

Digitaalitehnika

Loengukonspekt

Sisukord

| | |
|--|----|
| Sisukord | 2 |
| 1. Arvusteemid | 4 |
| 1.1. Kümneksüsteem | 4 |
| 1.2. Kahendsüsteem | 4 |
| 1.3. Kaheksandsüsteem | 4 |
| 1.4. Kuueteistkümne süsteem | 4 |
| 1.5. Kahendkodeeritud kümneksüsteem 8421 | 5 |
| 1.6. Kahendkodeeritud kümneksüsteemid 2421 ja liiaga 3 | 5 |
| 1.7. Arvu teisendamine kaheksandsüsteemist kahendsüsteemi | 6 |
| 1.8. Arvu teisendamine kahendsüsteemist kaheksandsüsteemi | 6 |
| 1.9. Arvu teisendamine kuueteistkümneksüsteemist | 6 |
| 1.10. Arvu teisendamine kahendsüsteemist kuueteistkümneksüsteemi | 6 |
| 1.11. Arvu teisendamine kümneksüsteemist kahend-, kaheksand- ja kuueteistkümneksüsteemi | 7 |
| Täisarvu teisendamiseks jagatakse seda süsteemi alusega ja jääk kirjutatakse kõrvale. | 7 |
| 1.12. Aritmeetilised operatsioonid kahendsüsteemis | 8 |
| 1.12.1. Positiivsete arvude liitmine | 8 |
| 1.12.2. Algebraalne liitmine pöörkoondis | 8 |
| 1.12.3. Algebraalne liitmine täiend koodis | 8 |
| 2. Loogikafunktsioonid | 10 |
| 2.1. Loogikafunktsioon ja loogika seade | 10 |
| 2.2. Ühe argumendi loogikafunktsioonid | 10 |
| 2.3. Kahe argumendi loogikafunktsioonid | 11 |
| 2.4. Loogikaseadused | 12 |
| Loogikaelemendid | 14 |
| 3.1. Loogikalülituste liigid | 14 |
| 3.2. Loogikaelemendid diskreetelenemdid | 14 |
| 3.2.1. Diodelement VÕI | 14 |
| 3.2.2. Diodelement NING | 14 |
| 3.2.3. Transistorelement EI ehk inverter | 15 |
| 3.3. Integraalsete loogika elementide skeemitehniline liigitus | 15 |
| 3.4. Loogikaelementide parameetrid | 15 |
| 3.5. Diod-transistor loogika DTL | 17 |
| 3.6. Transistor transistor loogika TTL | 17 |
| 3.6.1. TTL tööpõhimõte | 17 |
| 3.6.2. Keerulise inverteriga TTL | 18 |
| 3.7. MOP loogika | 18 |
| 3.7.1. n-MOP loogika | 19 |
| 3.7.2. Komplementaarne MOP-CMOS | 19 |
| 4. Kombinatsioonseadmete süntees | 21 |
| 4.1. Loogikafunktsiooni täielik disjunktiivne normaalkuju ehk TDNK | 21 |
| 4.2. Täielik konjunktiivne normaalkuju TKNK | 21 |
| 4.3. Loogikafunktsioonide lihtsustamine Karnaugh' kaartide meetodil | 22 |

| | |
|---|----|
| 5. Integraalsed trigerid | 23 |
| 5.1. NING-EI ja VÕI-EI | 23 |
| 5.1.1. Elementide aktiivsed ja passiivsed nivood. | 23 |
| 5.1.2. Trigeri mõiste..... | 23 |
| 5.1.3. Kasutatud tähised..... | 23 |
| 5.1.4. Trigerite liigid..... | 23 |
| 5.2. Asünkroonsed trigerid..... | 24 |
| 5.2.1. Otsesisenditega RS-triger..... | 24 |
| 5.2.2 Inverseeritud sisenditega RS-triger..... | 25 |
| 5.3. Sünkroonsed trigerid..... | 26 |
| 5.3.1 RS-triger..... | 26 |
| 5.3.2. D-Triger | 27 |
| 5.4. Sünkroonsed kahetaktilised trigerid..... | 27 |
| 5.4.1. JK-Triger..... | 28 |
| 5.4.2. T-triger ehk loendustriger | 28 |
| 6. Koodrid, dekodeerid ja koordineerid | 29 |
| 6.1. Koodrid ehk šifraatorid..... | 29 |
| 6.2. Dekodeerid ehk dešifraatorid | 30 |
| 6.3. Dekodeeri kasutamine 7 segmendilise indikaatori juhtimiseks..... | 30 |
| 6.4. Koodimeerid..... | 31 |
| 7. Kommutaatorid | 31 |
| 7.1. Multiplekser | 31 |
| 7.2. Demultiplekser..... | 32 |
| 8. Registreerid..... | 32 |
| 8.1. Üldist..... | 32 |
| 8.2. Nihkeregister..... | 32 |

1. Arvusüsteemid

1.1. Kümnendsüsteem

Sümbolite arv ehk süsteemi alus $p=10$, sümbolid on: 0,1,2,3,4,5,6,7,8,9

Iga number paikneb arvus kindlal positsioonil ehk järgus. Järkude kaalud vasakul pool koma on $10^0, 10^1, 10^2$, jne, ning paremal pool koma $10^{-1}, 10^{-2}$, jne.

Näide:

$$x \cdot 10^n$$
$$543,712_{10} = 5 \cdot 10^2 + 4 \cdot 10^1 + 3 \cdot 10^0 + 7 \cdot 10^{-1} + 1 \cdot 10^{-2} + 2 \cdot 10^{-3}$$

10^n – järkude kaal
 x – kaalude arvuline kordaja

1.2. Kahendsüsteem

Süsteemi alus ehk sümbolite arv $p=2$, sümbolid on 0 ja 1. Järkude kaalud vasakul pool koma on $2^0, 2^1, 2^2$, jne ja paremal pool koma $2^{-1}, 2^{-2}, 2^{-3}$, jne.

Näide:

$$10011,001_2 = 1 \cdot 2^4 + 0 \cdot 2^3 + 0 \cdot 2^2 + 1 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0 + 0 \cdot 2^{-1} + 0 \cdot 2^{-2} + 1 \cdot 2^{-3} =$$
$$= 1+2+0+0+16+0+0+0,125 = 19,125_{10}$$

1.3. Kaheksandsüsteem

Sümbolite arv ehk süsteemi alus $p=8$, sümbolid on 0,1,2,3,4,5,6,7. Järkude kaalud vasakul pool koma on 8⁰, 8¹, 8², jne ja paremal pool koma 8⁻¹, 8⁻², 8⁻³, jne.

Näide:

$$253,128 = 3 \cdot 80 + 5 \cdot 81 + 2 \cdot 82 + 1 \cdot 8^{-1} + 2 \cdot 8^{-2}$$
$$= 3 + 40 + 128 + \frac{8}{8} + \frac{64}{32} = 3 + 40 + 128 + 1 + 2 = 171,5$$
$$= 171,15625_{10}$$

1.4. Kuueteistkümnend süsteem

Sümbolite arv ehk süsteemi alus $p=16$, sümbolid on 0,1,2,3,4,5,6,7,8,9,A,B,C,D,E,F.

Järkude kaalud vasakul pool koma on 16⁰, 16¹, 16², jne ja paremal pool koma 16⁻¹, 16⁻², 16⁻³, jne.

| | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|
| 16 sūs | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | A | B | C | D | E | F |
| 10 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| süs | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|

Näide: $A7F, B6E_{16} = 15 \cdot 16^0 + 7 \cdot 16^1 + 10 \cdot 16^2 + 11 \cdot 16^3 + 6 \cdot 16^4 + 14 \cdot 16^5 = 2687,714$

1.5. Kahendkodeeritud kümnendsüsteem 8421

BCD Binary Code

Kahendkodeeritud kümnendsüsteemis saadakse number 8421 spikri abil. Kui meil on tarvis saada number üheksa selles süsteemis siis:

8421
9 1001

Võtame need numbrid mis on vajalikud 9 saamiseks liidame, antud juhul 8 ja 1, nende numbrite alla kirjutame ühed. Nende numbrite alla mida me ei liida nende alla kirjutame nullid. Seega saame, et number üheksale vastab kahendkodeeritud kümnendsüsteemis 1001.

Mitme kohale arv kodeeritakse kümnend koodis kuid iga selle number esitatakse kahend koodis.

Näide:

$925,867_{10} = 100100100101.100001100111_{8421}$

1.6. Kahendkodeeritud kümnendsüsteemid 2421 ja liiaga 3

| Kümnend arvud | Kahendkodeeritu kümnendsüsteemid | | |
|---------------|----------------------------------|------|----------|
| | 8421 | 2421 | liiaga 3 |
| 0 | 0000 | 0000 | 0011 |
| 1 | 0001 | 0001 | 0100 |
| 2 | 0010 | 0010 | 0101 |
| 3 | 0011 | 0011 | 0110 |
| 4 | 0100 | 0100 | 0111 |
| 5 | 0101 | 1011 | 1000 |
| 6 | 0110 | 1100 | 1001 |
| 7 | 0111 | 1101 | 1010 |
| 8 | 1000 | 1110 | 1011 |
| 9 | 1001 | 1111 | 1100 |

Kui me võtame kümnend arvud, mis annavad kokku kümme. Näiteks võtame 2 ja 8. Juhul kui nende summa on kümme siis 8421 kahendkodeeritud kümnend süsteemis on vastupidised koodid. Näiteks 2 ja 8 8421 kahendkodeeritu süsteemis(seal kus on null sinna paned ühe ja seal kus üks sinna nulli).

Kui on tarvis saada number 11 siis liidame 8421 kahendkodeeritud kümnend süsteemis 8, 2 ja 1, ehk siis tulemiks saame:

8421
11 1011 Seega number 11 vastav kahendkodeeritud kümnend süsteemis 1011.

Koodide 2421 ja liiaga 3 teineteist üheksani täiendavate arvude (0 ja 9, 1 ja 8, 2 ja 7) koodid on teineteise inversioonid.

1.7. Arvu teisendamine kaheksandsüsteemist kahendsüsteemi

Iga number tuleb kirjutada kolmejärgulise kahendarvuga.

Näide:

$$523,41_8 = 101010011,100001_2$$

Asi käib sama süsteemiga kui on 8421 süsteemis numbri saamine kuid siin kasutame abi valemit 421.

1.8. Arvu teisendamine kahendsüsteemist kaheksandsüsteemi

Näide:

$$11.101.111,01_2 = 011.101.111,01_2 = 357,2_8$$

1. esmalt pead jagama arvu kolmestesse osadesse, osadid eristavad punktid (.)
2. viimases seksioonis on üks number puudu jääb ainult kaks, sinna lisame ette nulli.
3. kasutades eelmise peatüki teooriat toimime vastupidiselt 421 valemi alusel

1.9. Arvu teisendamine kuueteistkümnendsüsteemist

Igale arvu järgule vastab kahendsüsteemis neli järku.

