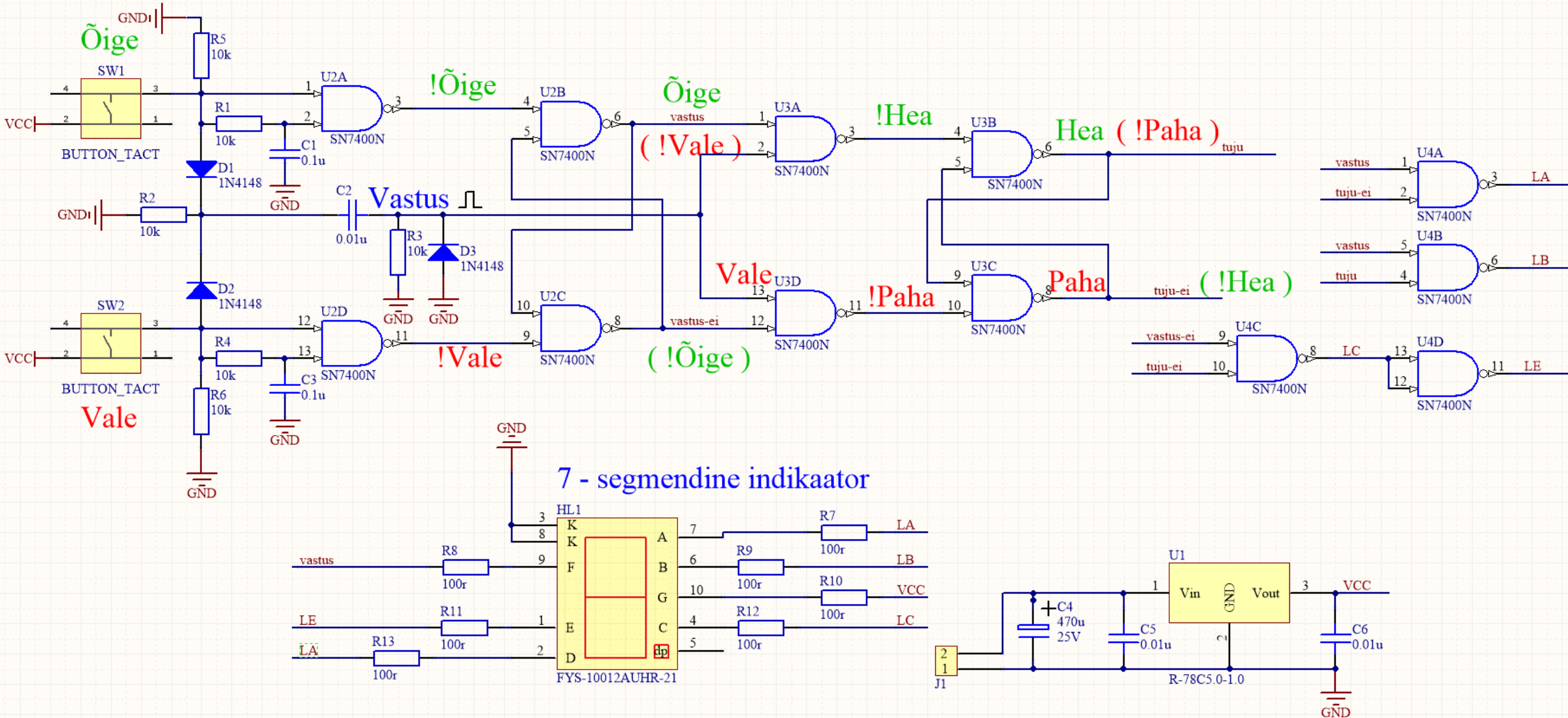
Tegelik realisatsioon (2)

- Indikaatori dekooder:
- (VÕI tehted on tehtud dioodidega)
- Toimib, aga kas ei saaks lihtsamalt ?



