

- Pangaröövi ajal karjus röövel kõigile pangasviibijatele: „Kõik pikali! Ärge liigutage! Raha kuulub riigile. Teie elu kuulub teile endile.“ Pangasviibijad heitsid kuulekalt põrandale. Seda nimetatakse "**Mõtteviisi muutmiseks**"
- Kui pangaröövlid koju jõudsid, ütles noorem (MBA-kraadiga) vanemale, kes oli lõpetanud vaid 6. klassi: „Vennas, loeme kokku, kui palju me saime.“ Vanem röövel vastas: „Ära ole rumal. Raha on nii palju, et selle lugemine võtaks terve igaviku. Õhtustest uudistest saame teada, kui palju me kaasa haarasime!“ Seda nimetatakse "**Kogemuseks**" – **kogemus on olulisem kui ametlik haridustase!**
- Kui röövlid olid lahkunud, ütles pangajuht kõrvalseisnud audiitorile, et too helistaks kiiresti politseisse, kuid audiitor vastas: „Oota veidi! Võtame pangast \$10 miljonit endale ja lisame selle \$70 miljonile, mille oleme varem pangast kõrvale toimetanud.“ Seda nimetatakse "**Vooluga kaasaminemiseks**" – **ebasoodsa olukorra enda kasuks pööramine!**
- Õhtul teatati uudistes, et pangast rööviti \$100 miljonit. Röövlid lugesid oma raha üle ja said ainult \$20 miljonit. Nad olid nõrdinud ja arutasid omavahel: „Me riskisime eluga ja saime vaid \$20 miljonit, pangajuht aga ühe sõrmenipsuga \$80 miljonit. **Paistab, et haridus on parem kui vargaks olemine!**“ Seda nimetatakse "**Teadmised on kulda väärt!**"
- Pangajuht naeratas rahulolevalt, sest rööv kattis tema aktsiaturu kahjumid. Seda nimetatakse "**Võimaluse kasutamiseks**" – **riski julgelt !**

EET3010 JUHTIMIS - JA ANDMESIDETEHNIKA ALUSED

Kevad 2025

Sissejuhatus digitaaltehnikasse (mälua loogika)

Martin Jaanus NRG-308
martin.jaanus@ttu.ee 56 91 31 93

Õppetöö : <http://isc.ttu.ee>

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

Ärajäänud loeng . Transistor kui võimendi.

- Kas on soovi ?
- See nädal -
- K kell 12, R kell 14 ?
- Või mingi muu aeg ?

Teemad

Digitaalelektronika analoogmaailmas

- Transistor kui lüliti,
- Lihtloogikafunktsioonid
- Boole'i algebra
- Lihtloogikafunktsioonid –teisendamine.

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.
- Reeglina digitaalelektronikas on digitaalne (kindlate väärtustega) ka aeg.



Arvusüsteemidest

- On olemas positsioonilised ja mittepositsioonilised arvutussüsteemid.
- Mittepositsiooniline → Rooma süsteem.
- Positsioonilises süsteemis on tähtis numbri asukoht arvus.
- Suvaline arv X positsioonilises süsteemis alusega q üldjuhul võib esitada
- $$X_q = X_{n-1} * q^{n-1} + X_{n-2} * q^{n-2} + \dots + X_0 * q^0 + X_{-1} * q^{-1} + X_{-m} * q^{-m}$$
- Kus X_i on järgutegur ($X_i = 0 \dots q - 1$)
- q^i on kaalutegur ja q on süsteemi alus
- Igapäevaelus kasutame valdavalt süsteemi $q \rightarrow 10$
- Kuid...osade mõõtühikute puhul (näiteks aeg, ka 12, 24 ja 60 süsteemi)
- Digitaaltehnikas $q \rightarrow 2$ (binary 0,1) , 16 (hexadecimal 0..F) , 8 (octal 0..7))
- Teoreetiliselt on võimalik suvalise arvu (sh kompleksarvu või irratsionaalarvu nt e või π) baasil .

Aluse q valik

- Me tahame esitada mingit arvu, mis on omaette esitatud positsioonilises süsteemis, elektriliste signaalide abil. Seljuhul me vajame mingit elektrilist seadet, mis formeerib oma väljundil q erinevaid elektrilisi signaale. Kusjuures neid signaale peab oskama identifitseerida. Ja seda lihtsal viisil.
- Selliste seadmete kogus on võrdne järkude hulgaga arvu terves ja murd osades. Selge see, et mida suurem on q , seda vähem läheb vaja seadmeid, aga seadmete keerukus kasvab tohutult.
- Aluse q valiku kriteerium – kulutuste vähendamine, häirekindluse säilitamine
- Optimaalseks osutub arv $q=e=2.71\dots$. Teostamine ülikeeruline ja mitteotstarbekas, seetõttu on valitud alus $q=2$

Kahendsüsteem

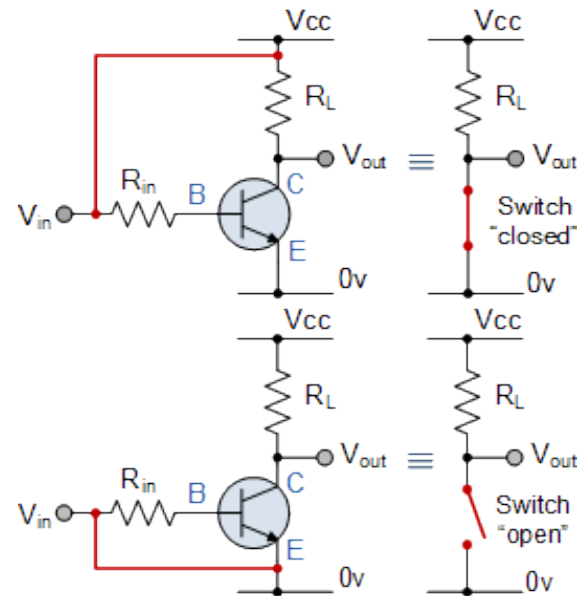
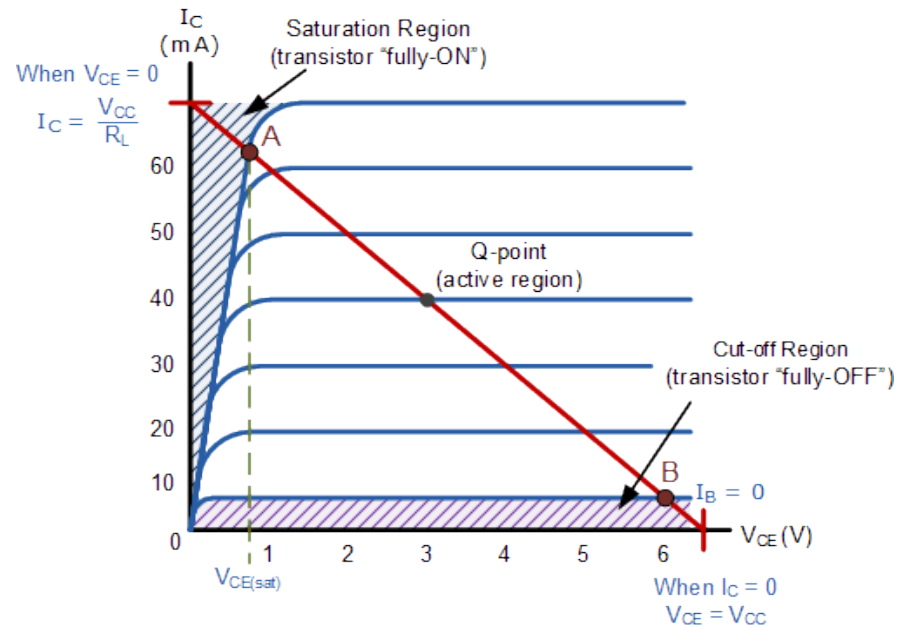
- Põhiline kasutus on kahendsüsteem , sest seda on lihtne kasutada (signaal kas on või ei ole)
- Kahe võimaliku oleku puhul on tegu binaarse signaaliga.
- Kõige lihtsam arvusüsteem. Bitt.
- 0 – vale, puudub, madal tase
- 1- tõene, olemas, kõrge tase

- Biti tähendus on **kokkuleppeline** , see võib tähendada mida iganes !

- Näiteks Arduino puhul `a=digitalRead(1);`
- Kui a väärtus on pärast seda käsku “true”, same vaid teada, et pinge oli klemmil “1” suurem kui 2 V . Milline see pinge tegelikult oli, selle kohta info puudub. Samas see pinge > 2V võib meie jaoks tähendada, et keegi astus tuppa ja andur selle registreeris.

Bipolaartransistor lülitina

- Valdavalt kasutusel digitaalelektronikas.
- Kaks põhilist olekut – avatud (küllastusrežiim) ning suletud.
- Saaks põhimõtteliselt kasutada ka vahepealseid olekuid (keerulisus, ebakindlus)
- Transistoril hajuv võimsus on mõlemal juhul väike.
- Valida saab lubatud transistori maksimaalse kollektrovoolu järgi.

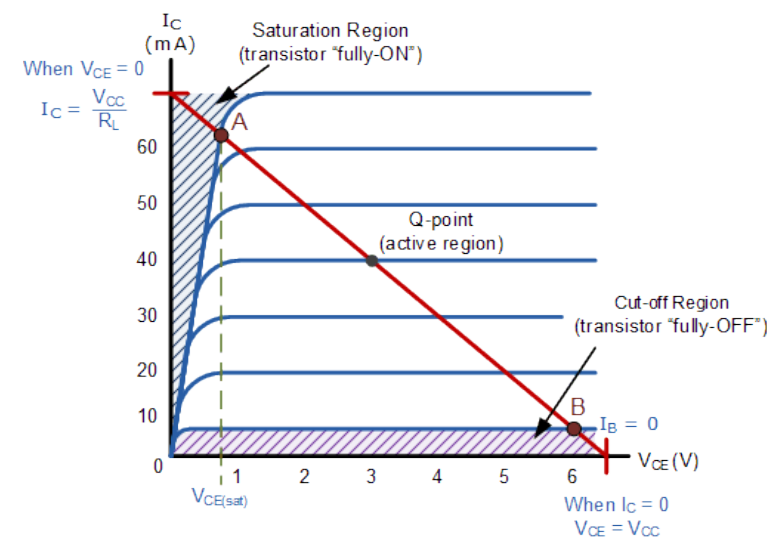
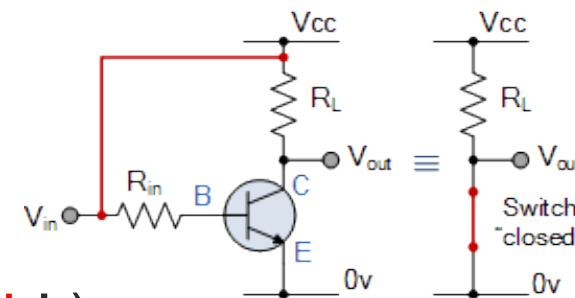


https://www.electronics-tutorials.ws/transistor/tran_4.html

Bipolaartransistor lülitina

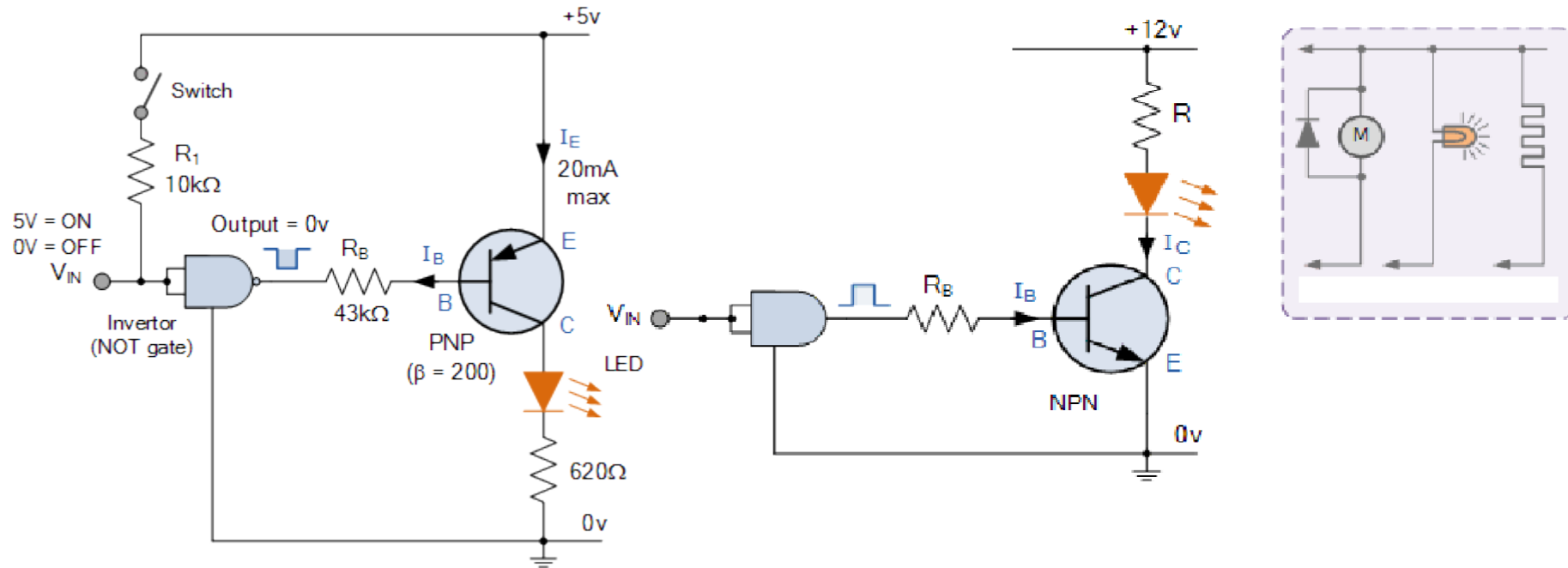
- Oluline on **võimalikult kiire** üleminek avatud režiimist küllastusrežiimi !
- Oluline on küllastustegur K_{sat}
- Valitakse sõltuvalt olukorrast 2-5
- Küllastusteguri valik sõltub kollektorvoolust ja töötemperatuurivahemikust (**transistor ei tohi jääda aktiivrežiimi !**)
- Suurem väärtus kindlustab kindlama lülitamise kuid teeb selle väljalülitamise aeglasemaks