Üleviimine tehakse peatüki 1.7. analoogial ainult 8421 valemi alusel.

$$B8D,AE316_{16} = 101110001101,1010111000112_2$$

1.10. Arvu teisendamine kahendsüsteemist kuueteistkümnendsüsteemi

Näide:

NB! Siin olukorras on vaja lisada lõppu 3 nulli!

$$111111001010,10111_2 = 111111001010,10111000_2 = 1FCA,B8_8$$

1.11. Arvu teisendamine kümnendsüsteemist kahend-, kaheksand- ja kuuteistkümnendsüsteemi

Täisarvu teisendamiseks jagatakse seda süsteemi alusega ja jääk kirjutatakse kõrvale.

Näide:

$$55 \quad 10 \rightarrow 2$$

$$\begin{array}{r|l} 55 : 2 & 1 \\ 27 : 2 & 1 \\ 13 : 2 & 1 \\ 6 : 2 & 0 \\ 3 : 2 & 1 \\ 1 & 1 \end{array}$$

Vanimad järgud on allpool ja arv kirjutatakse vastusesse vasakult paremale, alates vanimast järgust.

$$\text{Vastus: } 55_{10} = 110111_2$$

Murdosa teisendamiseks korrutatakse seda süsteemi alusega ja saadud korrutise täis osa eraldatakse.

Näide:

$$0,58 \quad 10 \rightarrow 2$$

$$\begin{array}{rcl} 0,58 \times 2 & = & 1,16 \\ 0,16 \times 2 & = & 0,32 \\ 0,32 \times 2 & = & 0,64 \\ 0,64 \times 2 & = & 1,28 \\ 0,28 \times 2 & = & 0,56 \\ 0,56 \times 2 & = & 1,12 \\ 0,12 \times 2 & = & 0,24 \\ 0,24 \times 2 & = & 0,48 \end{array} \quad 0,58_{10} = 0,1001.0100$$

Ülesanne:

Teisenda $753,21_{10}$ kaheksand- ja kuuteistkümnend süsteemi.

$$\begin{array}{r|l} 753 : 8 & 1 \\ 94 & 6 \\ 11 & 3 \\ 1 & 1 \end{array} \quad \begin{array}{r|l} 0,21 \times 8 & 1,68 \\ 0,68 \times 8 & 5,44 \\ 0,44 \times 8 & 3,52 \\ 0,52 \times 8 & 4,16 \end{array}$$

$$753,21_{10} = 1361,1534_8$$

$$753,21_{10} \quad 10 \rightarrow 16$$

$$\begin{array}{r|l} 753 : 16 & 1 \\ 47 & F \\ 2 & 2 \end{array} \quad \begin{array}{r|l} 0,21 \times 16 & 3,36 \\ 0,36 \times 16 & 5,76 \\ 0,76 \times 16 & C,16 \\ 0,16 \times 16 & 2,56 \end{array}$$

1.12. Aritmeetilised operatsioonid kahendsüsteemis

1.12.1. Positiivsete arvude liitmine

Näide 1: 0 1011 esile toodud null mõlema numbriga ees tähistab positiivset arvu
Näide 2: 0 1101 0 = positiivne 1 = negatiivne

Ülesanded:

$$\begin{array}{r} 1111 \\ 001011 \\ +001101 \\ \hline 011000 \end{array}$$

1.12.2 Algebraine liitmine pöörkoendis

Et saada õiget tulemust positiivse ja negatiivse arvu liitmisel tuleb negatiivne arv viia pöörkoodi. Selleks tuleb inverteerida kõik arvujärgud välja arvatud märgijärk.

Näide 1:
 $N_1 = 011010$
 $N_2 = 101000$
 $N_2 \text{ pöörd} = 110111$

$$\begin{array}{r} 1111 \\ 011010 \\ +110111 \\ \hline 110001 \\ 1 \\ +010010 \end{array}$$

Märgi järgust tekkinud ülekande liidetakse juurde noorimale järgule.
Kui tulemus on positiivne siis pole saadud vastust enam teisendada vaja.

Näide 2:
 $N_1 = 111010$
 $N_2 = 001000$
 $N_{1\text{pöörd}} = 100101$

$$\begin{array}{r} 100101 \\ +001000 \\ \hline 101101 \end{array}$$

Kui liitmise tulemus on negatiivne, tuleb see lõpliku tulemuse saamiseks viia pöörkoodist otsekoodi. Selleks tuleb inverteerida kõik arvu järgud välja arvatud märgijärk.

$N_1 + N_2 = 110010$
 $6 + (-4) = 2$
 $-6 + 4 = -2$

1.12.3. Algebraine liitmine täiend koodis

Negatiivse arvu täiendkoodi viimiseks inverteeritakse kõik arvujärgud välja arvatud märgi järk ja noorimale järgule liidetakse üks.

| | |
|------------------------------|---|
| Näide 1: | $\begin{array}{r} 111 \\ 011010 \\ + 110111 \\ \hline 010010 \end{array}$ |
| $N_1 = 011010$ | |
| $N_2 = 101000$ | |
| $N_{2\text{pöörd}} = 110111$ | $N_1 + N_2 = 010010$ |

Täiend koodis ei ole vaja arvestada märgi järgust tekkivat ülekannet.

| | | | |
|----------------|---|---|---|
| Näide 2: | $\begin{array}{r} 100101 \\ + 000001 \\ \hline 100110 \end{array}$ | $\begin{array}{r} 001000 \\ + 100110 \\ \hline 101110 \end{array}$ | $\begin{array}{r} 110001 \\ + 000001 \\ \hline 110011 \end{array}$ |
| $N_1 = 111010$ | $N_{\text{täiend}} = 100110$ | | |
| $N_2 = 001000$ | | | |

Kui liitmise tulemus on negatiivne tuleb see lõpliku vastuse saamiseks viia täiendkoodist otse koodi. Selleks tuleb inverteerida kõik arvu järgud väljaarvatud märgi järk ja noorimale järgule liita 1.

Kodus _:

$N_1 = 10111$

$N_2 = 00001$

Liita N_1 ja N_2 pöörd ja täiend koodis.

2. Loogikafunktsioonid

2.1. Loogikafunktsioon ja loogika seade

Loogikaalgebra ehk Boole'i algebra on matemaatilise loogika üks osa ja seda nimetatakse ka lause arvutuseks. Kui lause on tõene, siis tähistatakse seda numbriga üks ja kui lause on väär siis tähistatakse seda numbriga null. Muutujat mille väärtus võib olla kas null või üks nimetatakse kahendmuutujaks. Nulli nimetatakse loogiliseks nulliks ja ühte loogiliseks üheks. Sõltumatuid muutujaid (sisendeid) nimetatakse argumentideks. Neist sõltuvaid muutujaid (väljundeid) nimetatakse funktsioonideks. Loogika funktsiooni kõik argumentid on loogilised muutujad, millel on kaks väärtust null või üks. Funktsioone mis võivad omandada väärtusi null või üks nimetatakse loogika funktsioonideks.

Seadmeid mis formeerivad loogika funktsioone nimetatakse loogika ehk digitaalsetadmeteks.

Kahendkoodi sisestamis ja väljastamis viiside järgi jaotatakse loogika seadmed:

1. Jadatoimega – kus üks takt sisaldab ainult ühe bitti ja ühe bitti kaupa saadakse ka väljund signaal.
2. Rööptoimega – kus kõik bitid sisestatakse korraga ja saadakse ka rööpväljunditest korraga.
3. Segatoimega – kus rööpinfo muudetakse jadainfoks või vastupidi.

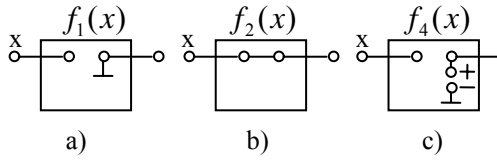
Tööpõhimõtte järgi jaotatakse loogika seadmed:

1. Kombinatsioon seadmed (mäluta) – kus väljund signaal on määratud ainult antud hetkel sisendis toimivate signaalidega ja ei sõltu seadme eelmistest olekutest. Näiteks summaator
2. Järjestik seadmed (mäluga) – kus väljund signaal sõltub nii momendi sisendites toimivatest signaalidest kui ka seadme eelmistest olekutest. Näiteks loendur.

2.2. Ühe argumenti loogikafunktsioonid

n argumenti korral on argumentide kombinatsioonide arv 2^n ja funktsioonide arv 2^{2^n} , kui $n=1$ siis kombinatsioone on 2 ja funktsioone 4. Kui $n=2$, siis on vastavad arvud 4 ja 16. Kui $n=3$, siis 8 ja 256.

| Ühe argumentiga loogikafunktsioon | | | | |
|-----------------------------------|------------|------------|-----------------|------------|
| Argument | Funktsioon | | | |
| 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 1 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| Funkt. nimetus | Konstant 0 | x kordus | x eitus | Konstant 1 |
| Funkt. tähistus | $f_1 = 0$ | $f_2 = x$ | $f_3 = \bar{x}$ | $f_4 = 1$ |



Ühe argumendi funktsioone realiseerivad seadmed.

2.3. Kahe argumendi loogikafunktsioonid

| Funkt nr | Funktsiooni nimetus | Argumendi kombinatsioon x_1 0011 x_2 0101 seekutabel | Funktsiooni selgitus | Funktsiooni matemaatiline esitus | Loogika elemendi tähis |
|----------|---|---|--|--|------------------------|
| f_0 | Konstantne 0 | 0000 | Väljundis on alati signaal 0 | $f_0=0$ | |
| f_1 | Konjuktsioon e. loogiline korrutamine e. NING | 0001 | Väljundis on 1, kui kõikides sisendites on 1 | $f_1 = x_1 \cdot x_2$ $f_1 = x_1 x_2$ | |
| f_2 | x_2 keeld | 0010 | Väljundis on 1 kui $x_2=0$. kui $x_2=1$ siis on väljundis 0 sõltumata x_1 -st | $f_2 = x_1 \cdot \overline{x_2}$ | |
| f_3 | x_1 kordus | 0011 | | $f_3 = x_1$ | |
| f_4 | x_1 keeld | 0100 | | $f_4 = \overline{x_1} \cdot x_2$ | |
| f_5 | x_2 kordus | 0101 | | $f_5 = x_2$ | |
| f_6 | Mitte samaväärsus e. välistav VÕI | 0110 | Väljundis on 1 ainult siis kui sisendite olek on erinev | $f_6 = x_1 + x_2$ $f_6 = \overline{x_1} \cdot x_2 + x_1 \cdot \overline{x_2}$ | |
| f_7 | Disjunktsioon e. loogiline liitmine VÕI | 0111 | Väljundis on 1 kui kas või ühes sisendis on üks | $f_7 = x_1 + x_2$ $f_7 = x_1 \vee x_2$ | |

| | | | | | |
|----------|--|------|--|--|--|
| f_8 | Piere'i tehe e. disjunktsiooni eitamine VÕI-EI | 1000 | Väljundis on 0 kui kasvõi ühes sisendis on 1 | $f_8 = x_1 \downarrow x_2$ $f_8 = \overline{x_1 \vee x_2}$ $f_8 = \overline{x_1} \cdot \overline{x_2}$ | |
| f_9 | Samaväärsus | 1001 | Väljundis on üks kui $x_1=x_2$ | $f_9 = x_1 \cdot x_2 + \overline{x_1} \cdot \overline{x_2}$ | |
| f_{10} | x_2 inversioon | 1010 | Väljundis on 1 kui $x_2=0$ ja 0 kui $x_2=1$ | $f_{10} = \overline{x_2}$ | |
| f_{11} | x_1 implikatsioon | 1011 | Väljundis on 0 ainult siis kui ??? | $f_{11} = x_2 \rightarrow x_1$ $f_{11} = x_1 \cdot \overline{x_2}$ | |
| f_{12} | x_1 inversioon e. x_1 eitus | 1100 | | $f_{12} = \overline{x_1}$ | |
| f_{13} | x_2 implikatsioon | 1101 | Väljundis on null ainult siis kui $x_1=1$ ja $x_2=0$ | $f_{13} = x_1 \rightarrow x_2$ $f_{13} = \overline{x_1} + x_2$ | |
| f_{14} | Shefferi tehe e. konjunktsiooni inversioon NING-EI | 1110 | Väljundis on 0 kui kõik sisendid on 1 | $f_{14} = x_1 x_2$ $f_{14} = \overline{x_1 \cdot x_2}$ | |
| f_{15} | Konstantne 1 | 1111 | Väljundis on alati signaal 1 | $f_{15}=1$ | |