2024

- Hea stressivähendaja-mänguasi . See skeem on sobilik isetegemiseks

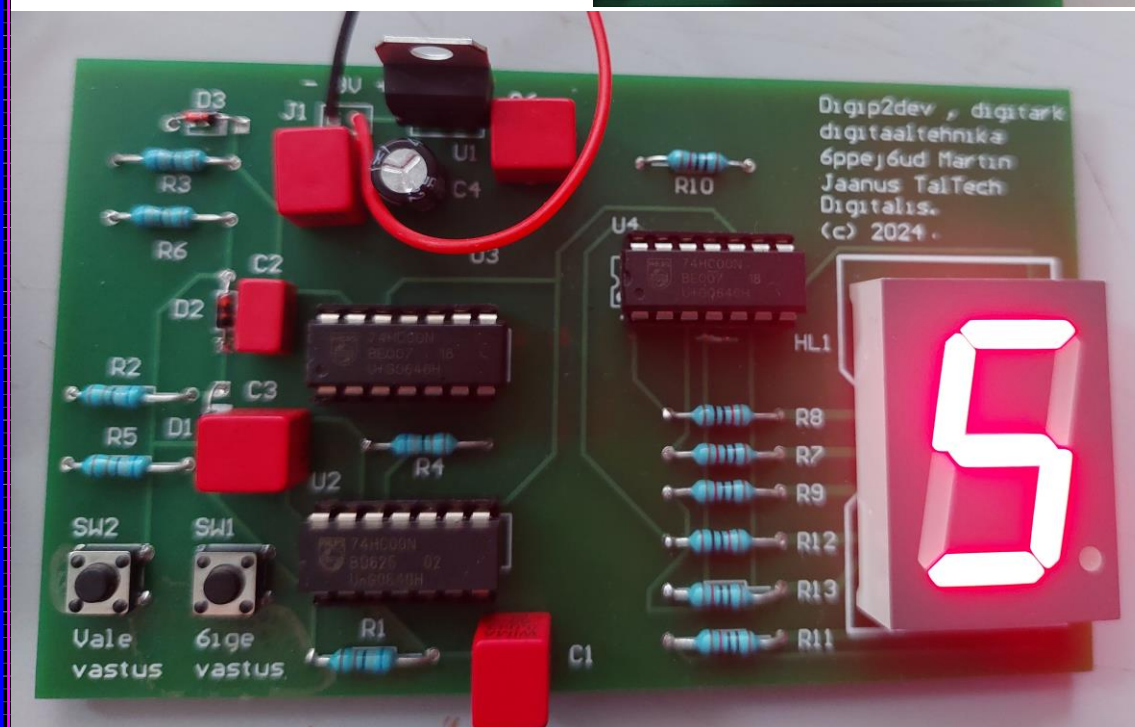