- Vajalik baasivool $I_B = K_{sat} * \frac{I_C \text{ (kui } V_{CE} \approx 0)}{h_{21E}}$



Bipolaartransistor lülitina (näited)

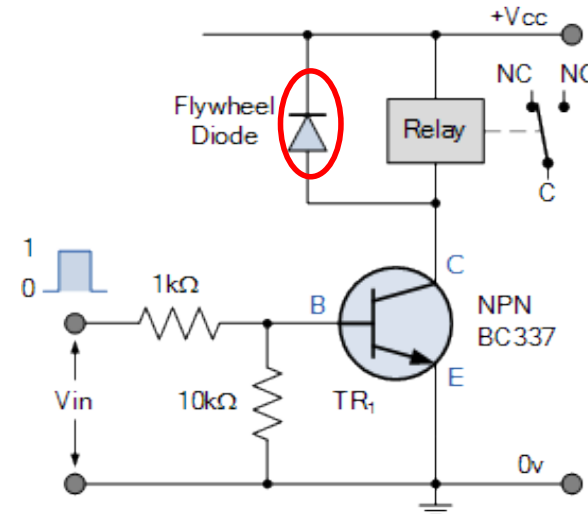
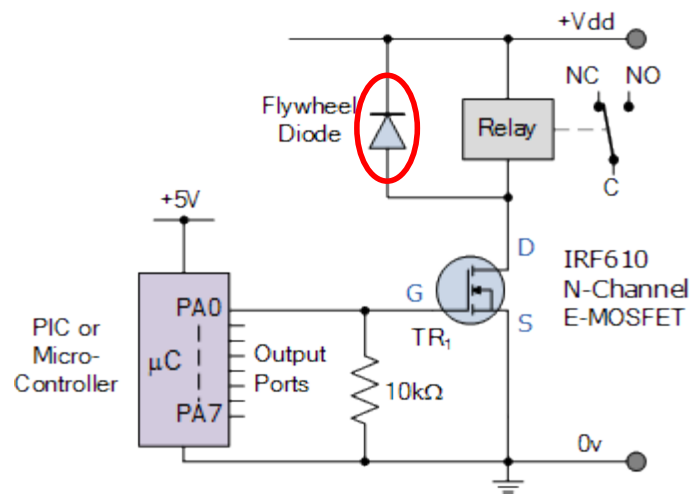
- Võib kasutada nii NPN kui ka PNP transistori



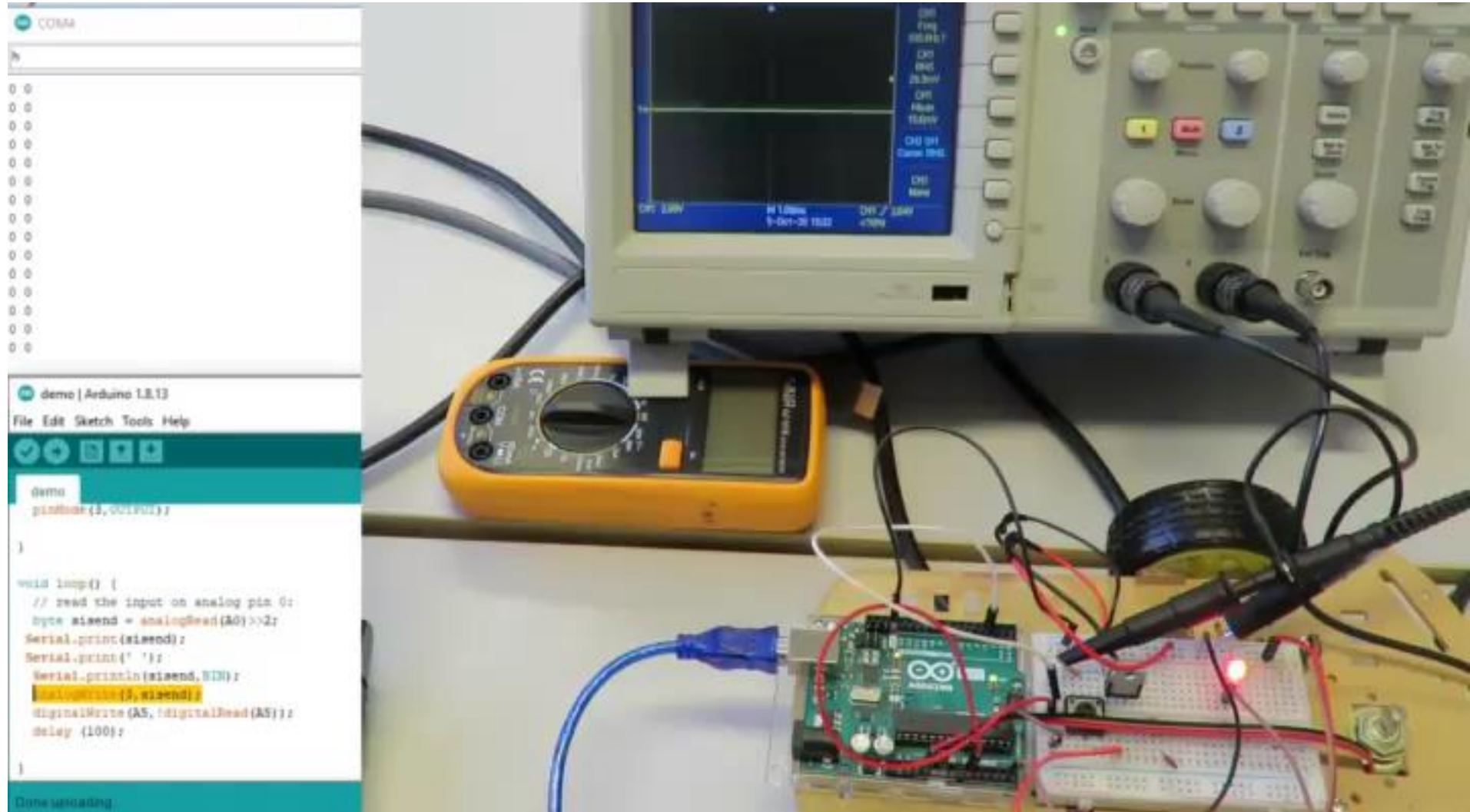
Liittransistoride (Darlington) kasutamine ei ole soovitatav.

Induktiivse koormuse lülitamine

- Mootorid , releed, trafod paistavad skeemi jaoks ja ka käituvad kui induktor ! Energia, mis sinna salvestatud, saame igal juhul kätte !
- Induktori vool on pidev ! Vool ei katke välja lülitamisel hetkeliselt !
- **Kaitsedioid on kohustuslik** (kehtib ka mootorite kohta) !
- Üleliigse energiakulu vältimiseks tuleb lülitustransistoril aktiivrežiimi vältida.



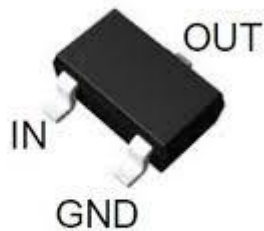
DEMO



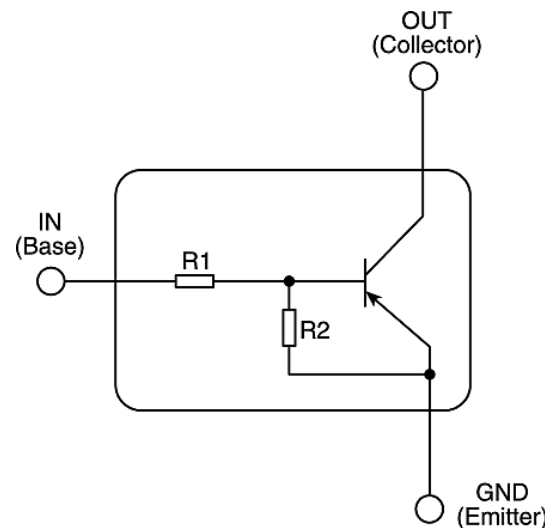
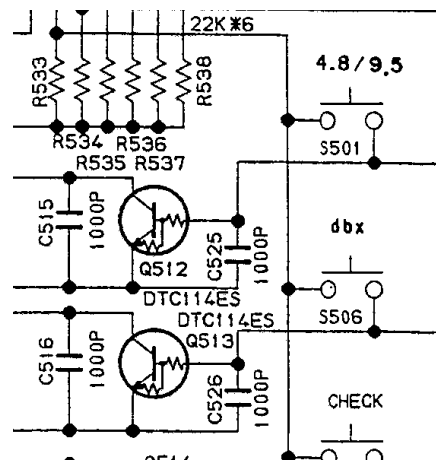
„Digitaaltransistor“

- Olemuselt sisseehitatud eeltakistitega transistor
- Kasutusel lülitus- ja digitaaltehnikas (nii PNP kui ka NPN)
- Olemuselt EI – loogikaelement
- Ei sobi kasutamiseks võimendina !
- Oluline on lülituspinge (peab vaatama, kas sobib näiteks 5 V või 3 V loogikaskeemile)

SMT3

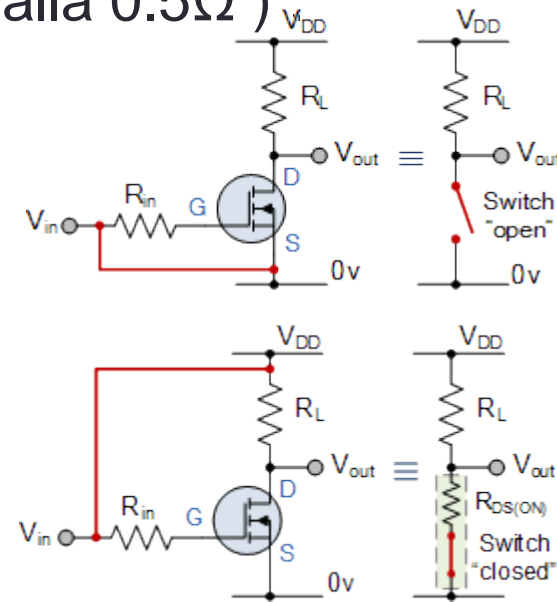
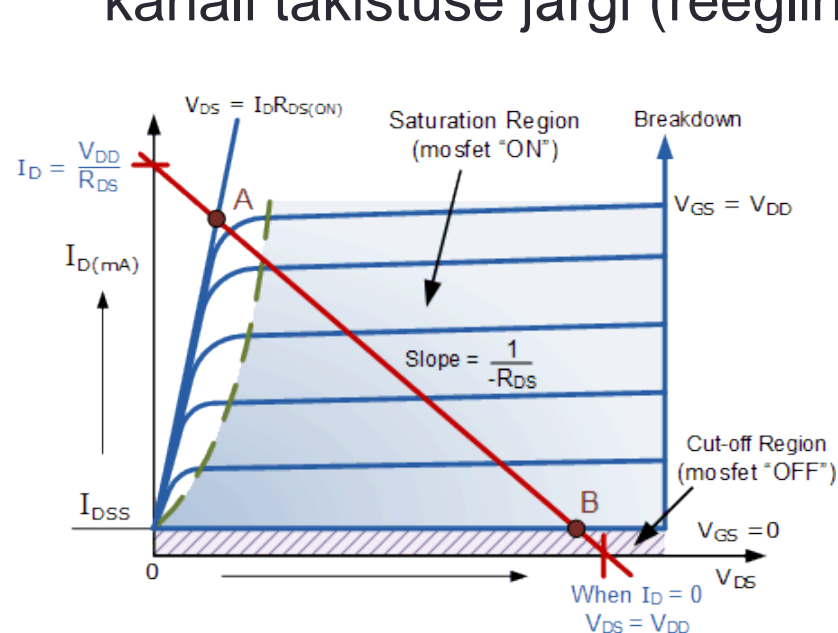