2.4. Loogikaseadused

1. Domineerimisseadus I

$$0 \cdot a \cdot b \cdot c \cdot \dots = 0$$

2. Domineerimisseadus II

$$1 + a + b + c + \dots = 1$$

3. Samaväärsus

$$a \cdot a = a \quad a + a = a$$

4. Eituse eitamise seadus

$$\overline{\overline{a}} = a$$

5. Komplementaarsus- ehk täiendiseadus

$$a \cdot \overline{a} = 0 \quad a + \overline{a} = 1$$

6. Konmuktiivsusseadus

$$a \cdot b = b \cdot a \quad a + b = b + a$$

7. Assotsiatiivsusseadus

$$a \cdot (b \cdot c) = (a \cdot b) \cdot c = a \cdot b \cdot c$$

$$a + (b + c) = (a + b) + c = a + b + c$$

8. Distributiivsusseadus

$$a \cdot (b + c) = a \cdot b + a \cdot c$$

$$a + b \cdot c = (a + b) \cdot (a + c)$$

9. Neelduvusseadused

$$a \cdot (a + b) = a$$

$$a \cdot (a + b) \cdot (a + c) \dots \cdot (a + w) = a$$

$$a + a \cdot b = a$$

$$a + a \cdot b + a \cdot c + \dots + a \cdot w = a$$

$$a \cdot (\bar{a} + b) = a \cdot b$$

$$a + \bar{a} \cdot b = a + b$$

10. Kleepimisseadus

$$a \cdot b + a \cdot \bar{b} = a$$

$$(a + b) \cdot (a + \bar{b}) = a$$

$$(a + b) \cdot (\bar{a} - c) \cdot (b + c) = (a + b) \cdot (\bar{a} + c)$$

$$(a + b) \cdot (\bar{a} + c) = a \cdot c + \bar{a} \cdot b$$

11. De Morgani seadused

$$\overline{a \cdot b} = \bar{a} + \bar{b}$$

$$\overline{a + b} = \bar{a} \cdot \bar{b}$$

$$a \cdot b \cdot c \dots \cdot w = \bar{a} + \bar{b} + \bar{c} + \dots + \bar{w}$$

$$a + b + c + \dots + w = \bar{a} \cdot \bar{b} \cdot \bar{c} \dots \cdot \bar{w}$$

Loogikaelemendid

3.1. Loogikalülituste liigid

Enam kasutatavad loogikalülitused on:

1. Potentsiaal loogika
2. Impulss loogika

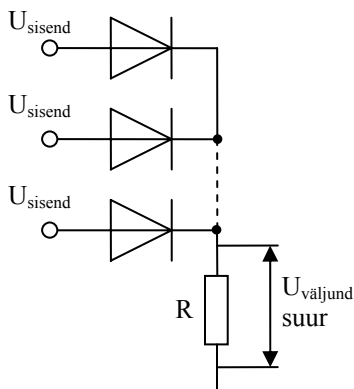
Potentsiaal loogikas kasutatakse loogilise 0 ja loogilise 1 esitamiseks kahte pinge nivood. Enam levinud on positiivne potentsiaal loogika, kus kõrgele pinge nivoole vastab üks ja madalale 0.

Negatiivse loogika puhul on vastupidi.

Impulss loogika puhul on 1 ja 0 määratud vastavalt impulsi olemasolu ja puudumisega.

3.2. Loogikaelemendid diskreetelenemdid.

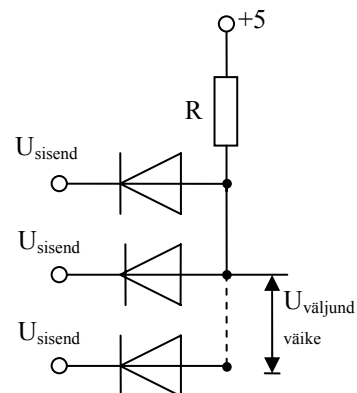
3.2.1. Diodelement VÕI



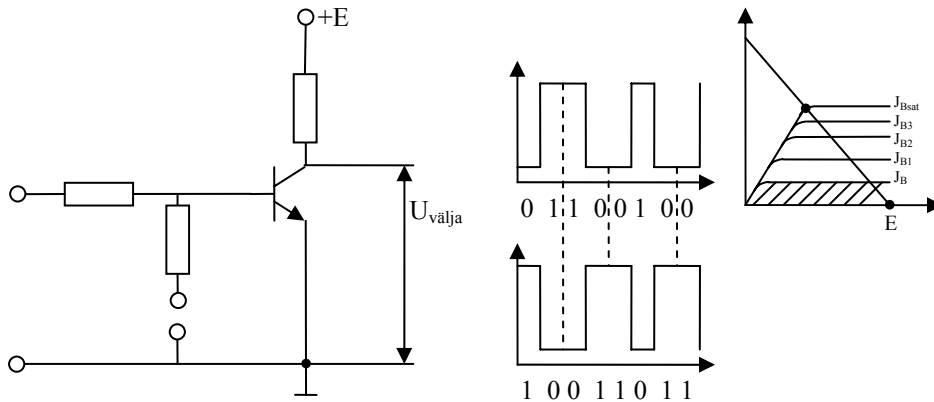
Kui mõnes sisendis on loogiline 1 (impulss või kõrge potentsiaal), siis vastav diod avaneb ja vool läbib avanenud diodi ja takistit R. Takistil tekib kõrge pinge ehk loogiline 1. Ükskõik mitmest sisendis on loogiline üks on väljundis sammuti loogiline üks. Kui R_F on tunduvalt väiksem kui R, siis on väljundpinge võrdne sisendpingega olenemata avanenud diodide arvust. Kui kõikides sisendites on 0 siis on kõik diodid suletud ja väljundis on 0.

3.2.2. Diodelement NING

Kui mõnes sisendis on 0, siis on vastavad diodid avatud ja vool kulgeb läbi avatud diodi. Väljundis on madal potentsiaal ehk loogiline 0. Kui kõikides sisendites on 1, siis kõik diodid suletud ja väljundis on 1.



3.2.3. Transistorelement EI ehk inverter



Kui sisendis on madal potentsiaal ehk loogiline 0, siis on transistor sulgrežiimis. Tema kollektori pinge on suur $U_{CE} \sim E$ st väljundis on loogiline 1. Kui sisendis on kõrge potentsiaal ehk loogiline 1, siis töötab transistor küllastus režiimis kollektori pinge on väike $U_{CE} \sim E$ st väljundis on loogiline 0.

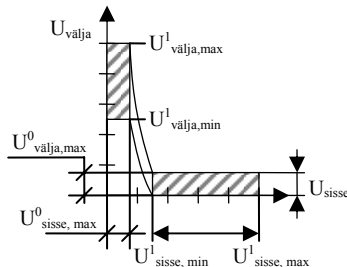
3.3. Integraalsete loogika elementide skeemitehniline liigitus

1. Otse sidestuses transistor loogika OSTL.
2. Takistus sidestuses transistor loogika RTL.
3. Takistus kondensaator sidestuses transistor loogika RCTL.
4. Diod transistor loogika DTL.
5. Transistor transistor loogika TTL.
6. Injektsioon integraal loogika I^2L .
7. Emitter sidestuses loogika ESL.
8. Loogika väljatransistoridel MOPL.

3.4. Loogikaelementide parameetrid

1. U^0_{sisse} ; U^1_{sisse} ; $U^0_{välja}$; $U^1_{välja}$; I^0_{sisse} ; I^1_{sisse} ; $I^0_{välja}$; $I^1_{välja}$
2. Minimaalne loogiliste nivooade vahe

$$U_{nim} = U^1_{nim} - U^0_{ma}$$



Ülekande tunnusjoon

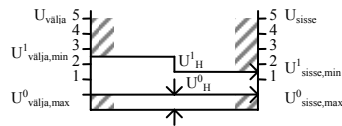
3. Staatiline häirekindlus U_H , see on loogika sisendisse antava pinge maksimaalväärtus, mis veel ei põhjusta skeemi ümberlülitumist. On olemas:

- a. Avatud skeemi häirekindlus teda sulgeda püüdvate häirete suhtes

$$U^1_{\text{sisse}} = U^1_{\text{välja, min}} = U^1_{\text{sisse, min}}$$

- b. Suletud skeemi häirekindlus teda avada püüdvate häirete suhtes

$$U^0_H = U^0_{\text{sisse, max}} - U^0_{\text{välja, max}}$$



4. Väljundis hargnemistegur ehk koormatavus n . see näitab mitu sama tüübilist skeemi võib üheaegselt ühendada antud lülituse väljundiga, et garanteerida nende ümber lülitumine. $n=4 \dots 50$
5. Sisendi koondumistegur m . see näitab mitu sisendit on lubatud ilma, et muutuks loogika elemendi väljund signaal. $m=2 \dots 30$

6. Keskmise võimsus tarve. $P_K = \frac{P_1 t_1 + P_2 t_2 + P_3 t_3}{T}$

P_1 - on tarbitav võimsus, suletud olekus

P_2 - tarbitav võimsus avatud olekus

P_3 - tarbitav võimsus lülituse üleminekul

t_1, t_2, t_3 - vastavate režiimide ajalsed kestused

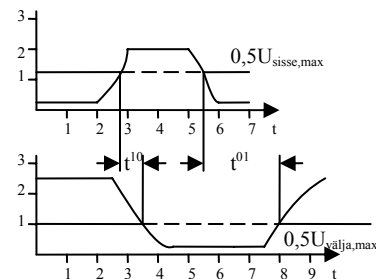
$$T = t_1 + t_2 + t_3$$

7. Hilistus ehk signaali levimise keskmine viide sisendist väljundisse.

$$t_h = \frac{t^{10} + t^{01}}{2}$$

t^{10} - viide väljundis, kseemi lülitumisel ühest nulli.

t^{01} - viide äljudnis skeemi lülitumisel nullist ühte.