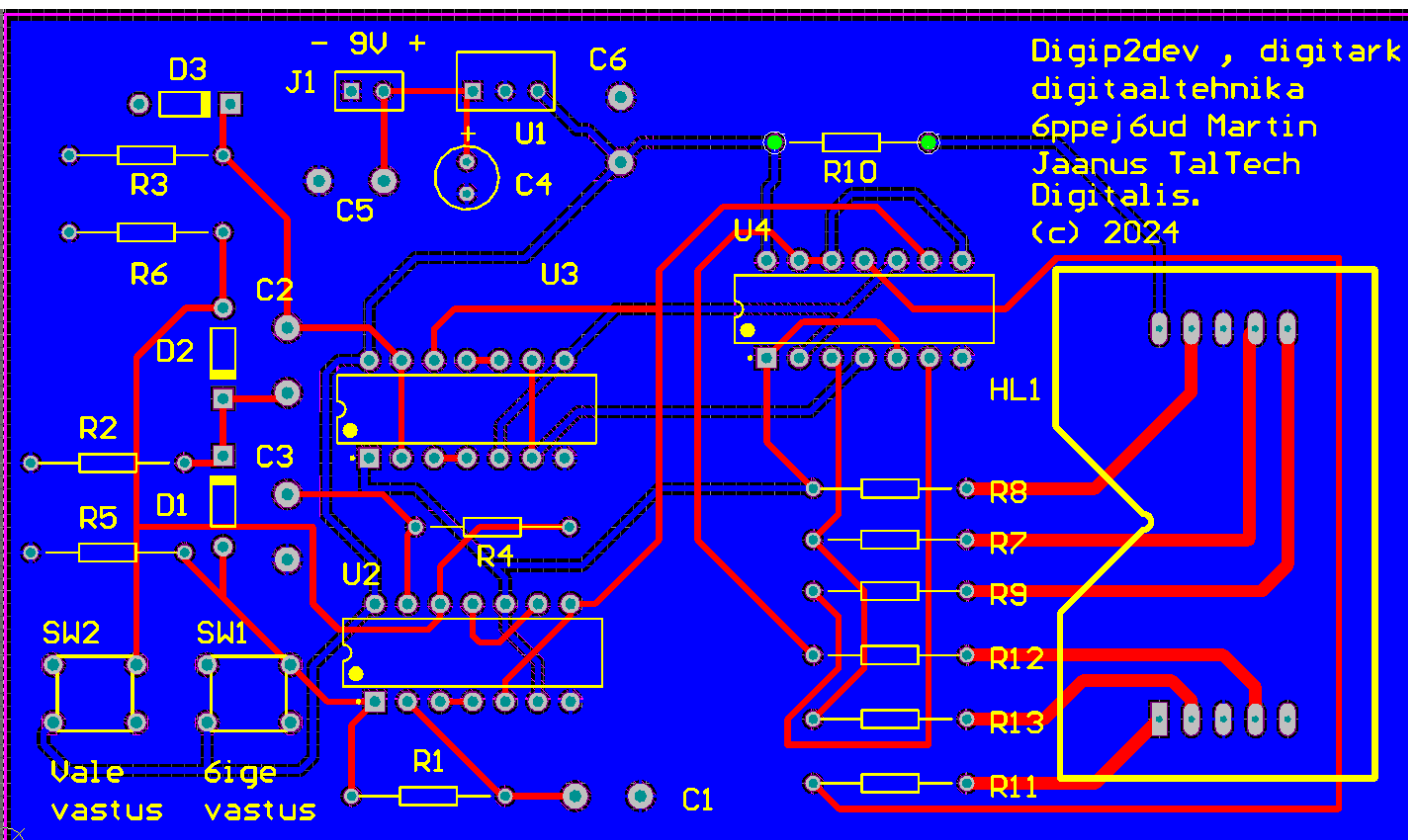
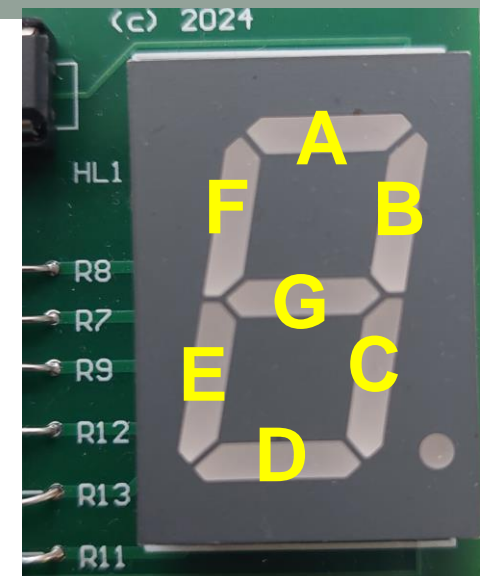