DTC143EKA
SOT-346 (SC-59)



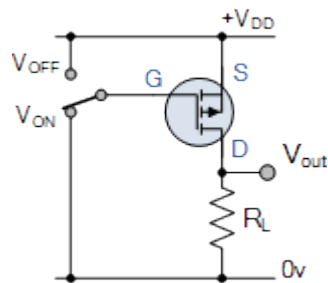
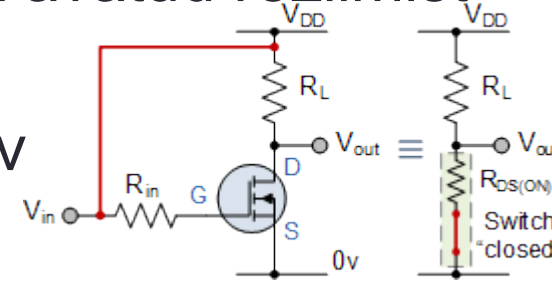
Väljatransistor lülitina

- Valdavalt kasutusel digitaal- ja jõuelektroonikas.
- Kaks põhilist olekut – avatud ning suletud.
- Transistoril hajuv võimsus on mõlemal juhul väike.
- Valida saab lubatud transistori maksimaalse lättevoolu ja avatud kanali takistuse järgi (reeglina alla 0.5Ω)

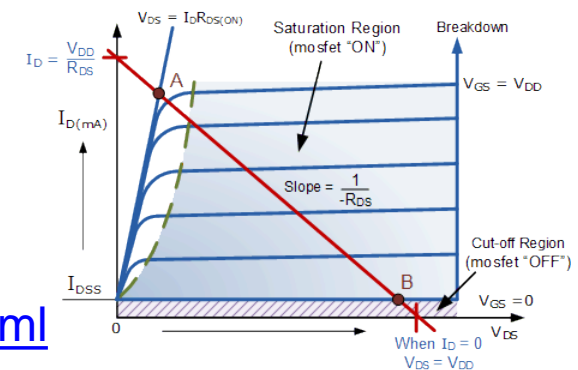


Väljatransistor lülitina

- Oluline on **võimalikult kiire** üleminek avatud režiimist küllastusrežiimi !
- Oluline on et paisupinge oleks piisav
- Valitakse andmelehest (**transistor ei tohi jääda aktiivrežiimi!**)
- Probleeme põhjustab transistori väljalülitamine - laeng on vaja paisult eemaldada.
- Võib vajada väljalülitusahelat (**pais ei tohi jääda avatuks !**)

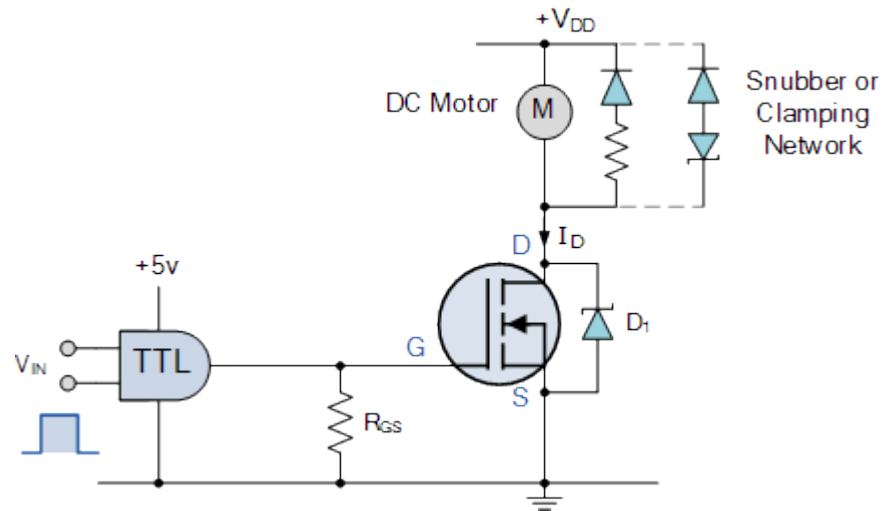


https://www.electronics-tutorials.ws/transistor/tran_4.html



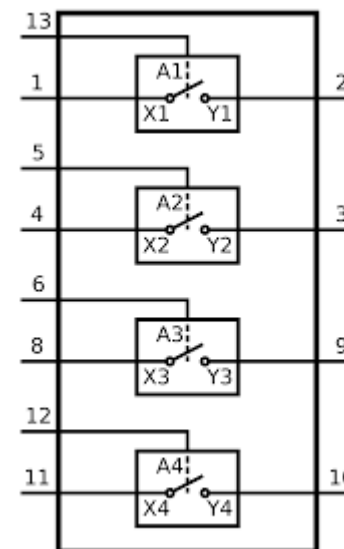
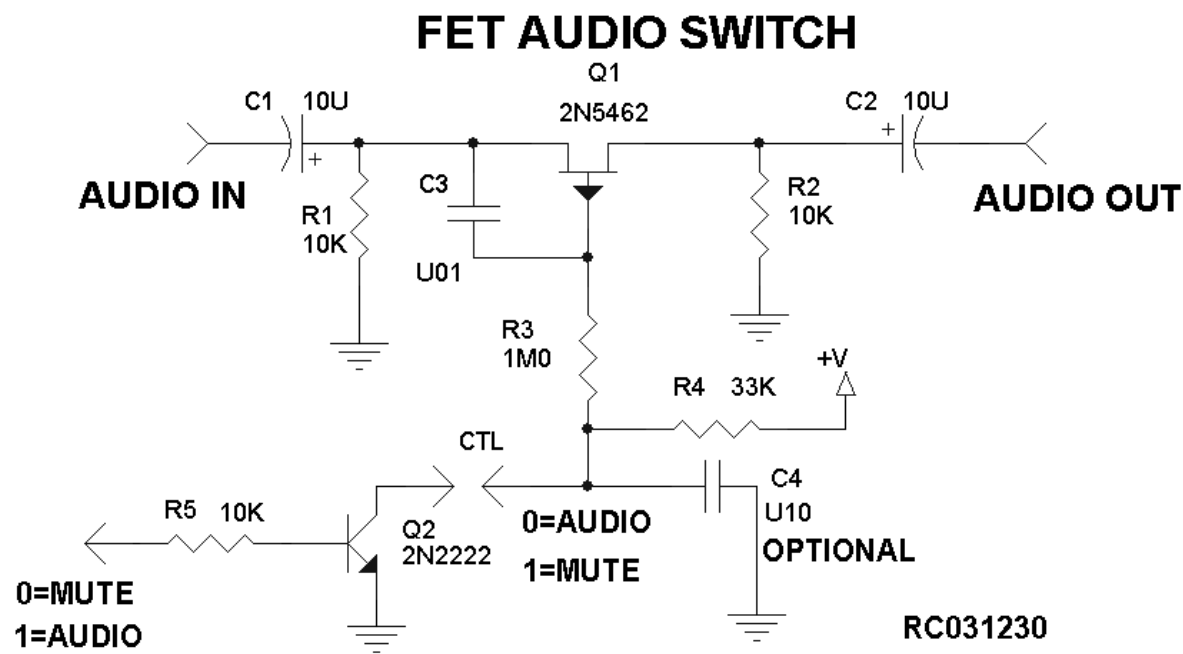
Väljatransistor lülitina

- Näide



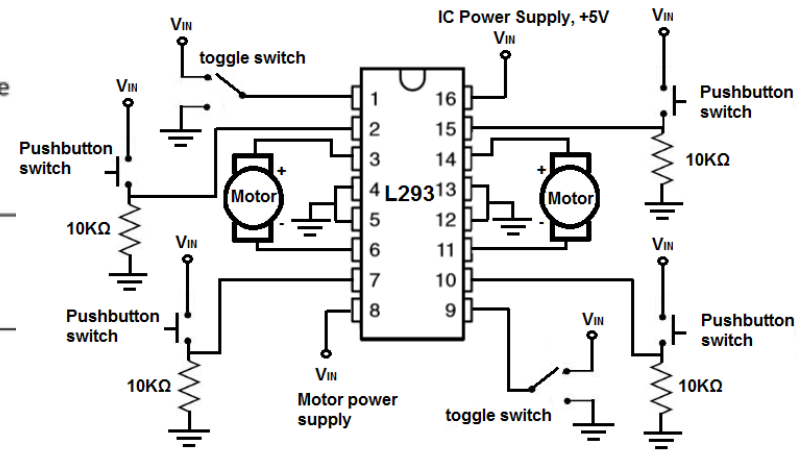
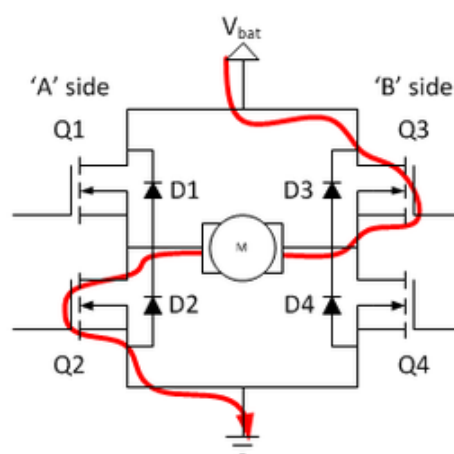
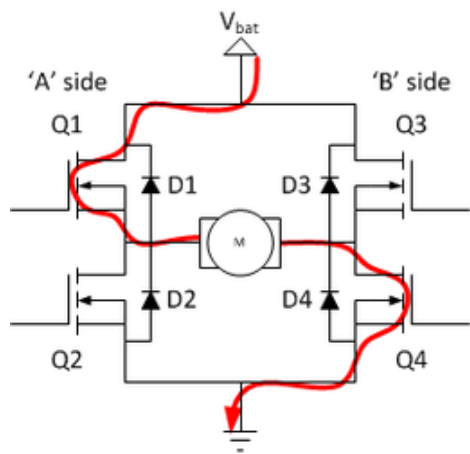
Väljatransistor analooglülitina

- Väljatransistori kasutatakse ka vahelduvsignaalide (näiteks heli) kommuteerimiseks
- Toodetakse spetsiaalseid „signaalilüliteid“ (näit CD4016)



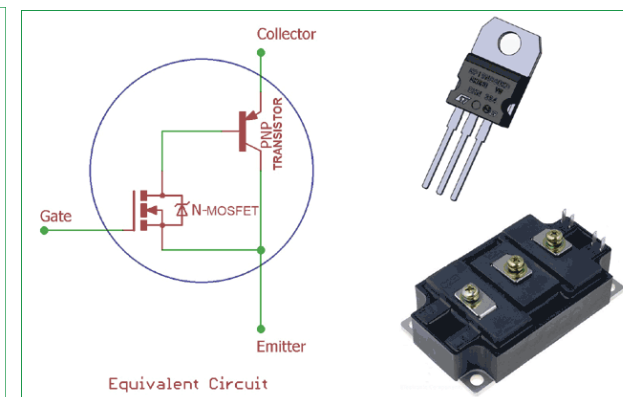
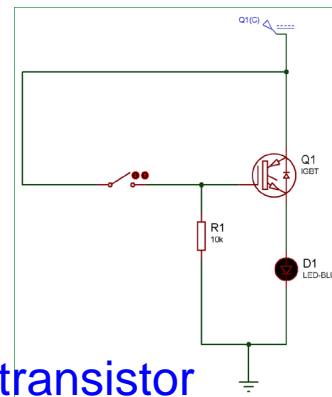
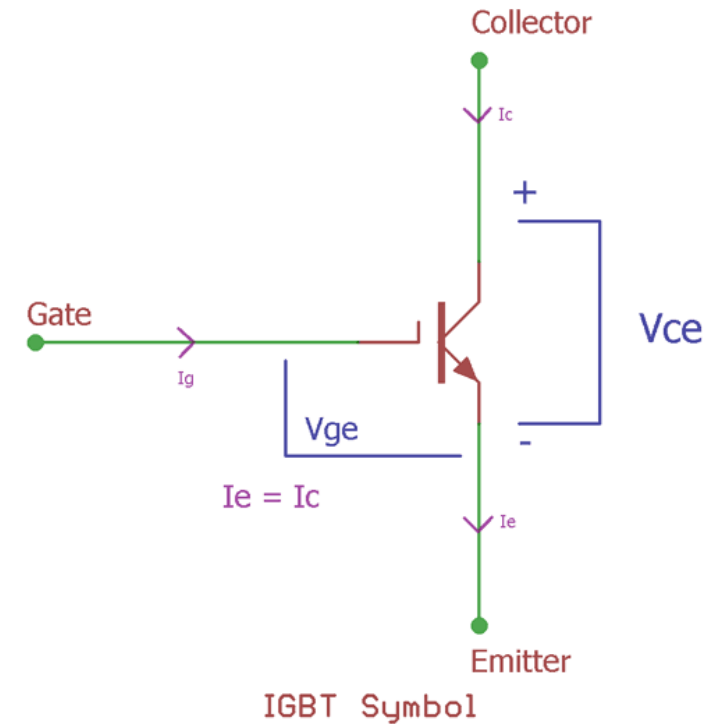
Alalisvoolu(kommutaator)mootori ühendamine