8. Töökindlus see on tõrgete arv ajaühikus

$$\lambda \left[\frac{\varphi}{\lambda} \right] 10^{-9} \frac{1}{h}$$

9. Toitepinge E

3.5. Diiod-transistor loogika DTL

Punktis A on 1,6V
 Sisendiidil on 0,6V
 Transistor on suletud ja
 väljundis on 1.

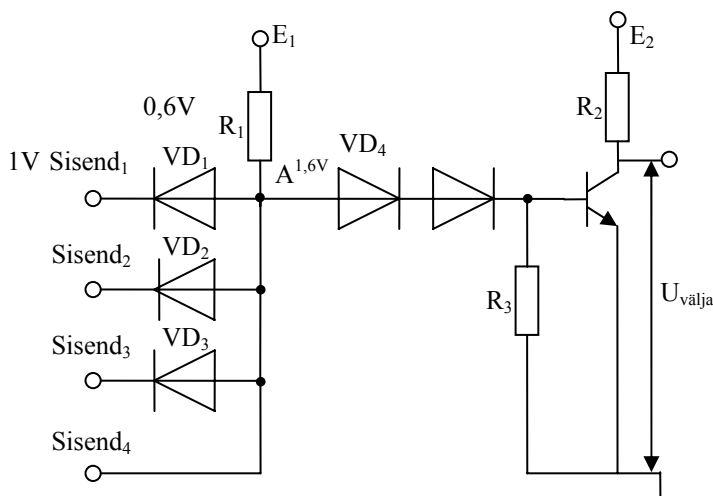
Joonisel on DTL
 baaselement. Element
 koosneb 2 osast: esimene
 osa koosneb
 sisenddiiodidest ja takistist
 R_1 , mis moodustavad
 elemendi NING.

Teine osa kujutab endast
 transistor inverterit, mille sisendisse on ühendatud nihke diiodid VDO, häirekindluse
 tõstmiseks. Kui anda ükskõik mitmesse sisendisse 0, siis vastavad diiodid avanevad, ning
 vool kulgeb läbi R_1 ja avanenud sisend diiodide.

Punkti A potentsiaal on madal, mistõttu ka transistori baasi potentsiaal on madal.
 Transistor on suletud ja väljundis on 1.

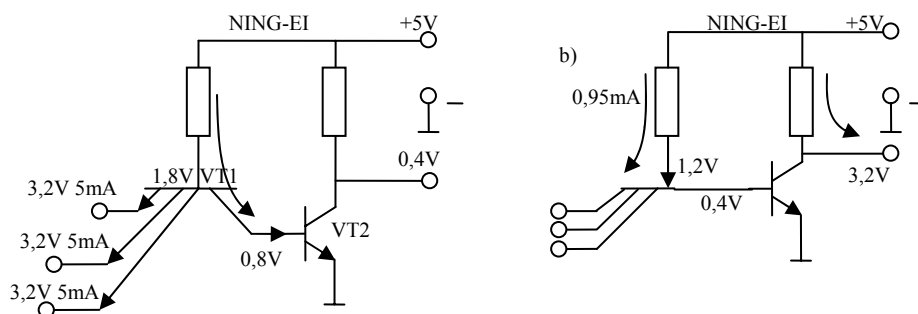
Kui anda kõikidesse sisenditesse 1 siis sisenddiiodid sulguvad ja E_1 hakkab toimima
 transistori baasile. Punkti A ja transistori baasi potentsiaalid on kõrged mistõttu transistor
 küllastub ja väljundis saadakse 0. Sisend 4 ehk otsesisend on täiendavate diiodide ehk
 loogilise laiendi juurde lülitamiseks.

DTL põhipuuduseks on suur hilistus.



3.6. Transistor transistor loogika TTL

3.6.1. TTL tööpõhimõte



TTL on tuletatud DTL-ist kusjuures kõik seal kasutatud põhimõtted on säilitatud.
 Erinevuseks on see et sisendis kasutatakse mitme emitterilist transistori (joonis a). olgu
 kõikides sisendites loogiline 1, sel juhul on VT1 emittersiirded vastupingega suletud.
 Vool kulgeb läbi VT1 avatud kollektorsiidre VT2 baasile. Väljundis saadakse 0.

Joonis b kui mõnes sisendis on loogiline 0, siis VT1 vastavad emittersiirded avanevad ja vool kulgeb läbi nende. VT1 on küllastuses. VT2 baasipinge on väike mis tõttu on VT2 suletud ja väljundis saadakse 1. Põhiliseks eeliseks on väiksem hilistus kui DTLis.

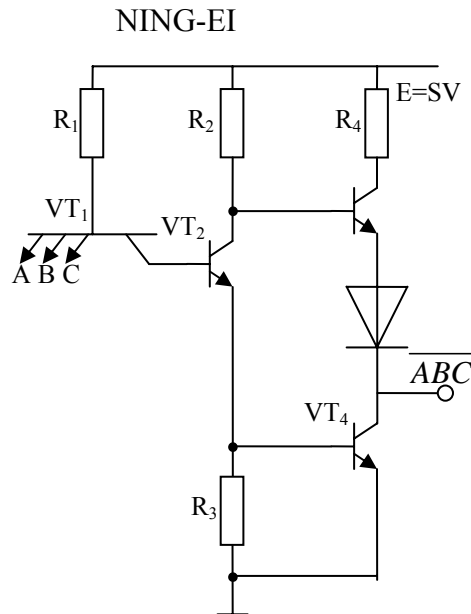
3.6.2. Keerulise inverteriga TTL

Kui kõikides sisendites on 1, siis on VT1 emittersiirded suletud ja vool kulgeb läbi R₁ VT2 baasile. VT2 avaneb ja R₃-l tekib suur pingelang, mis antakse VT4 baasile. VT4 küllastub ja väljundis on 0. R₂ ja R₃ valitakse nii et saamal ajal on VT₃ baasil väike pinge, mis hoiab VT₃ suletuna. Diod on selleks, et VT₃ oleks kindlalt suletud, kui VT₄ on küllastuses.

Kui mõnes sisendis on null, siis on VT₁ vastavad emittersiirded avatud ja VT₂ on suletud kuna VT₄ baasil on väike pinge, siis on VT₄ sammuti suletud ja väljundis on üks. Samal ajal on VT₃ baasil kõrge pinge, mistõttu VT₃ on avatud.

Takistis R₄ on VT₃ voolu piiramiseks.

Tänu keerulisele ja inverterile on väljundtakistus väike, nii asendis 1 kui asendis 0. Seetõttu on koormatavus suurem ja lülitusprotsessid kiiremad.



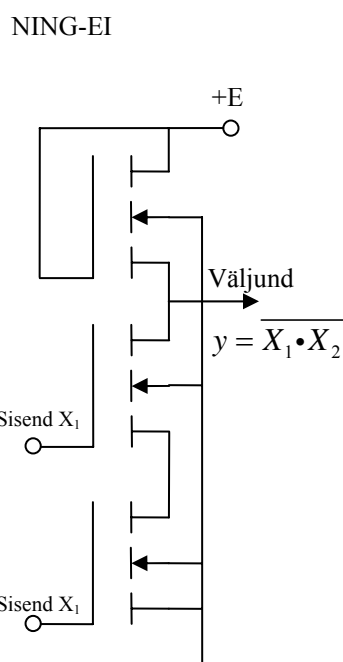
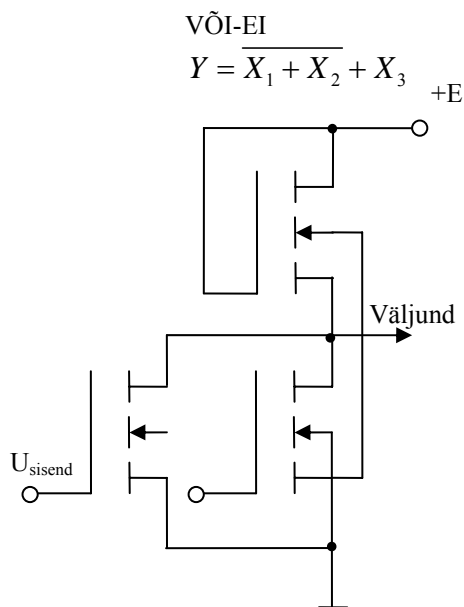
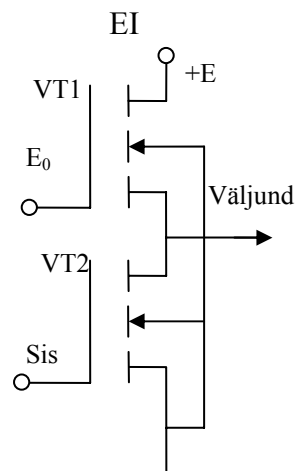
3.7. MOP loogika

Põhiliselt kasutatakse indutseeritava kanaliga väljatransistore, sest nende valmistamine on kõige lihtsam. Selline transistor võtab vähe ruumi, mille tulemusena saadakse integraallülitustes kõrge integratsiooniaste.

MOP-transistore kasutatakse ka takistitena, mistõttu loogika lülituste realiseerimiseks ei ole vaja muid elemente peale välja transistoride.

3.7.1. n-MOP loogika

Joonisel on inverterskeem ehk EI n-kanaliga väljatransistoridel. Transistor VT1 toimib takistina, mille takistus sõltub paisule antavast pingest E_0 kui sisendis on loogiline 1, siis on VT2-s kana, mistõttu tema takistus on väike ja väljundis saadakse 0 kui sisendis on 0, siis VT2 kanal puudub. Tema takistus on lõpmata suur ja väljundis on 1.

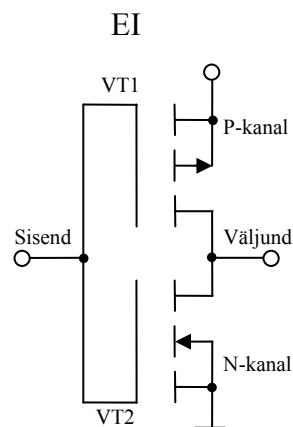


VÕI-EI - kui ühes või mitmes sisendis on 1 siis vastavates transistorides on kanalid ja väljundis saadakse 0. kui kõikides sisendites on 0 siis kõikides transistorides kanalid puuduvad väljundisse saadakse 1.