2024

Plaat ja väliskuju

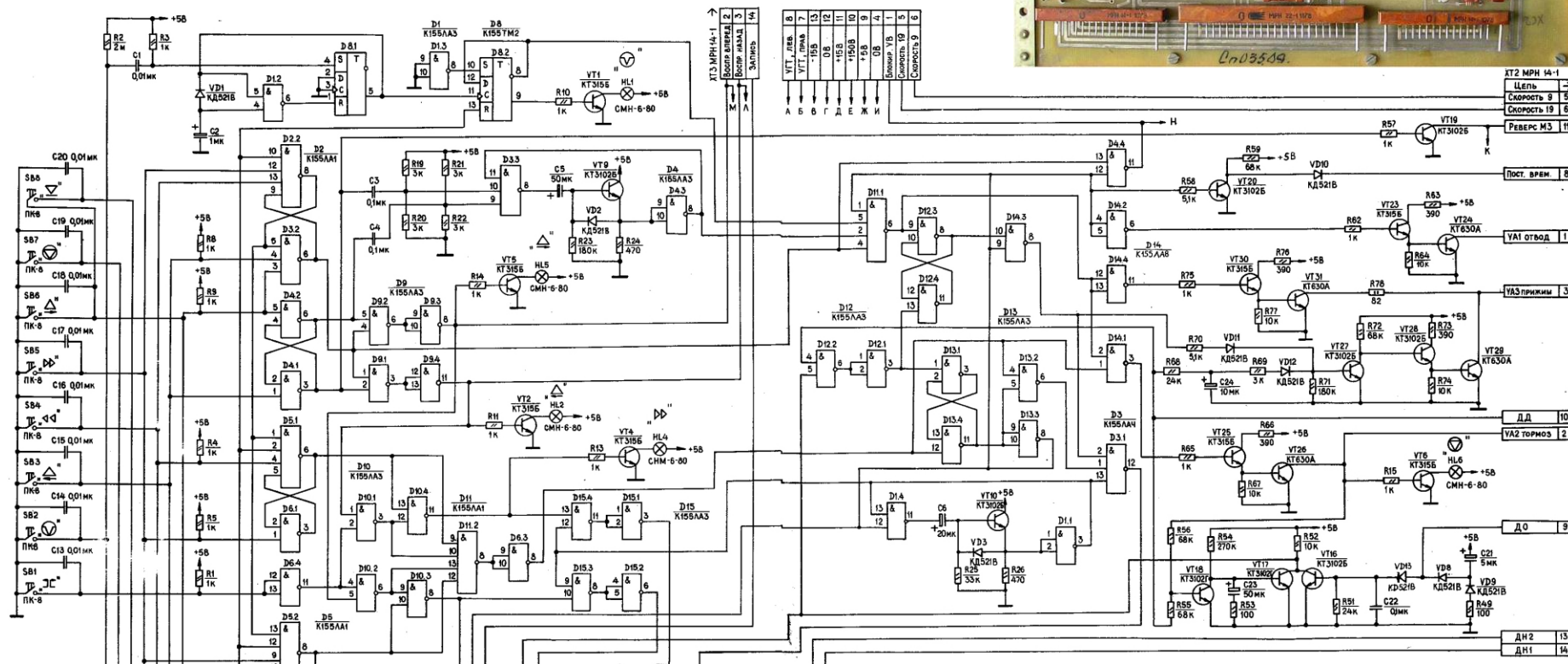
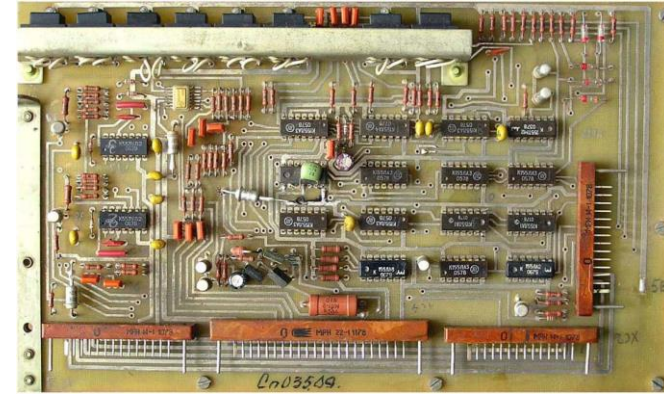
Õppuri vastus	Õppriõu tuju	Hinne	A	B	C	D	E	F	G
0	0	2	X	X		X	X		X
0	1	3	X	X	X	X			X
1	0	4		X	X			X	X
1	1	5	X		X	X		X	X

Dekoodri olekutabel



Keerulisem digitaalautomaat

- Näitena magnetofoni Elektronika TA1-003 juhtautomaatika (1980, fragment)



Sama asi mikrokontrollerit kasutades

- (MJ 2017)