- Pöörlemissuund sõltub toitepinge polaarsusest, pöörlemiskiirus toitepingest ja tehnoloogiast.
- Lihtne skeem – vt rele slaid. Kiiruse muutmine reeglina impulsslaiusmodulatsiooniga(PWM).
- H-sild (H bridge)
- **Riistvaraliselt tuleb vältida korraga sama õla lülituselementide avanemine !**



Isoleeritud paisuga bipolaartransistor

- IGBT - *Insulated-gate bipolar transistor*
- Kombineeritud transistor ,ühendab nii väljatransistori (isoleeritud pais, pingega juhtimine) kui bipolaartransistori (madal emitteri ja kollektorivaheline pinge V_{ce} avatud olekus) head omadused.
- Kasutatakse põhiliselt jõuelektroonikas (lülitirežiim, väga suur vool – sajad amprid , elektrisõidukid, elektroenergeetika)



<https://circuitdigest.com/tutorial/igbt-transistor>

Kahendsüsteem elektrilisel kujul

- Voolupõhine (tööstuselektronika, -automaatika)

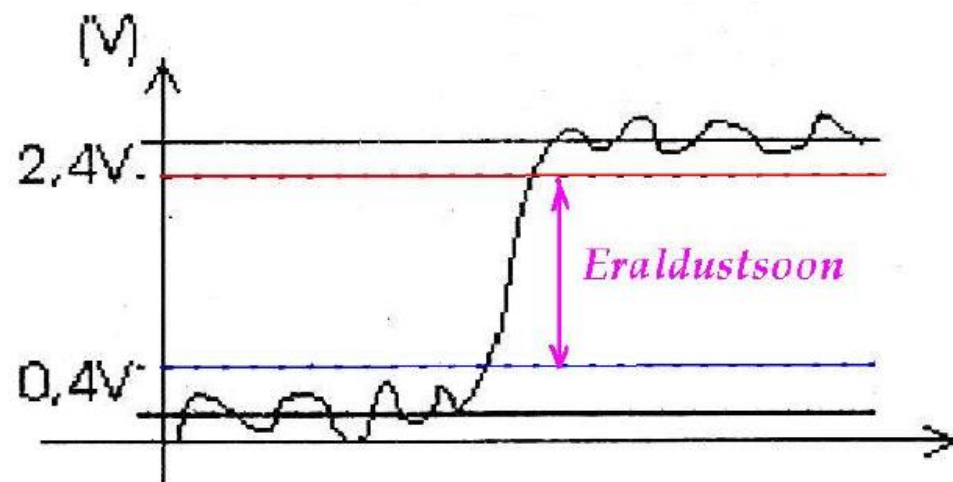
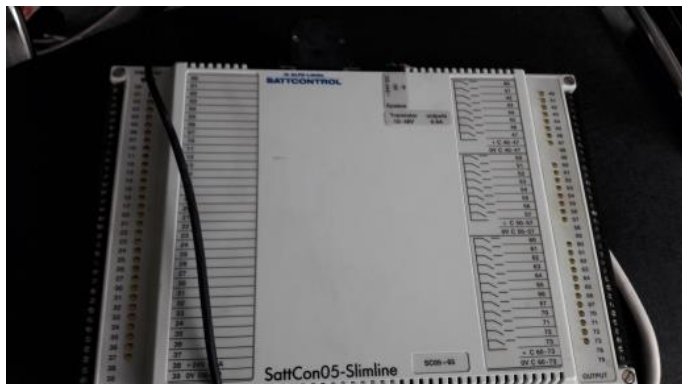
0 - 4 mA, 1 – 20 mA , kui vool puudub ,on ühendus katki.

Valdavalt kasutatakse pingepõhist süsteemi

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

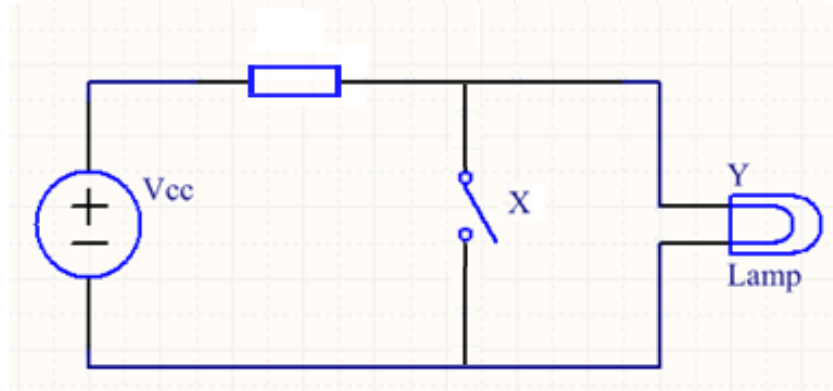
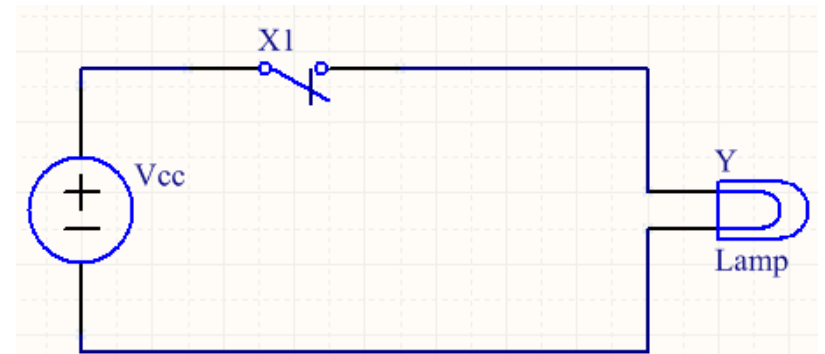
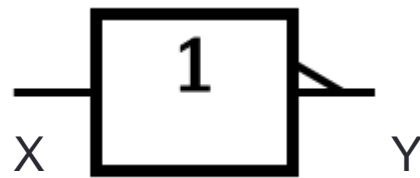
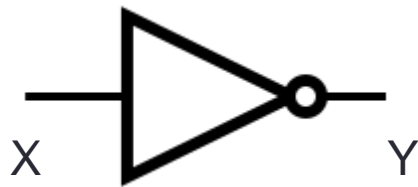
Tööstuselektronikas ja häirerikas keskkonnas kasutatakse ka teisi nivoosid $0 \gg 5 V$, $1 < -5V \dots -24 V$ (RS232)

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



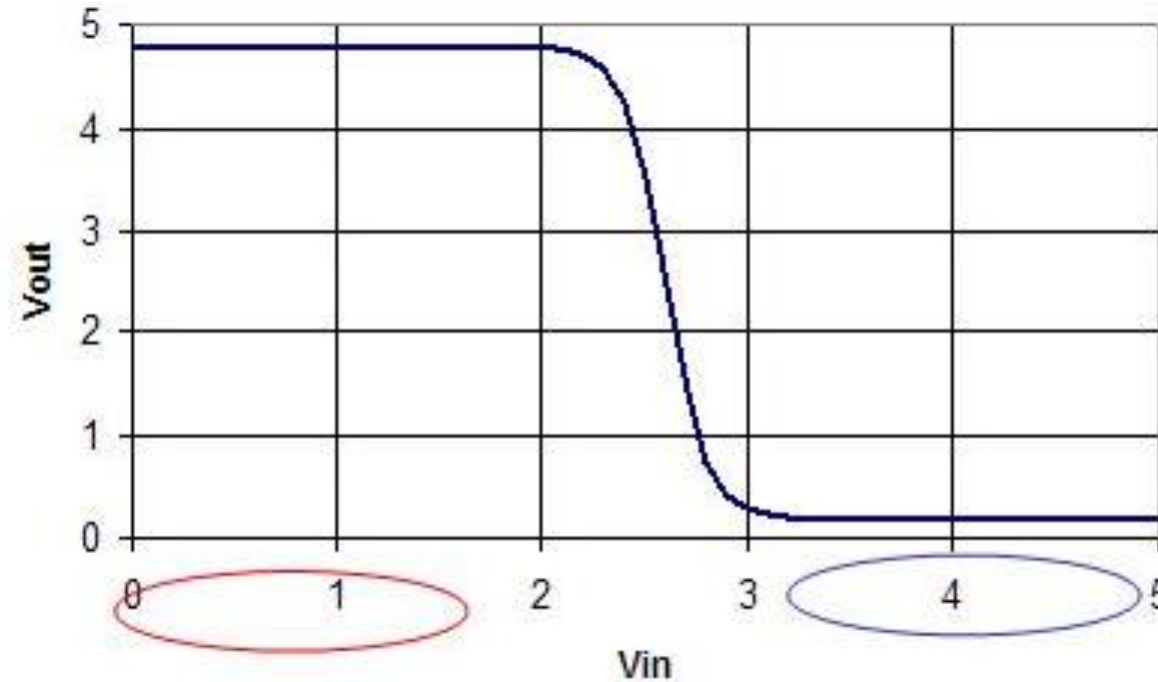
Loogiline tehe – eitus (inversioon)

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



Kahendsüsteem elektrilisel kujul

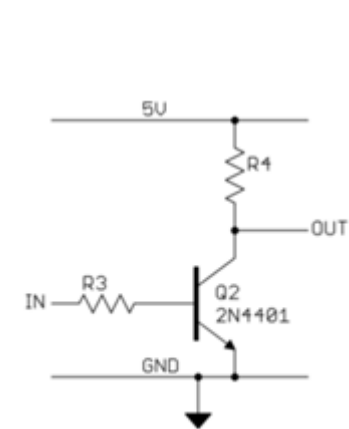
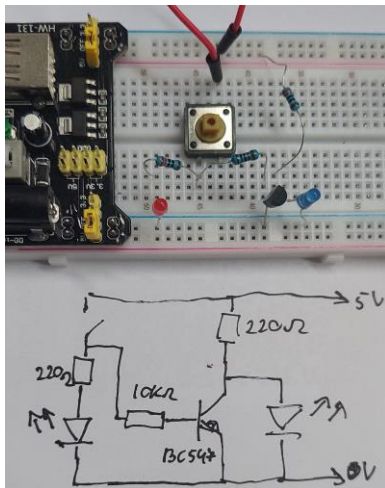
- Oluline on, et signaale töötlevad komponendid „kinnitaks“ olekut ehk viiks muutuja võimalikult kindlalt ja kiiresti vajalikku olekusse.



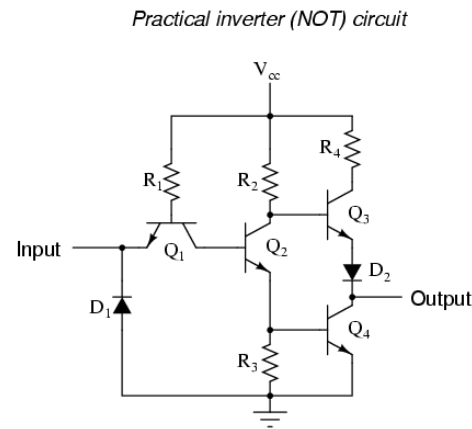
Inverteri olekuülekanne

Loogiline tehe – eitus (inversioon)

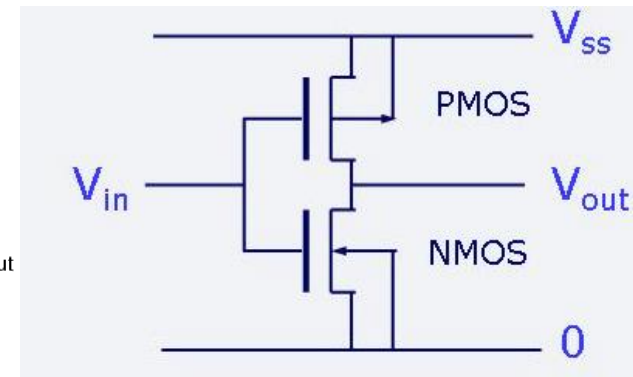
- Lihtsam variant - saab teha ühe transistoriga.
- Transistor peab olema kas suletud või avatud (ei tohi olla aktiivrežiimis)