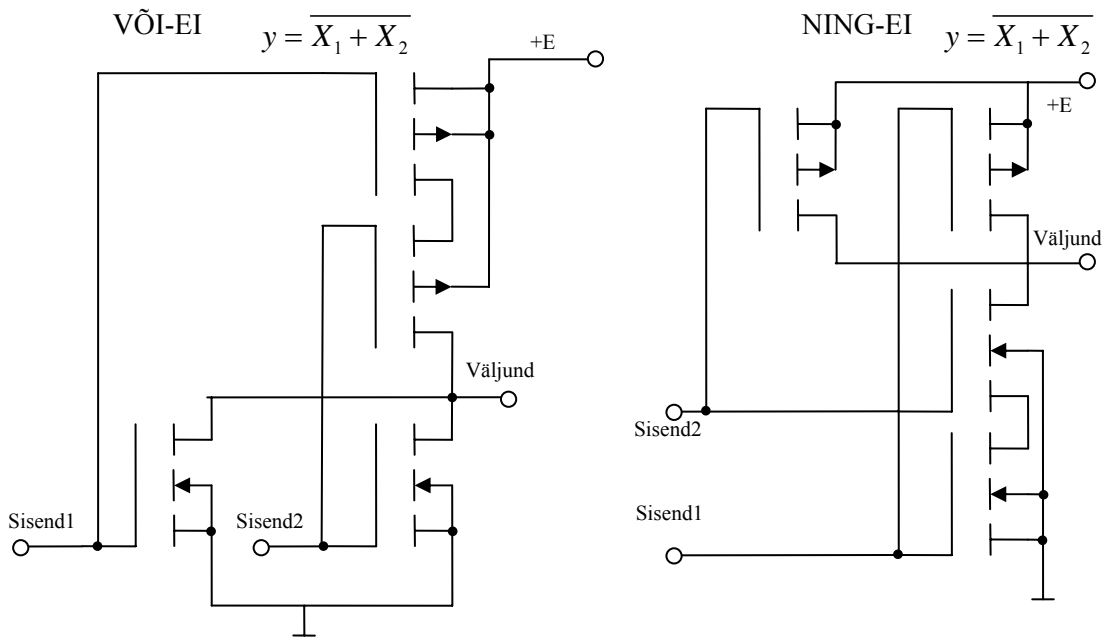
NING-EI – kui ühes või mitmes sisendis on null, siis vastavates transistorides kanalid puuduvad ja väljundis on 1. kui kõikides sisendites on 1, siis on kõikides transistorides kanalid ja väljundis saadakse 0.

3.7.2. Komplementaarne MOP-CMOS

Joonisel on inverteri skeem. P- ja N-kanaliga väljatransistoridega. Üks ja sama sisendpinge mõjub erineva kanaliga väljatransistoridel erinevalt. Kui anda sisendisse 1, siis VT2 tekib kanal. VT1 kanal puudub ja väljundisse saadakse 0. Kui sisendis on 0, siis VT2 kanal kaob, VT1 kanal tekib ja väljundis saadakse 1. mõlemas



väljakujunenud režiimis on üks transistoridest kinni ja inverter praktiliselt tarbi voolu. Voolu tarbimine esineb ainult inverteri lülitumistel.



| X1 | X2 | T ₁ ⁽¹⁾ | T ₁ ⁽²⁾ | T ₂ ⁽¹⁾ | T ₂ ⁽²⁾ | Y |
|----|----|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|---|
| 0 | 0 | - | - | + | + | 1 |
| 0 | 1 | - | + | + | - | 0 |
| 1 | 0 | + | - | - | + | 0 |
| 1 | 1 | + | + | - | - | 0 |

| X1 | X2 | T ₁ ⁽¹⁾ | T ₁ ⁽²⁾ | T ₂ ⁽¹⁾ | T ₂ ⁽²⁾ | Y |
|----|----|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|---|
| 0 | 0 | - | - | + | + | 1 |
| 0 | 1 | - | + | + | - | 1 |
| 1 | 0 | + | - | - | + | 1 |
| 1 | 1 | + | + | - | - | 0 |

4. Kombinatsiooniseadmete süntees

4.1. Loogikafunktsiooni täielik disjunktivne normaalkuju ehk TDNK

DNK on loogika funktsiooni esitamine rea liikmete disjunkttsioonina (summana), kus liikmed on argumentide või argumentide inversioonide elementtaar konjunktsioonid (korrutised). Elementtaar konjunktsioon on näiteks: $x_1 \cdot x_2 \cdot \overline{x_3}; \overline{x_2} \cdot x_3 \cdot x_4$.

Elementtaar konjunktsioon ei ole näiteks: $x_1 \cdot x_2 \cdot x_2; \overline{x_1} \cdot \overline{x_2} \cdot x_4; \overline{x_2} \cdot x_3 \cdot x_4$

TDNK puhul peavad kõik liikmed sisaldama funktsiooni kõiki argumente või nende inversioone. Üleminekuks DNK-lt TDNK-le tuleb iga liiget, kus puudub mõni argument laiendada avaldisega $x_i + \overline{x_i}$, kus x_i on liikmes puuduv argument.

Näide: Viia DNK-lt TDNK-le funktsioon

$$\begin{aligned} f(x_1; x_2; x_3) &= x_1 + x_2 \cdot x_3 = x_1 (x_2 + \overline{x_2}) (x_3 + \overline{x_3}) + (x_1 + \overline{x_1}) x_2 \cdot x_3 = \\ &= (x_1 \cdot x_2 + x_1 \cdot \overline{x_2}) (x_3 + \overline{x_3}) + x_1 \cdot x_2 \cdot \overline{x_3} + \overline{x_1} \cdot x_2 \cdot x_3 = \\ &= x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 + x_1 \cdot \overline{x_2} \cdot x_3 + \overline{x_1} \cdot x_2 \cdot x_3 + x_1 \cdot x_2 \cdot \overline{x_3} + \overline{x_1} \cdot x_2 \cdot x_3 = \\ &= x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 + x_1 \cdot \overline{x_2} \cdot x_3 + \overline{x_1} \cdot x_2 \cdot x_3 + x_1 \cdot x_2 \cdot \overline{x_3} + \overline{x_1} \cdot x_2 \cdot x_3 \end{aligned}$$

Kui oleku funktsioon on etteantud tabelina, siis saab TDNK otse tabelist välja kirjutada.

Näide:

| A | B | C | F |
|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 1 | 1 |
| 0 | 1 | 0 | 1 |
| 0 | 1 | 1 | 0 |
| 1 | 0 | 0 | 1 |
| 1 | 0 | 1 | 0 |
| 1 | 1 | 0 | 0 |
| 1 | 1 | 1 | 1 |

$$F = \overline{A} \overline{B} C + \overline{A} B \overline{C} + \overline{A} B C + A \overline{B} C$$

Igal funktsioonil on olemas ainult 1 TDNK.

4.2. Täielik konjunktiivne normaalkuju TKNK

KNK on funktsiooni esitamine realiikmete konjunktsioonina (korrutisena), kus iga liige on argumentide või argumentide inversioonide elementaardisjunkttsioon (summa). Üleminekuks KNK-lt TKNK-le tuleb iga liiget, mis ei sisalda kõiki argumente laiendada avaldisega $x_i \cdot \overline{x_i}$, kus x_i on liikmes puuduv argument.

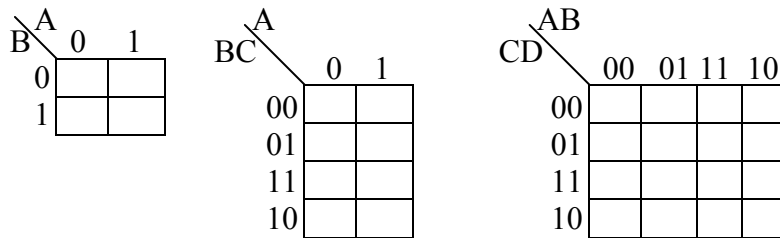
Kui algfunktsioon on antud tabelina saab TKNK otse tabelist välja kirjutada. Alguses võetakse argumentide kombinatsioonid funktsiooni 0 väärtuste korral, kusjuures argumendid invertteeritakse.

$$F = (A + B + C) \cdot (A + \bar{B} + \bar{C}) \cdot (\bar{A} + B + \bar{C}) \cdot (\bar{A} + \bar{B} + C)$$

Igal funktsioonil on olemas ainult 1 TKNK.

4.3. Loogikafunktsioonide lihtsustamine Karnaugh' kaartide meetodil

Karnaugh kaartide meetodit saab kasutada kuni 5 argumendi korra. Kaardid 2,3 ja 4 argumendi jaoks on järgmised.



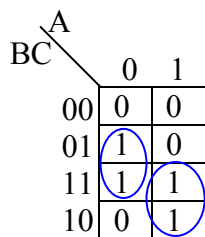
Kaardi iga ruut vastab argumentide väärtuste mingile kombinatsioonile. Kaardi ruutude arv on 2^n , kus n on argumentide arv. Kaardi igasse ruutu kirjutatakse funktsiooni väärtus antud argumentide kombinatsiooni jaoks. Üleminekul ühest ruudust naaber ruutu tohib muutuda ainult ühe argumentide väärtus. Sel juhul saab naaber ruutu kleepida kleepimisseaduse järgi.

Näiteks:

10;11;01;00

Minimaalne TNK leitakse järgmiselt. Kõik ruudud mis sisaldavad 1-te koondatakse külgepidi võimalikult suurtesse väljadesse, suurusega 1,2,4,8 ja 16 (2^n) ruutu, kus juures ühte võib haarata mitmesse välja ja väljad võivad osaliselt kattuda. Seejärel kirjutatakse täpselt määratud. Jäävad ära need argumentid, millel antud välja puhul on nii inversiooniga kui ka inversioonita väärtus.

| A | B | C | F |
|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 1 | 1 |
| 0 | 1 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 1 | 1 |
| 1 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 0 | 1 | 0 |
| 1 | 1 | 0 | 1 |
| 1 | 1 | 1 | 1 |



$$F = \bar{A}C + AB$$

$$F = \bar{A}\bar{B}C + \bar{A}BC + A\bar{B}\bar{C} + ABC =$$

$$= \bar{A}\bar{C}(\bar{B} + B) + AB(\bar{C} + C) = \bar{A}\bar{C} + AB$$

5. Integraalsed trigerid

5.1. NING-EI ja VÕI-EI

5.1.1. Elementide aktiivsed ja passiivsed nivood.

NING-EI elemendi aktiivseks nivooks on loogiline null, sest kui ühes sisendites on null, siis on väljundis kindlalt üks, hoolimata teisest sisendist. NING-EI elemendi passiivseks nivooks on loogiline üks. VÕI-EI elemendi aktiivseks nivooks on loogiline üks. Kui ühes sisendites on üks, siis on väljundis kindlalt null hoolimata teisest sisendist. VÕI-EI passiivseks nivooks on loogiline null.

5.1.2. Trigeri mõiste

Triger on seade, mis on ettenähtud loogilise muutuja ühejärgu (kahendarvu järgu) säilitamiseks. Trigeril on kaks stabiilset olekut, loogiline 1 ja loogiline 0. vajalikku olekusse viiakse triger sisend signaalide abil. Trigeril on kaks väljundit, otseväljund Q ja inversioon väljund \bar{Q} . Trigeri oleku määrab otseväljundis.

$Q = 0$ ($Q = 1$) triger on olekus null.

$Q = 1$ ($Q = 0$) triger on olekus üks.

5.1.3. Kasutatud tähised

R RESET – tagastus

Sisend trigeri viimiseks olekusse null.

S SET – asetama

Sisend trigeri viimiseks olekusse üks.