Diskreetelementidest



TTL



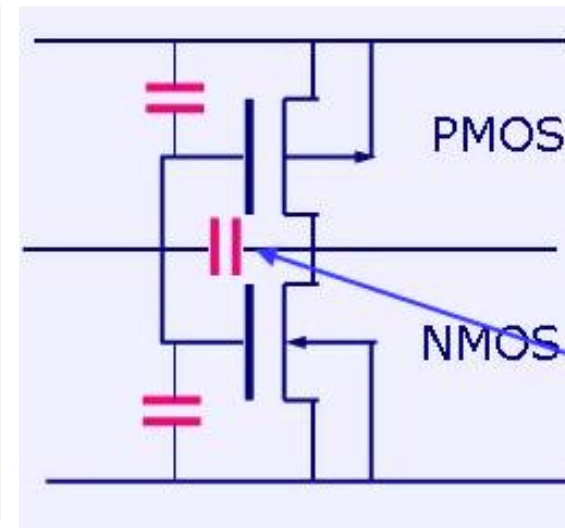
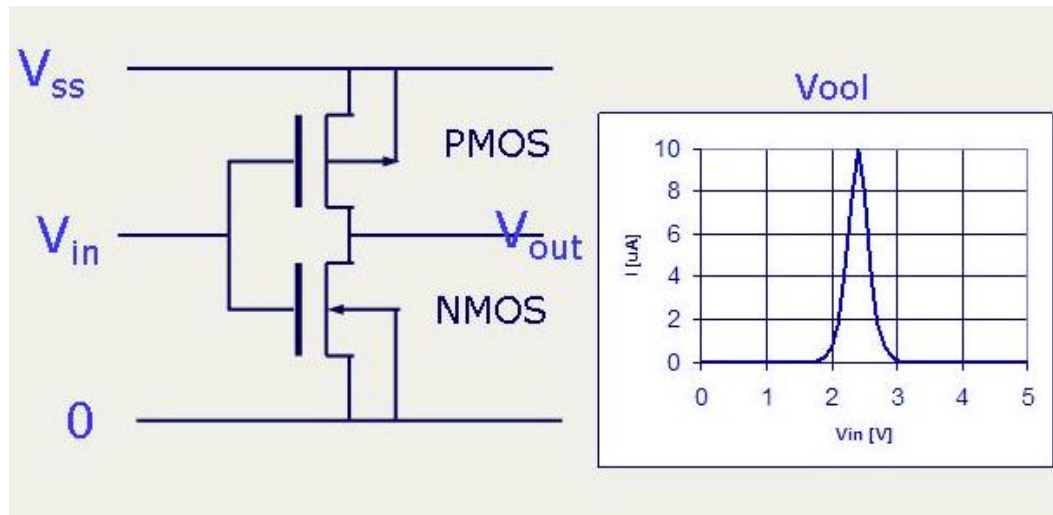
KMOP (CMOS)

Mikroskeemiseselt

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 !

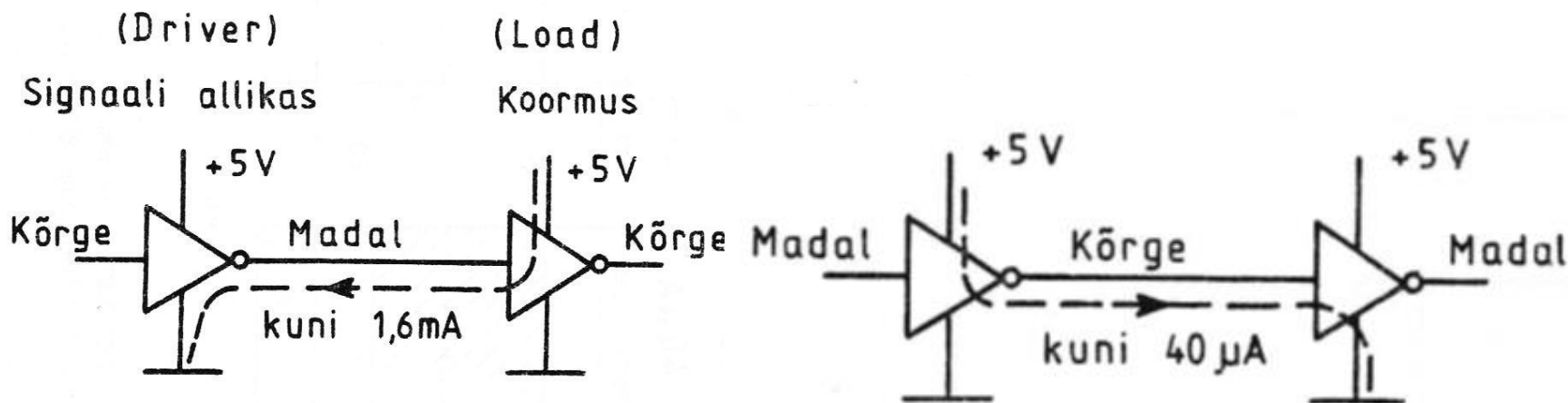


Toimub
mahtuvuste
ümberlaadimine.

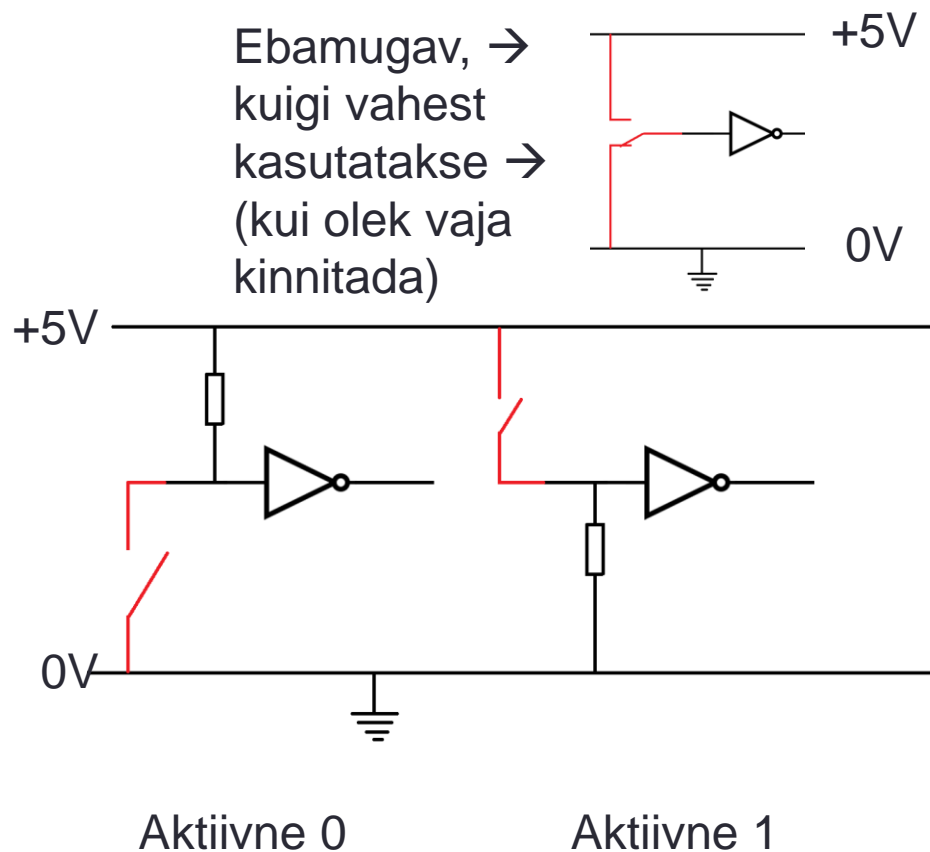
- Lahendus – vähendame toitepinget (võimsus sõltub pinge ruudust) ning võimalusel töösagedust
- Jahutamine

Loogikaelementide ühendamine

- Programmeerija 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.



Loogikaelementide ühendamine

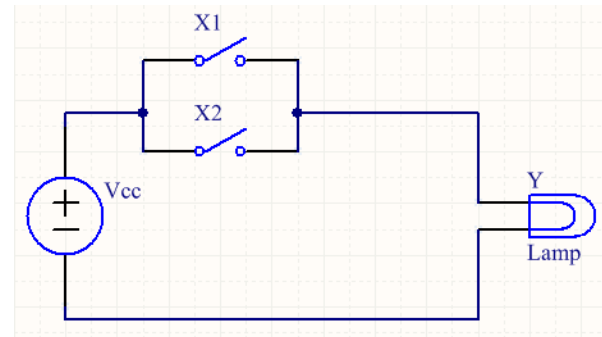
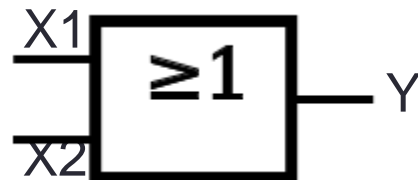


- Sisend ei tohi jääda avatuks (olek määramata, eriti CMOS tehnoloogias, sh (mikro)kontrollerid) !
- Selle vältimiseks kasutatakse pinget toitesse ja maha tõmbavaid takisteid (pull-up, pull down)
- Levinum variant on ülestõmbav takisti ja aktiivne olek "madal" ("maajuhe" on peaaegu alati käepärast)
- Võivad olla mikroskeemi sees (vt andmelehte !)
- Arduino :
`pinMode(klemm, INPUT_PULLUP);`
- Ära kasuta mõlemat samaaegselt !
- Puudus – üleliigne energiatarve (takistite väärtused valida võimalikult suured)

Takisteid ei ole vaja kui olek on eelmise elemendi poolt üheselt määratud !

Loogiline tehe VÕI (OR)

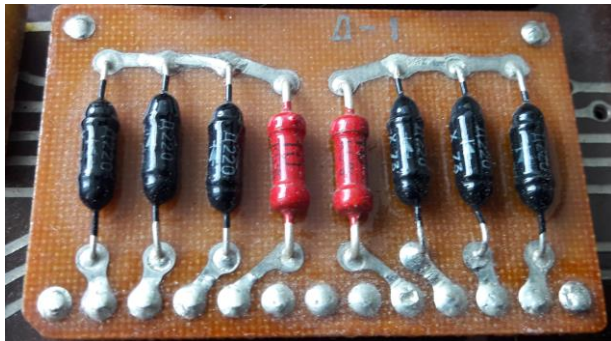
- Vähemalt kahe sisendiga element.
- Väljund on 1 kui **vähemalt** üks sisend on 1.
- $Y = X_1 + X_2 + \dots + X_n$



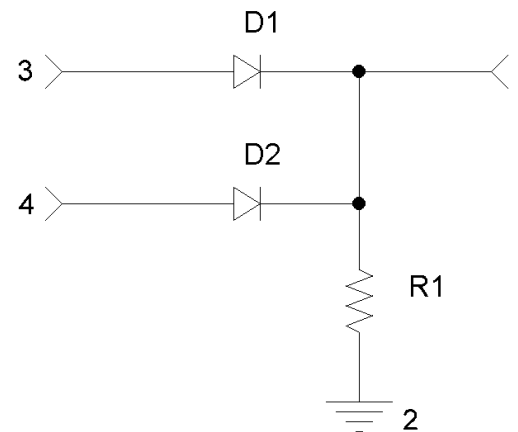
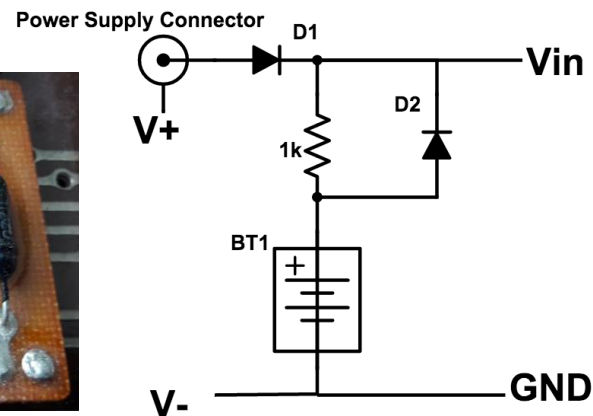
X1	X2	Y
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

Loogiline tehe VÕI (OR)

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

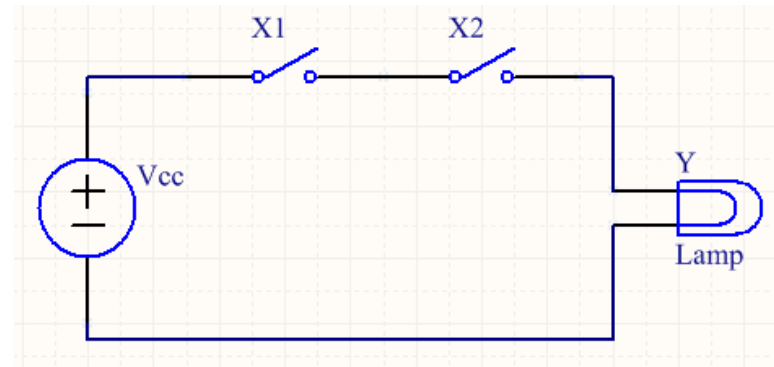


(NL -1973)



Loogiline tehe NING (AND)

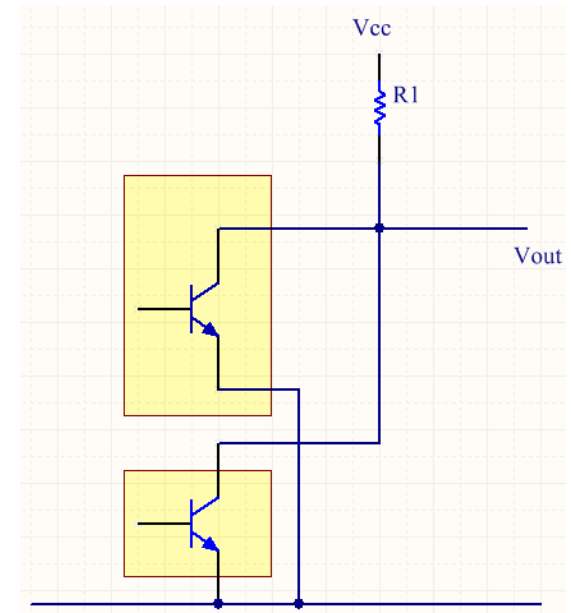
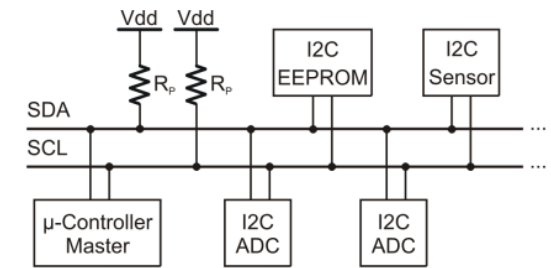
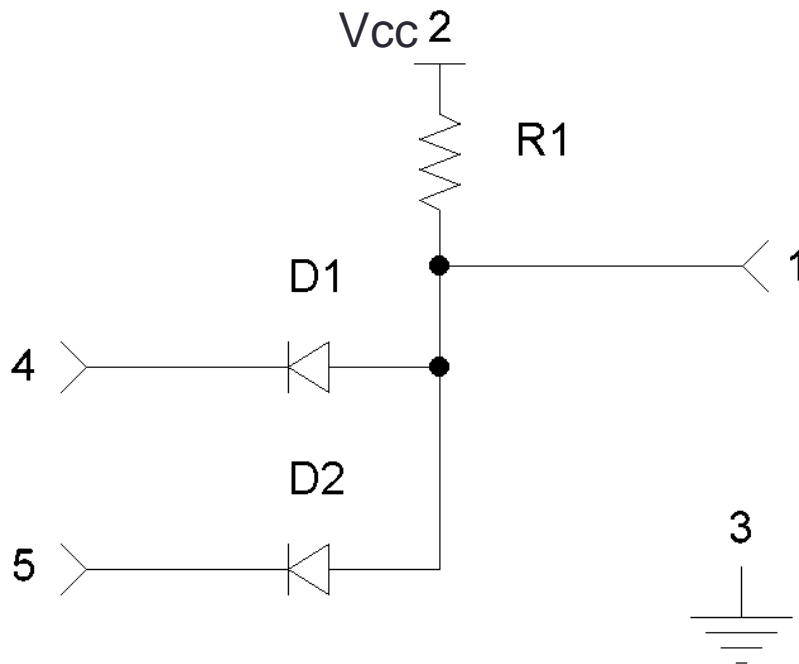
- Vähemalt kahe sisendiga element.
- Väljund on 1 kui **Kõik** sisendid on **samaaegselt** 1.
- $Y = X1 * X2 * \dots * Xn$



X1	X2	Y
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Loogiline tehe NING (AND)

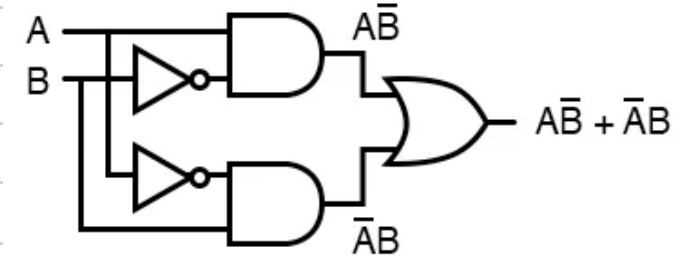
- Kõige lihtsam realisatsioon – kasutada diode.
- See tehe toimub avatud kollektoriga elementide kokkuühendamisel.
- Andmesiinid (näit I2C)
- Mikroskeemi siseselt ei kasutata



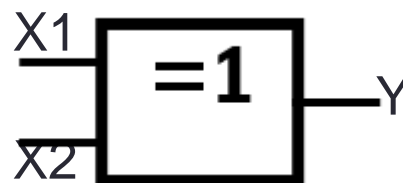
Välistav VÕI (XOR)

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

X1	X2	Y
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0



$$A \oplus B = A\bar{B} + \bar{A}B$$

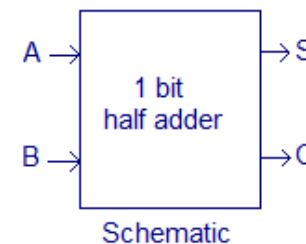


Inputs		Outputs	
A	B	S	C
0	0	0	0
1	0	1	0
0	1	1	0
1	1	0	1

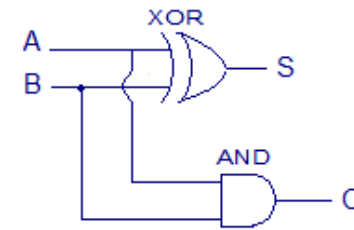
Truth table

Poolsummaator →

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



Schematic

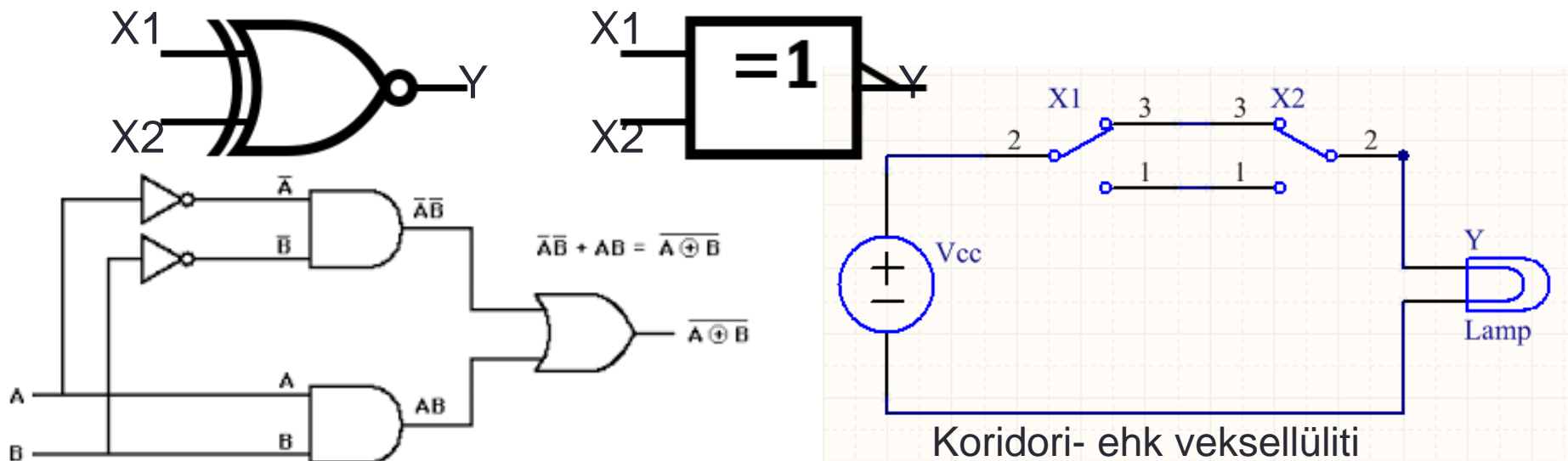


Realization

Välistav VÕI-EI (XNOR)

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

X1	X2	Y
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	1



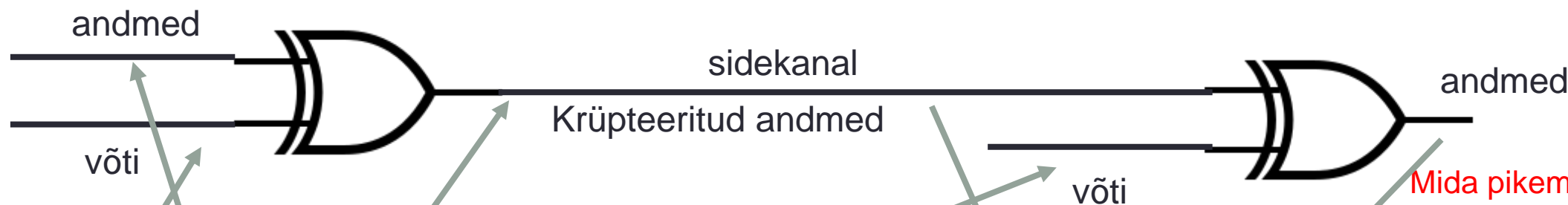
XOR kasutamine

- Krüptograafia, tasuline TV , idee

Saadame läbi sidekanali 10 süsteemi arvud 178 ja 219
 Kasutame ringlevat võtit 1100 (4 biti puhul 16 varianti)

Kui vastuvõtjal kasutame mõnda teist võtit (näit. 1101),
 saame dekodeerimisel 163 ja 202

Kui dekodeerimisel võtit mitte kasutada, oleks tulemus
 126 ja 23 (see liigub sidekanalis)



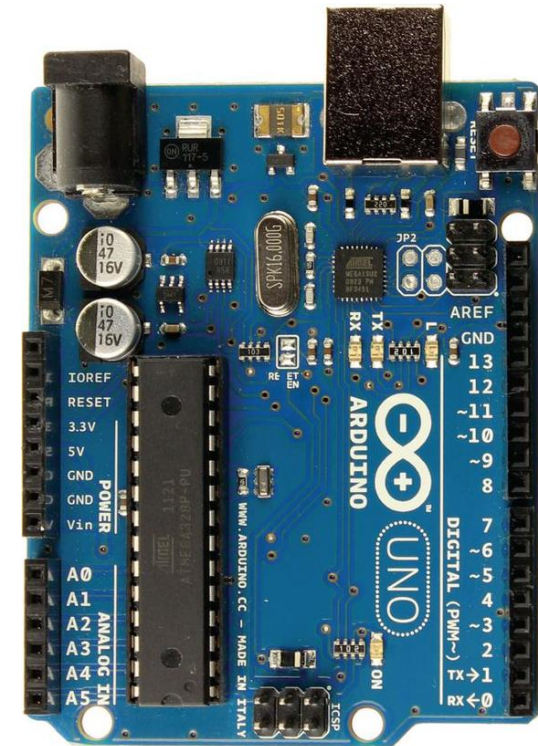
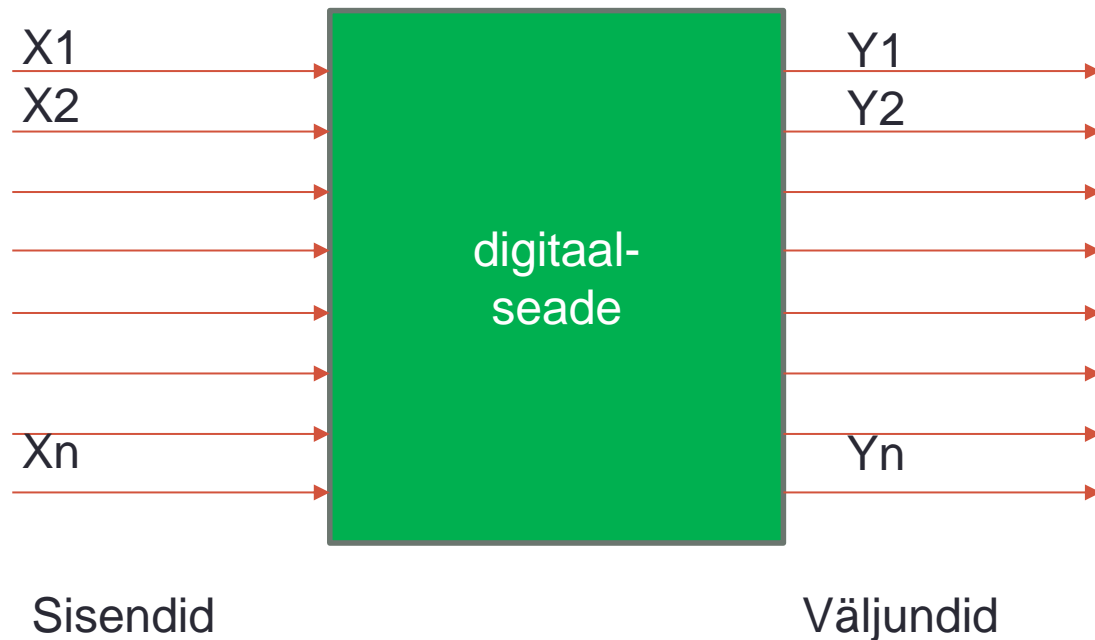
- XOR ja XNOR ei hävita infot vaid võivad teha sellele inversiooni
- Mõned bitid edastatakse invereeritult, millised, määrab ära võti .