K KILL – hävitama

Sisend universaal trigeri viimiseks olekusse null.

J JUMP – hüppama

Sisend universaal trigeri viimiseks olekusse üks.

T TRIGGER – käivama loendusisend

D DELAY – viide

D DATA – info, andmed

Info sisend trigeri viimiseks olekusse, mis on antud sisendisse.

C CLOCK – takt, sünkroni. juhtsisend.

5.1.4. Trigerite liigid

Tööpõhimõtte järgi liigitatakse trigerit:

1. RS ehk seadesisenditega trigerid.
2. D ehk andmesisendiga trigerid.
3. JK ehk universaalsisenditega trigerid.
4. T ehk loendussisendiga trigerid.

Sisend signaalile reageerimise järgi jaotatakse trigereid:

1. Asünkroonset
2. Sünkroonset

Asünkroonsele trigerile mõjuvad sisendsignaalid alates saabumishetkest.

Sünkroonsele mõjuvad ainult sünkrosisendist saadud juhtsisendile C.

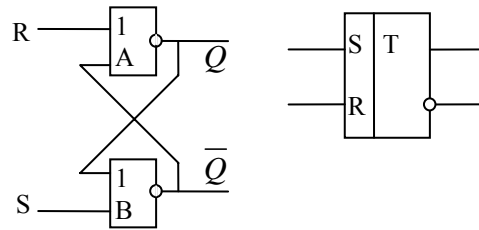
Sünkroonset trigerid jagunevad staatilise juhtimisega, kus trigeri ümberlülitumine toimub siis kui sünkrosisendis on null.

Dünaamilise juhtimisega kus trigeri ümberlülitamine toimub sünkrosignaali muutumisel nullist üheks või ühest nulliks. 1 taktised ja 2 taktised võivad olla.

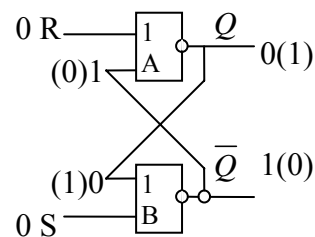
5.2. Asünkroonset trigerid

5.2.1. Otsesisenditega RS-triger

Triger koosneb kahest VÕI-EI elemendist, kus ühe väljund on ühendatud teise sisendiga. Selline lülitus tagab trigerile 2 stabiilset olekut.

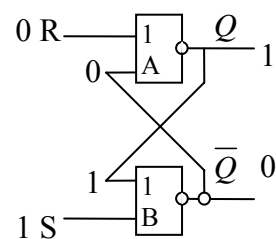


1) $S=0, R=0$



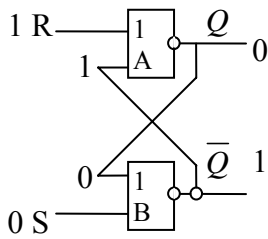
Need on VÕI-EI jaoks passiivsed nivood. Kui triger oli olekus 1, siis ta jääbki sellesse olekusse. Kui triger on olekus 0, siis jääb ta sammuti sellesse olekusse. Seega antud sisendite kombinatsiooni puhul trigeri olek ei muutu.

2) $S=1, R=0$



Kui $S=1$ siis $\bar{Q} = Q$, A sisendites on null ja null, ning $Q=1$. B sisendites on üks ja üks, ning $\bar{Q} = Q$. Selline olek säilib ka siis kui S muutub nulliks. Triger on asetatud ühte.

3) $S=0, R=1$



Kui $R=1$, siis $Q=0$. B sisendites on null ja null, ning $Q=1$. A sisendites on üks ja üks, ning $Q=0$. Selline olek säilib ka, siis kui R muuta nulliks. Triger on nullitud.

4) $S=1, R=1$

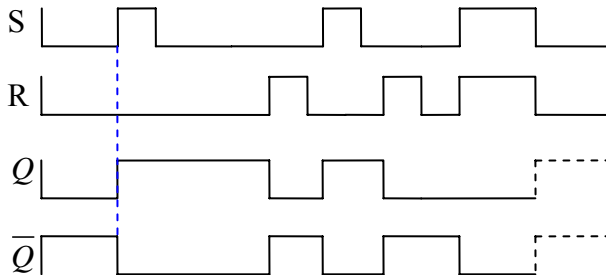
Mõlemad väljundid lähevad nulli. See ei saa olla püsiv, sest pärast sisendsignaalide mahavõtmist pole teada, mis tuleb väljundisse. Selline kombinatsioon on lubamatu.

| A | B | C | F |
|---|---|-------|------------------|
| 0 | 0 | Q_0 | $\overline{Q_0}$ |
| 0 | 1 | 0 | 1 |
| 1 | 0 | 1 | 0 |
| 1 | 1 | x | x |

Endine olek säilib
Nullitud
Asetatud nulli

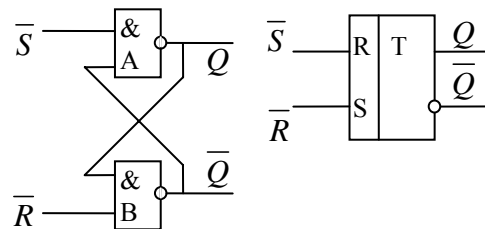
| BC | Q_0 | 0 | 1 |
|----|-------|---|---|
| 00 | | 0 | 1 |
| 01 | | 0 | 0 |
| 11 | | x | x |
| 10 | | 1 | 1 |

$$Q = S + Q_0 \overline{R}$$

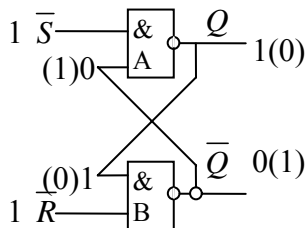


5.2.2 Inverseeritud sisenditega RS-triger

Siin kasutatakse NING-EI elemente. Aktiivne sisend nivoo on loogiline null ja passiivne nivoo on loogiline üks.



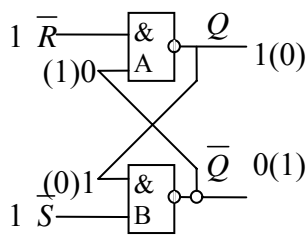
1) $\overline{S}=1, \overline{R}=1$



Siin kasutatakse NING-EI elemente. Aktiivseks sisend nivoo on loogiline null ja passiivseks loogiline üks.

Need on NING-EI jaoks passiivsed sisendid. Trigeri olek ei muutu

2) $\bar{S} = 1 \quad \bar{R} = 1$



Kui \bar{S} siis Q võrdub üks. B sisendites on üks ja üks, ning \bar{Q} . A sisendites on null ja null, ning Q võrdub üks. Kui \bar{S} muuta üheks siis Q võrdub endiselt üks. Triger on asetatud ühte.

3) $\bar{S} = 1 \quad \bar{R} = 0$

Kui \bar{R} võrdub null siis Q võrdub 1. Kui A sisendis on üks ja üks, siis Q võrdub null. B sisendites on null ja null, ning \bar{Q} võrdub üks. Q võrdub null ka siis, kui \bar{R} on ühes. Triger on nullitud.

4) $\bar{S} = 1 \quad \bar{R} = 0$

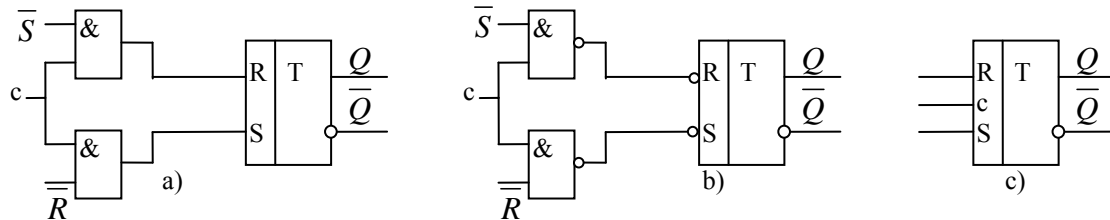
Mõlemad väljundid lähevad ühte. Pärast sisend signaalide kõrvaldamist ei ole teada, mis tuleb väljundisse. Selline sisendsignaali kombinatsioon on lubamatu.

| S | R | Q | \bar{Q} |
|---|---|-------|-------------|
| 0 | 0 | x | x |
| 0 | 1 | 1 | 0 |
| 1 | 0 | 0 | 1 |
| 1 | 1 | Q_0 | \bar{Q}_0 |

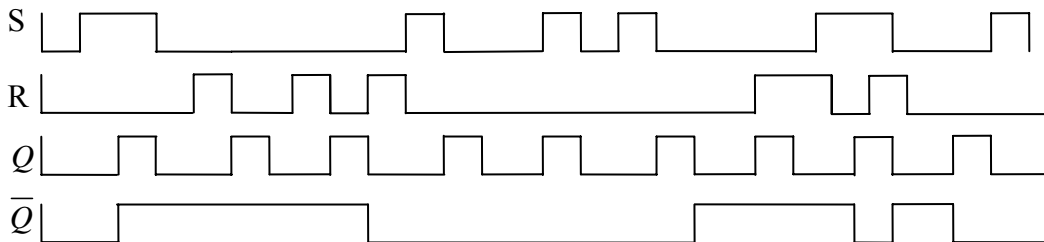
Keelatud
Asetatud ühte
Nullitud
Endine olek säilib

5.3. Sünkroonsed trigerid

5.3.1 RS-triger



Sünkroonne RS-triger kujutab endast asünkroonset RS-trigerit, mille sisendite ette on lülitatud NING või NING-EI elemendid. Kui sünkrosignaali C=0, siis triger säilitab endise oleku. Kui C=1, siis määratakse trigeri olek sammuti kui otsesisenditega RS-trigeri korra.

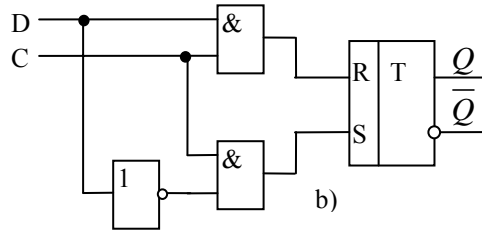


5.3.2. D-Triger

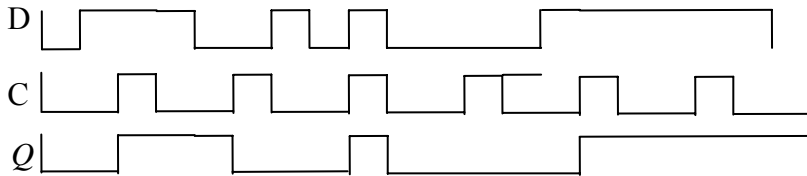
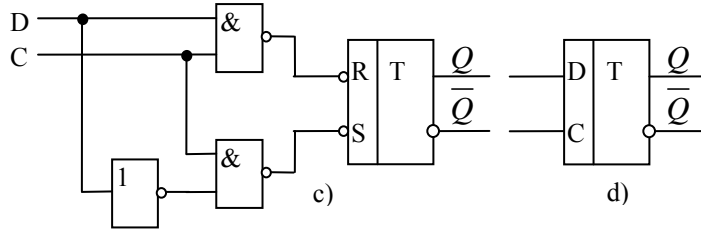
C=1

| D | Q |
|---|---|
| 0 | 0 |
| 1 | 1 |

a)



D-Trigeril on sünkroosisend C ja üks andmesisend infosisend D. Kui C=0, siis säilib endine olek. Kui C=1, siis võtab triger sama loogilise oleku mis on sisendis D.

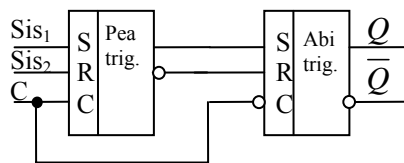


$$Q_0 = Q_0 \bar{C} + CD$$

| | | |
|----|-------|----|
| | Q_0 | |
| | 0 | 1 |
| BC | 00 | 01 |
| | 11 | 10 |
| | 0 | 1 |

5.4. Sünkroonsed kahetaktilised trigerid

Trigereid ühendatakse tihti järjestikku nii et eelmine juhib järgmist. Võib juhtuda nii et triger läheb uude olekusse enne kui eelnev signaal on läinud järgmisse trigerisse. Selle vältimiseks kasutatakse kahetaktilisi trigereid.



Kahetaktilised trigerid sisaldavad kahte sünkroonset trigerit, millistest üks on peatriger ja teine abitriger. Kui sünkrosignaali C=1, siis lülitub peatriger sisendsignaaliidega määratud olekusse. Abitriger sel ajal infot vastu ei võta kuna tema sünkroosisend on

inverteeritud. Kui sünkrosignaali C=0, siis peatriger ei reageeri infosisenditele läheb peatrigerist abitrigerile ja seega väljundisse.

Sageli on kahetaktilised trigerid dünaamilise juhtimisega, kusjuures väljundite olek määratakse sünkroimpulsi langul.

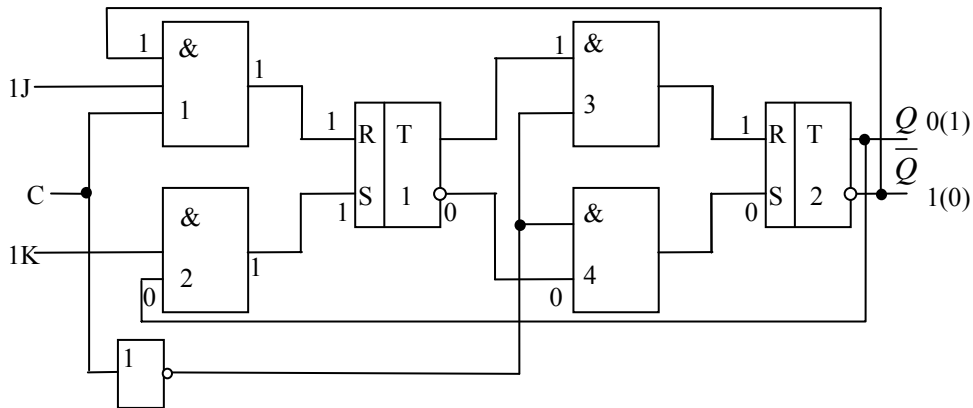
5.4.1. JK-Triger

| J | K | Q |
|---|---|----------------|
| 0 | 0 | Q ₀ |
| 0 | 1 | 0 |
| 1 | 0 | 1 |
| 1 | 1 | Q ₀ |

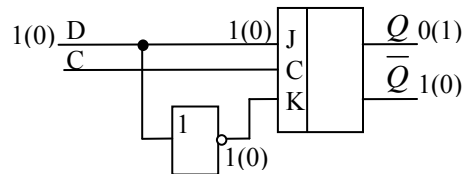
| JK | Q ₀ | |
|----|----------------|---|
| | 0 | 1 |
| 00 | 0 | 1 |
| 01 | 0 | 0 |
| 11 | 1 | 0 |
| 10 | 1 | 1 |

$$Q = Q_0 \bar{K} + \bar{Q}_0 J$$

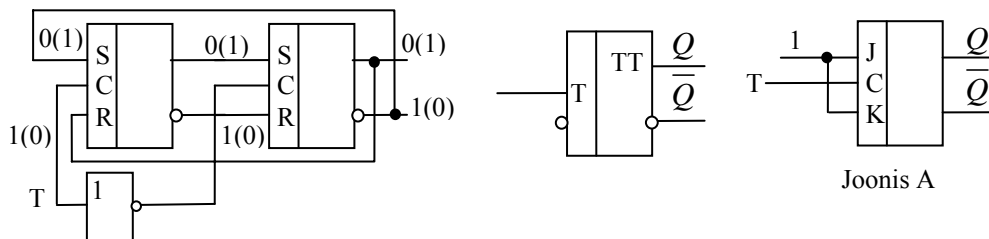
Trigeri olek sõltub nii trigeri sisend nivoodest kui ka trigeri eelnevast olekust Q₀.



JK-triger sisaldab kahte sünkroonset RS-trigerit kus abitriger on infosäilitajaks ja peatriger infovastuvõtjaks, siis arvestab nii sisendsignaalidega kui ka abitrigeri väljundsignaalidega. JK-trigerist on võimalik saada D-trigerit. D-triger on JK-trigeri baasil.



5.4.2. T-triger ehk loendustriger



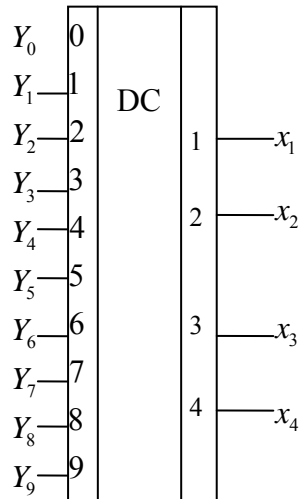
Joonis A

T-trigeri saab kahest RS-trigerist. Kui impulss tuleb sisendisse T, siis saab T1 sisend impulsi tõusust. Oma eelneva oleku suhtes vastupidise oleku ehk vastupidise oleku võrreldes t2-ga. T-trigerina saab tööle panna JK-trigeri, selleks ühendatakse J ja K kokku, ning antakse neile "üks". T-trigerina saab tööle panna ka D-trigeri (joonis A).

6. Koodrid, dekodeerid ja koordineerid

6.1. Koodrid ehk šifraatorid

Kooder viib arvud 10-nd süsteemist üle 2-nd süsteemi. Ühele 10-st koodrisisendist antakse signaal ja väljundis saadakse sisendnumbrile vastava arvu kahendkood. Koodreid kasutatakse info sisestamiseks digitaalseadmetesse.



| Kümneandsüs. arv | Kahendkood 8421 | | | |
|---------------------|-----------------|-------|-------|-------|
| | x_8 | x_4 | x_2 | x_1 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 2 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 3 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 4 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 5 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| 6 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| 7 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| 8 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 9 | 1 | 0 | 0 | 1 |

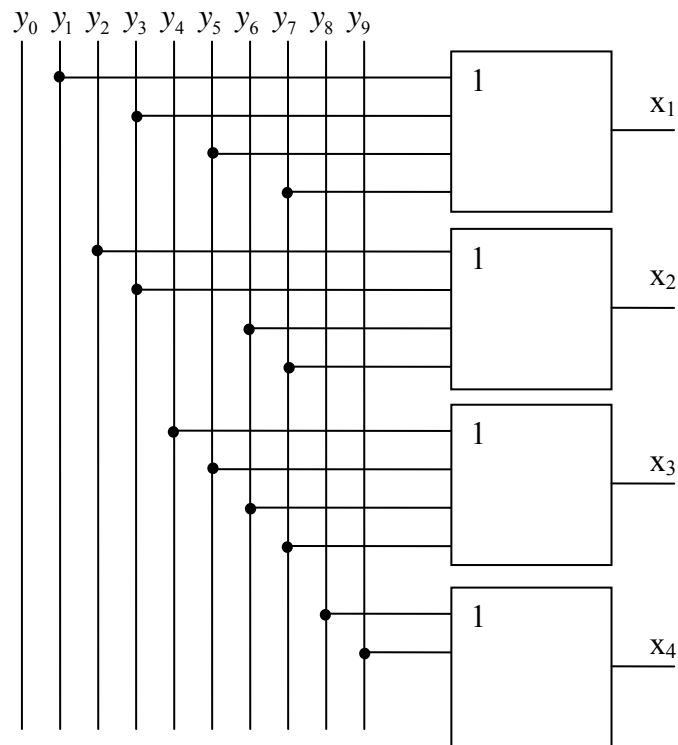
Tabelist selgub et

$$X_1 = y_1 + y_3 + y_5 + y_9$$

$$X_2 = y_2 + y_3 + y_6 + y_7$$

$$X_4 = y_4 + y_5 + y_6 + y_7$$

$$X_8 = y_8 + y_9$$



6.2. Dekoodrid ehk dešifraatorid

Dekoodrid teostavad kahendsüsteemi arvude ülekandmist kümnendsüsteemi. Dekoodri sisendisse antakse kahendkood ja ühelt kümnendsüsteemi väljunditest tekib väljundisignaali. Dekoodreid kasutatakse infoväljastamiseks digitaalseadmetest.

| Sisendkood 8421 | | | | Väljund number y |
|-----------------|----------------|----------------|----------------|------------------|
| x ₈ | x ₄ | x ₂ | x ₁ | |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 0 | 0 | 1 | 0 | 2 |
| 0 | 0 | 1 | 1 | 3 |
| 0 | 1 | 0 | 0 | 4 |
| 0 | 1 | 0 | 1 | 5 |
| 0 | 1 | 1 | 0 | 6 |
| 0 | 1 | 1 | 1 | 7 |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 8 |
| 1 | 0 | 0 | 1 | 9 |

Tabelist selgub et,

$$y_0 = \overline{X_8} \cdot \overline{X_4} \cdot \overline{X_2} \cdot \overline{X_1}$$

$$y_1 = \overline{X_8} \cdot \overline{X_4} \cdot \overline{X_2} \cdot X_1$$

$$y_2 = \overline{X_8} \cdot \overline{X_4} \cdot X_2 \cdot \overline{X_1}$$

$$y_3 = \overline{X_8} \cdot \overline{X_4} \cdot X_2 \cdot X_1$$

$$y_4 = \overline{X_8} \cdot X_4 \cdot \overline{X_2} \cdot \overline{X_1}$$

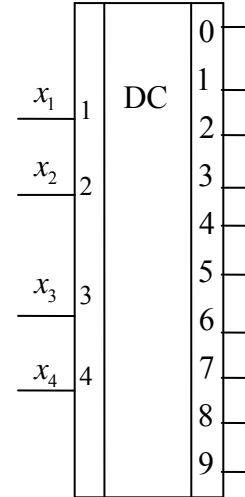
$$y_5 = \overline{X_8} \cdot X_4 \cdot X_2 \cdot \overline{X_1}$$

$$y_6 = \overline{X_8} \cdot X_4 \cdot X_2 \cdot X_1$$

$$y_7 = \overline{X_8} \cdot X_4 \cdot X_2 \cdot X_1$$

$$y_8 = X_8 \cdot \overline{X_4} \cdot \overline{X_2} \cdot \overline{X_1}$$

$$y_9 = X_8 \cdot \overline{X_4} \cdot X_2 \cdot X_1$$

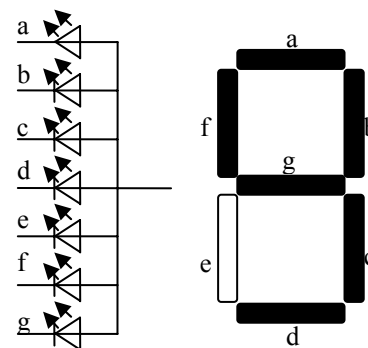


6.3. Dekooderi kasutamine 7 segmendilise indikaatori juhtimiseks

Indikaator koosneb seitsmest segmendist, mis moodustavad number 8-sa. Vaatleme valgusallikana valgusdiodi. Valgusdiodide anoodid või katoodid on omavahel ühendatud. Ühise anoodi puhul on anoodid ühendatud positiivse klemmiga ja katoode juhitakse loogika väljunditega. Kui loogika väljundis on 0, siis vastav diod helendub, kui loogika väljundis on 1 siis on diod pime.