Mida pikem on võti, seda
 tülikam on seda proovimise
 teel ära arvata !

võti: 1100 (4 bitine, korduv)	ÕIGE võti: 1100	vastuvõtja	VALE võti: 1101	vastuvõtja
Sisend		Sisend		Sisend
Info	10110010 11011011	sidekanalist:: 01111110 00010111	sidekanalist:: 01111110 00010111	sidekanalist:: 01111110 00010111
Võti	11001100 11001100	Õige võti: 11001100 11001100	VALE võti 11011101 11011101	11011101 11011101
sidekanalisse: 01111110 00010111	dekodeeriud info: 10110010 11011011	dekodeeriud info: 10110010 11011011	dekodeeriud info: 10100011 11001010	dekodeeriud info: 10100011 11001010
	Sama ,mis enne krüpteerimist		Dekodeeritud info on vale !	

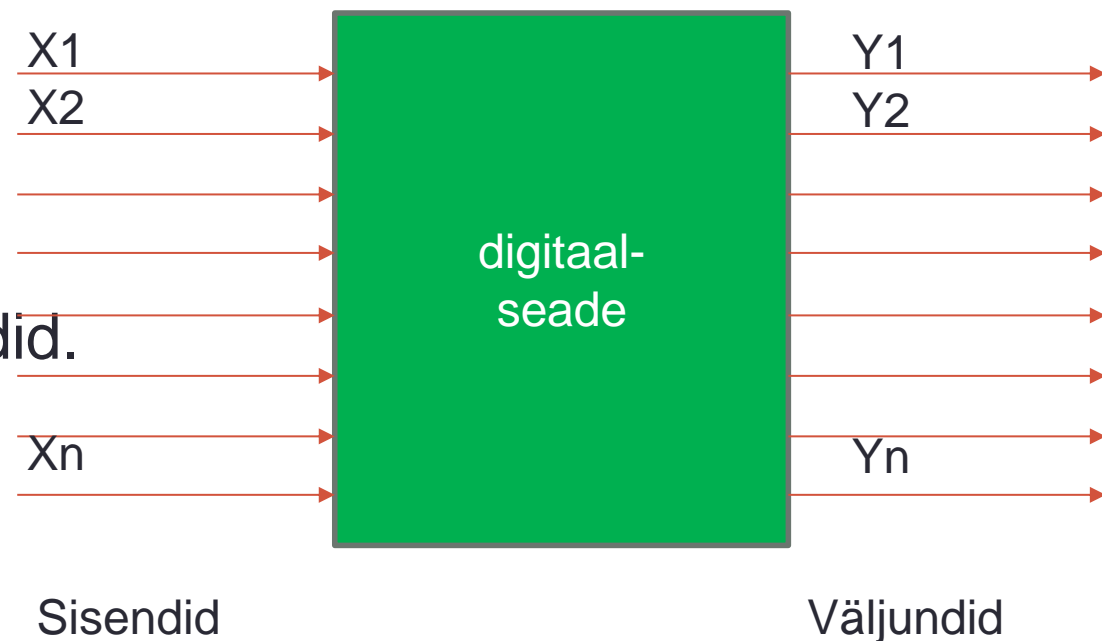
Loogikafunktsioon

- Digitaalse süsteemi käitumise kirjeldamine.
- (mäluta, mäluga, programmeeritav)
- Seob omavahel digitaalsed sisendid ja väljundid.



Mäluta loogikafunktsioon

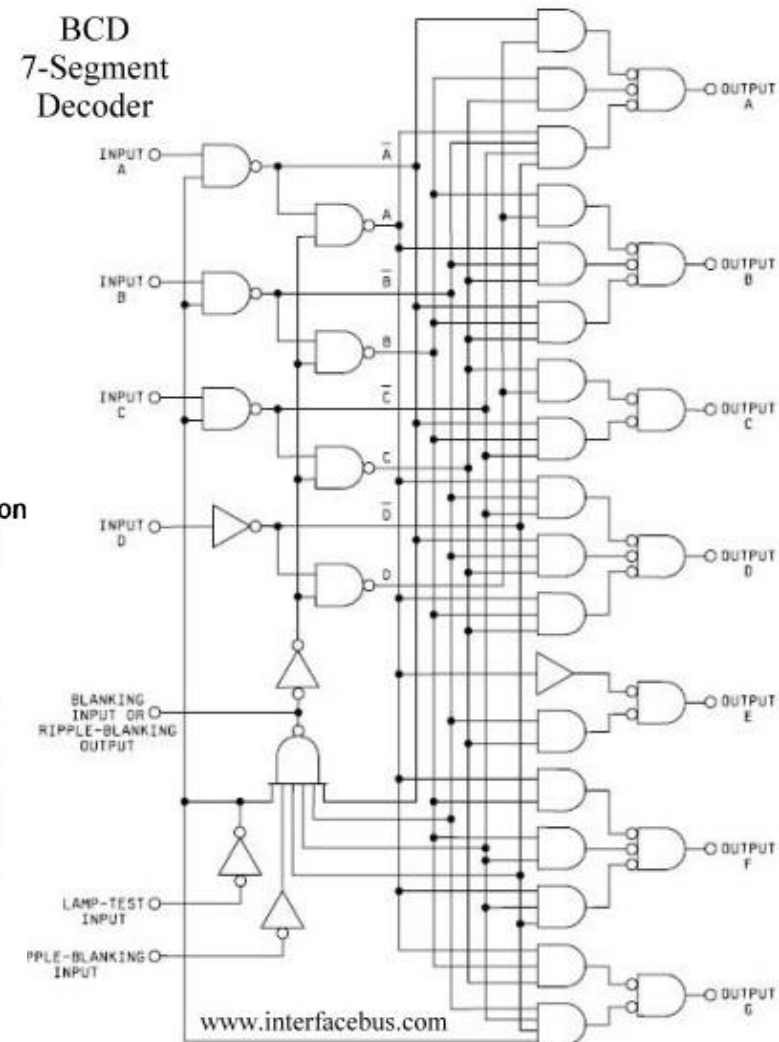
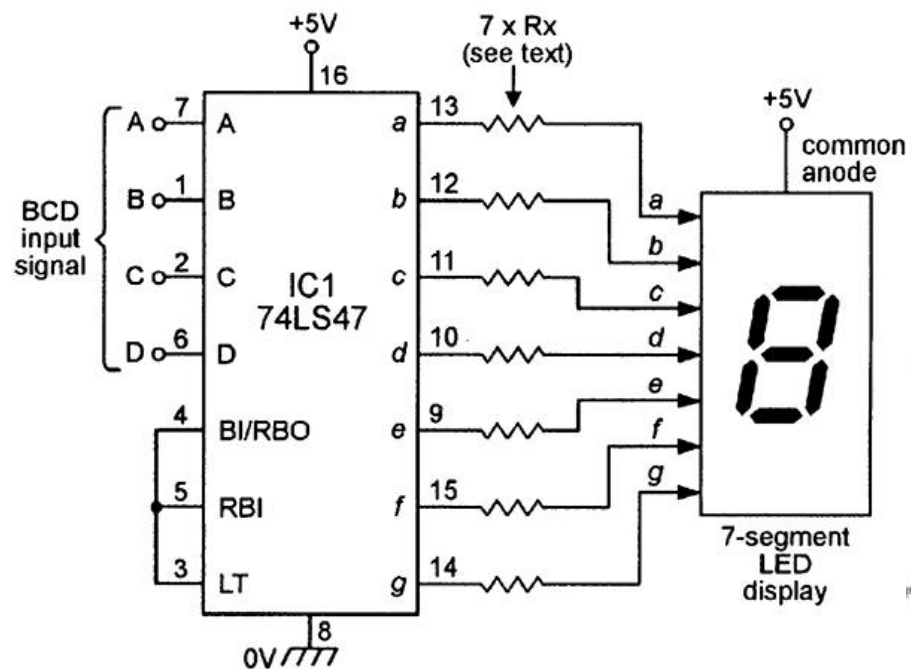
- Digitaalse süsteemi käitumise kirjeldamine.
- Seob omavahel digitaalsed sisendid ja väljundid.
- Tuleb leida iga väljundi Y_i matemaatiline sõltuvus sisenditest $X_1 \dots X_n$.
- Kui sisendeid on n , siis iga väljund võib omada 2^n tähendust.
- **Täielikult määratud** loogikafunktsioonil ongi 2^n tähendust.
- Kui osa tähendusi puudub, on tegemist **osaliselt määratud** loogikafunktsiooniga.
- Sel juhul **ei tohi** osa sisendkoode esineda, sest väljundisse kujunevad fakultatiivsed (omavolilised) tähendused. Need sisendkoodid on **keelatud**.



Kombinatsiooniloogika - 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



Ülejäänud koodid on määramata !

<http://www.interfacebus.com/ic-bcd-to-7-segment-decoder-schematic.html>

Loogikafunktsiooni esitus tabelina

- Tõeväärtuste tabel – kõikvõimalikud sisendkombinatsioonid ja neile vastav väljundi väärtus
- Ülevaatlik, kuid ebamugav kasutada
- Sellest on lihtne kirjutada algebraline kuju.

X_2	X_1	X_0	Y
0	0	0	0
0	0	1	0
0	1	0	0
0	1	1	1
1	0	0	0
1	0	1	1
1	1	0	1
1	1	1	1

Loogikafunktsioon algebralisel kujul (DNV)

- Disjunkttiivne normaalne vorm (DNV) → elementaarsete loogikaliste korrutiste summa. NB! Elementaarsetes korrutistes argument või tema inversioon võib esineda ainult üks kord! DNV saab kätte tõeväärtuste tabelist

$$Y(X_2 X_1 X_0) = \bar{X}_2 X_1 X_0 + X_2 \bar{X}_1 X_0 + X_2 X_1 \bar{X}_0 + X_2 X_1 X_0$$

X_2	X_1	X_0	Y
0	0	0	0
0	0	1	0
0	1	0	0
0	1	1	1
1	0	0	0
1	0	1	1
1	1	0	1
1	1	1	1

Koostamise reeglid:

Kirjutada välja tabelist $X_{n-1} \dots X_0$ kõik kombinatsioonid, kus $Y=1$

Teha neist korrutised – **ühe** konstituendid $1 \rightarrow X, 0 \rightarrow /X$

Liita kokku kõik ühe konstituendid.

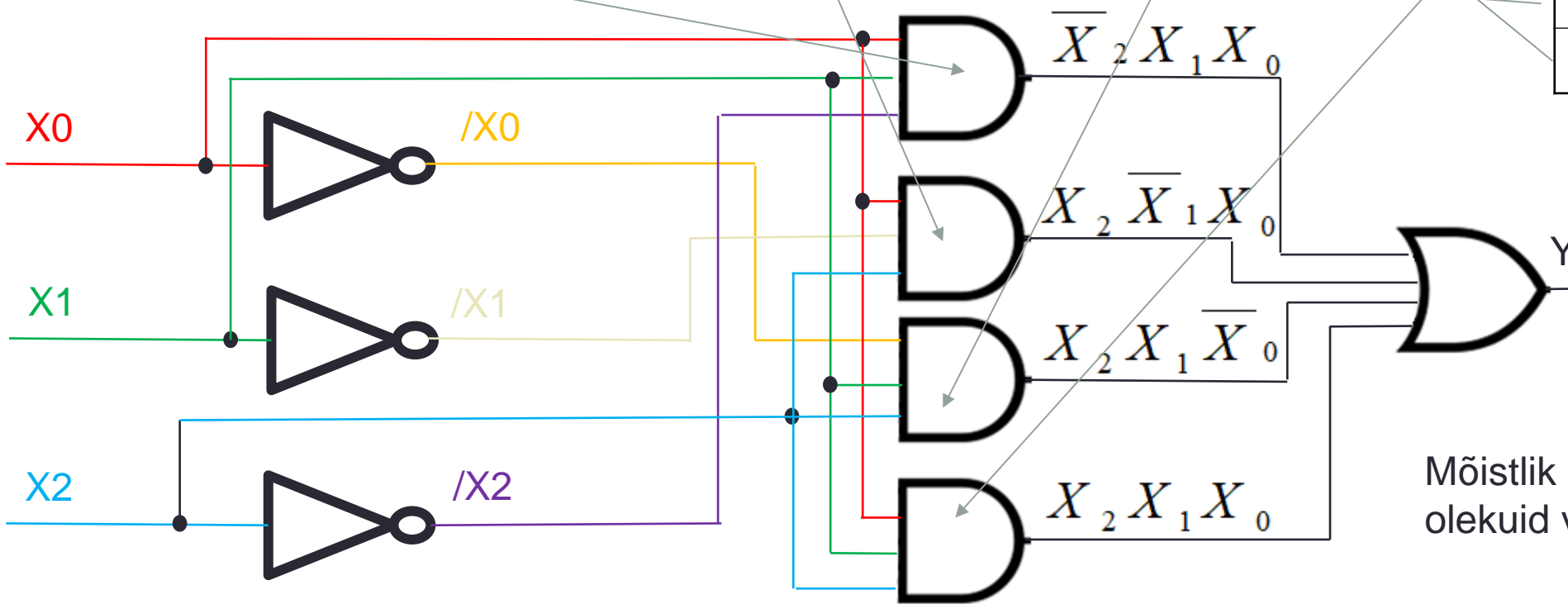
See on TDNV – **Täielik disjunkttiivne normaalvorm**

Loogikafunktsioonist – skeem DNV

- Algebraisel kujul olevast funktsioonist saab sünteesida skeemi.
- Praktiline kasutamine tülikas (enamasti ei toodeta selliseid loogikalülitusi)
- Toimib, kuid sageli ebamõistlik – saab lihtsustada .