| D | C | B | A | nr |
|---|---|---|---|----|
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 0 | 0 | 1 | 0 | 2 |
| 0 | 0 | 1 | 1 | 3 |
| 0 | 1 | 0 | 0 | 4 |
| 0 | 1 | 0 | 1 | 5 |
| 0 | 1 | 1 | 0 | 6 |
| 0 | 1 | 1 | 1 | 7 |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 8 |
| 1 | 0 | 0 | 1 | 9 |
| 1 | 0 | 1 | 0 | x |
| 1 | 0 | 1 | 1 | x |
| 1 | 1 | 0 | 0 | x |
| 1 | 1 | 0 | 1 | x |
| 1 | 1 | 1 | 0 | x |
| 1 | 1 | 1 | 1 | x |

| g | f | e | d | c | b | a |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |



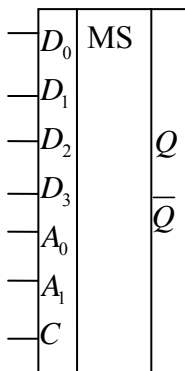
6.4. Koodimuundurid

Koodimuundurit kasutatakse kahendkoodi muundamiseks ühest kahendkoodist teise.

7. Kommutaatorid

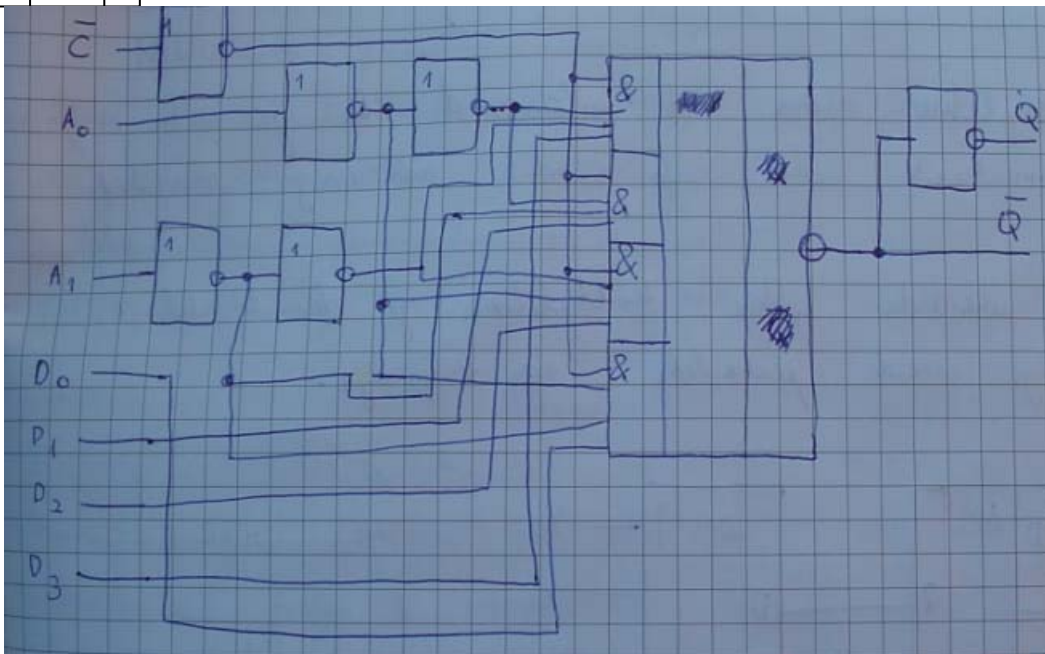
7.1. Multiplekser

| Aadress sisendid | | Sünkrosignaali | Väljund |
|------------------|----------------|----------------|----------------|
| A ₁ | A ₀ | 0 | Q |
| X | X | 0 | D ₀ |
| 0 | 0 | 1 | D ₁ |
| 0 | 1 | 1 | D ₂ |
| 1 | 0 | 1 | D ₃ |
| 1 | 1 | 1 | D ₄ |



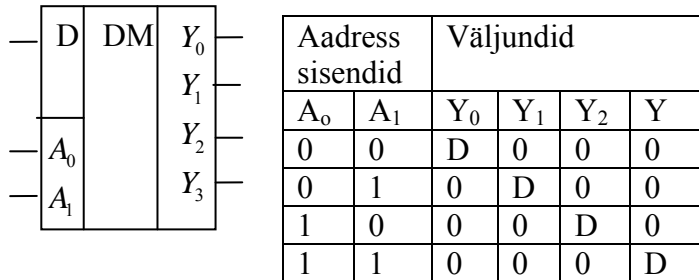
Multiplekser on seade, mis ühendab mitmest sisendist ühe väljundiga. Multiplekseril on infosisendid D, aadressi sisendid A. Sünkrosisend C, ning üks väljund Q. Kui C=0, siis Q=0. Iga infosisendile omistatakse number, mis on sisendi aadress. Kui C=1 siis multiplekser valib aadressi järgi ühe sisendi, mille ühendab väljundiga.

$$Q = (D_0 \cdot \bar{A}_1 \cdot \bar{A}_0 + D_1 \cdot \bar{A}_1 \cdot A_0 + D_2 \cdot A_1 \cdot \bar{A}_0 + D_3 \cdot A_1 \cdot A_0) \cdot C$$

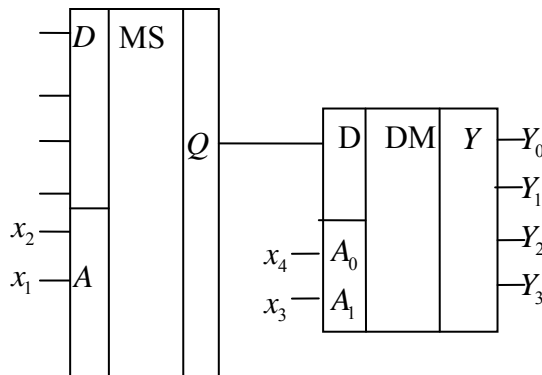


Multiplekseri maksimaalne infosisendite arv on 8. Kui on vaja rohkem sisendeid siis kasutatakse multiplekseri puud.

7.2. Demultiplekser



Demultiplekseril on üks andmesisend D ja mitu väljundit Y . DM kommuteerib ühte infosisendit aadressiga määratud väljundiga. Kui ühendada kokku multiplekser demultiplekseriga, siis saab iga sisendit ühendada iga väljundiga.



8. Registrid

8.1. Üldist

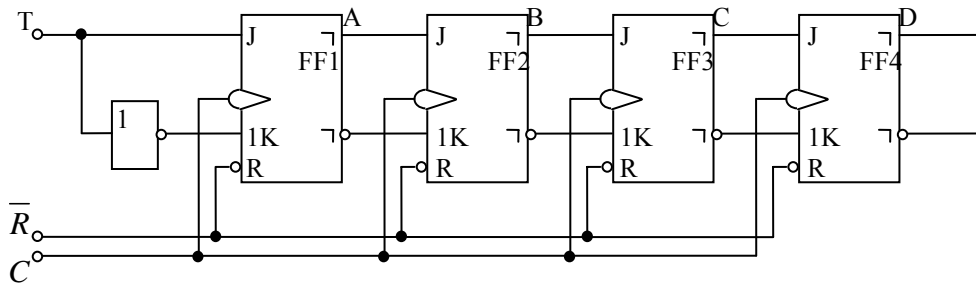
Nihkeregistri abil saab arve nihutada vasakule või paremale. Registri põhi ülesanne on mitmejärgulise arvu säilitamine. Register koosneb trigeritest, kus iga triger säilitab ühte kahendarvu järku. n järgulise arvu jaoks peab olemas n trigerit. Registrit võib kasutada ka arvude nihutamiseks paremale ja vasakule. Arvu kõik järgud liiguvad korraga 1 järk noorema (LSB) või vanema (MSB) kohale.

8.2. Nihkeregister

Nihketehte puhul nihutatakse registoris oleva arvu kõiki järke korraga. Nihutamise peale võtab vasakpoolne triger vastu arvu sisendist aga trigeris olnud arv antakse edasi paremal pool asuvale trigerile jne või siis parempoolse trigeri kaudu vasakule.

Enam kasutatavad on dünaamilised sünkrosisendiga JK-trigerid. Trigeri ümberlülitamine toimub sünkrosignaali tagarindel. Iga trigeri väljundid on ühendatud järgmise noorema

järgu sisenditega. Sünkrosignaali tagarinne lülitab kõik trigerid sisendites olnud signaalidele vastavatesse olekutesse. Nii on arv ühe järgu võrra paremale nihutatud. Kõige vanema järgu trigerisse loetakse info väljastpoolt.



Alguses triger nullitakse R-i abil. Arvu sisestamist alustatakse noorimast järgust. Vaatleme arvu 1011_2 arvu sisestamist. Hetkel t_1 on vanima järgu triger FF1 sisendi 1 ja registrisse saadakse 1000_2 . Hetkel t_2 on sisendis 1 ja registrisse saadakse 1100_2 . Hetkel t_3 on sisendis 0 ja registrisse saadakse 0110_2 . Hetkel t_4 on sisendis 1 ja registrisse saadakse arv 1011_2 , millega ongi kogu arv salvestatud. Nüüd võib arvu 1101_2 välja võtta rööpselt trigerite väljunditest ABCD või jadamisi, hoides info sisendis nivood 0. Sünkroimpulssi andes saadakse väljundist D 1011_2 , alates noorimast järgust, jada järjestuses. Kõige pealt loetakse FF4 väljund D. Hetkel t_5 on väljundis FF3-e bitt. Hetkel t_6 – FF2-e bitt ja hetkel t_7 FF1-e bitt. Hetkel t_8 on register tühi.

Vaatame arvu 1011_2 sisestamist. Arv antakse sisse tagurpidi (alates) noorimast järguust. (Hüpe on impulsi tagarindel.)