X_2	X_1	X_0	Y
0	0	0	0
0	0	1	0
0	1	0	0
0	1	1	1
1	0	0	0
1	0	1	1
1	1	0	1
1	1	1	1

$$Y(X_2 X_1 X_0) = \bar{X}_2 X_1 X_0 + X_2 \bar{X}_1 X_0 + X_2 X_1 \bar{X}_0 + X_2 X_1 X_0$$



Mõistlik siis, kui väljundis 0 olekuid vähem kui 1 olekuid

Loogikafunktsioon algebralisel kujul (KNV)

- Konjunkttiivne normaalne vorm (KNV) → elementaarsete loogikaliste summade korrutis. Koostame samuti tõesuse tabeli alusel. (negatiivne loogika)

$$Y(X_2 X_1 X_0) = (X_2 + X_1 + X_0)(X_2 + X_1 + \bar{X}_0)(X_2 + \bar{X}_1 + X_0)(\bar{X}_2 + X_1 + X_0)$$

X_2	X_1	X_0	Y
0	0	0	0
0	0	1	0
0	1	0	0
0	1	1	1
1	0	0	0
1	0	1	1
1	1	0	1
1	1	1	1

Koostamise reeglid:

Kirjutada välja tabelist $X_{n-1} \dots X_0$ kõik kombinatsioonid, kus $Y=0$

Teha neist summad – nulli konstituendid $1 \rightarrow /X$, $0 \rightarrow X$

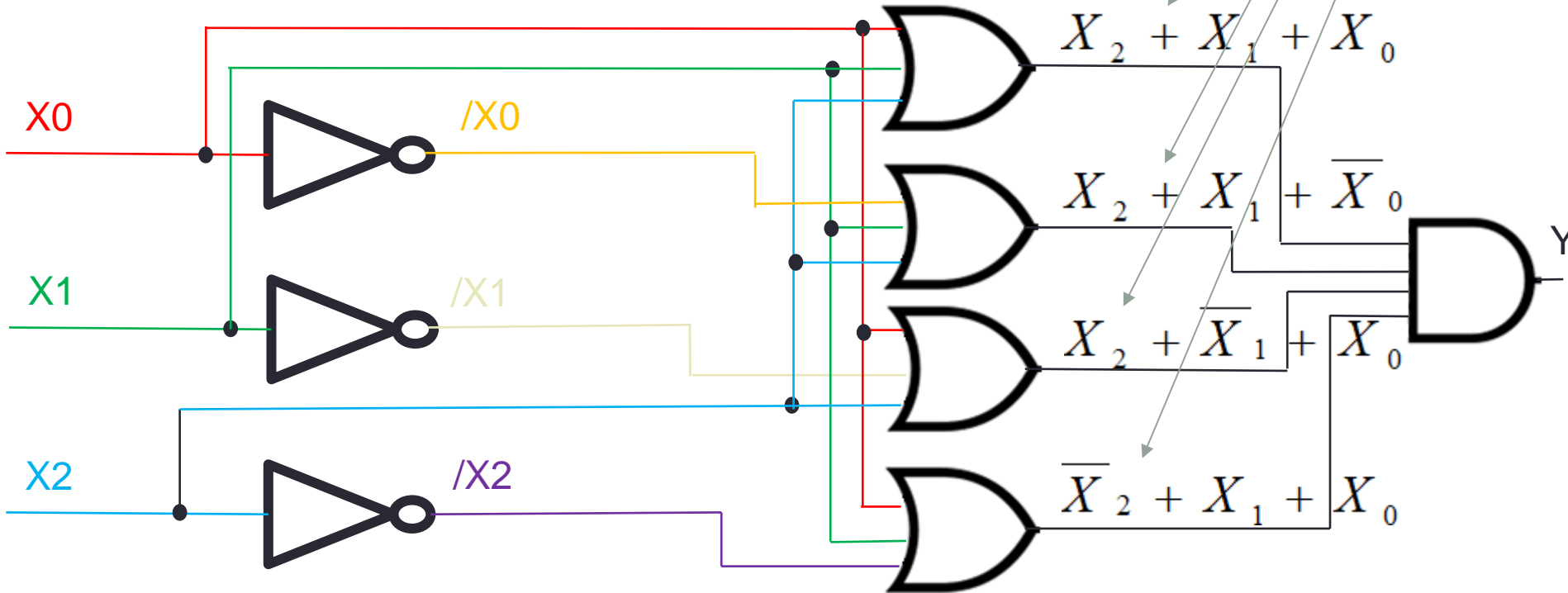
Korrutada kõik nulli konstituendid.

See on TKNV – Täielik konjunkttiivne normaalvorm

Täpselt sama funktsionaalsus

X_2	X_1	X_0	Y
0	0	0	0
0	0	1	0
0	1	0	0
0	1	1	1
1	0	0	0
1	0	1	1
1	1	0	1
1	1	1	1

$$Y(X_2, X_1, X_0) = (X_2 + X_1 + X_0)(X_2 + X_1 + \bar{X}_0)(X_2 + \bar{X}_1 + X_0)(\bar{X}_2 + X_1 + X_0)$$



Duaalsuse printsiip

Kui võrrelda tõesuse tabelit, mis vastavad tehtele NING ja VÕI, siis on kerge märgata, et kui tehe NING määravates tingimustes kõik sisendite ja funktsiooni enda tähendused vahetada nende inversioonide vastu, siis saame postulaadid, mis määravad VÕI tehe ja vastupidi (Postulaat – tõestuseta aktsepteeritav väide)

kui $X_1 * X_2 = Y$, siis $\overline{X_1} + \overline{X_2} = \overline{Y}$

ja

kui $X_1 + X_2 = Y$, siis $\overline{X_1} * \overline{X_2} = \overline{Y}$

Funktsionaalselt täielik süsteem sisaldab eitust ja ühte kahest – NING või VÕI tehe.

Seepärast on ongi populaarsed NING-EI ja VÕI-EI elemendid.



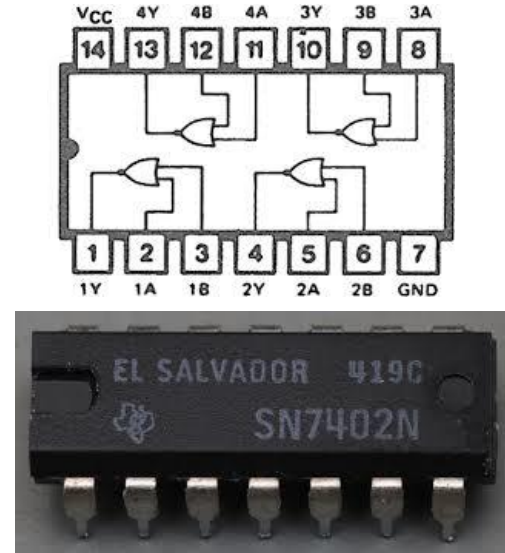
X1	X2	Y
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1



X1	X2	Y
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

VÕI-EI (NOR)

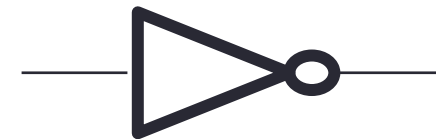
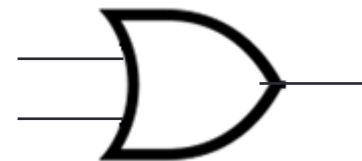
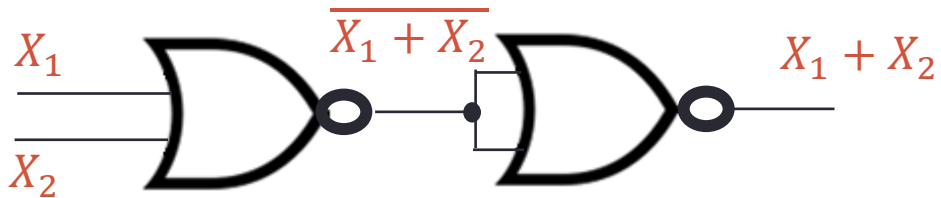
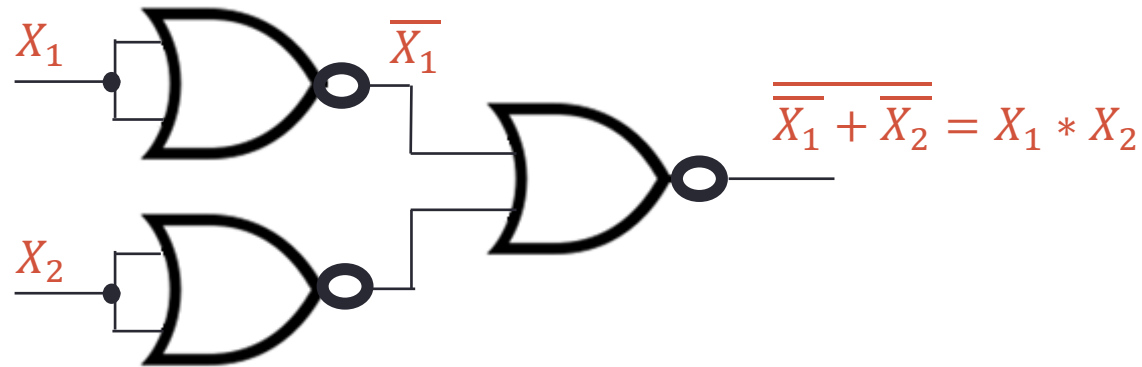
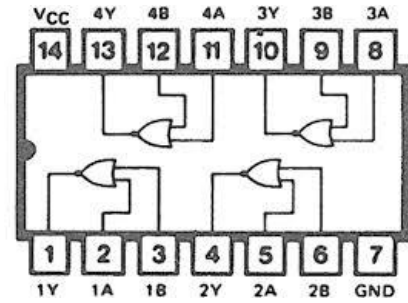
- Üks võimalikest loogika „põhiehituskivist“ (vähemlevinud)
- VÕI ja EI elemendi kaskaadühendus.
- Väljund on 0 kui kasvõi üks sisend on 1
- $Y = X_1 + X_2 + \dots + X_n$ $Y = X_1 \downarrow X_2 \downarrow \dots \downarrow X_n$ - Peirce'i "nool" tähistab diskreetses matemaatikas VÕI-EI tehet (Charles Sanders Peirce 1880)



- Ainult sellest elemendist piisab, et teha kõike !

X1	X2	Y
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0

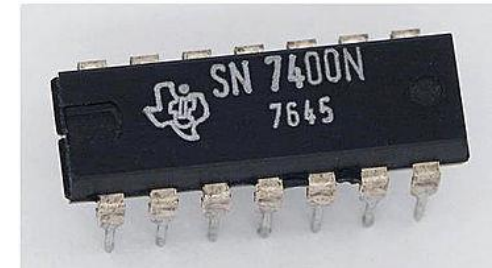
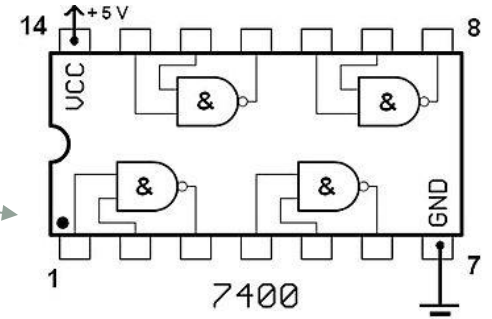
VÕI-EI elemendiga elementaartehted



NING-EI (NAND)

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

SN7400N alates 1963
Texas Instruments



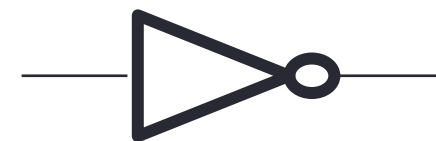
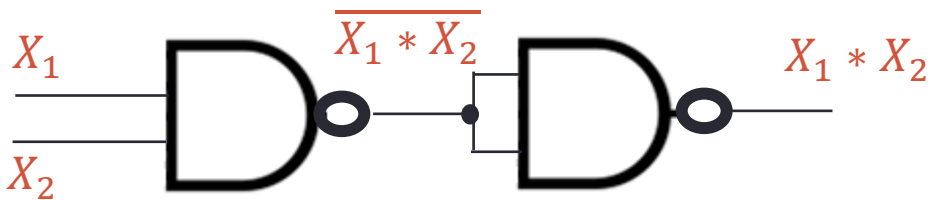
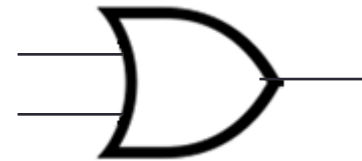
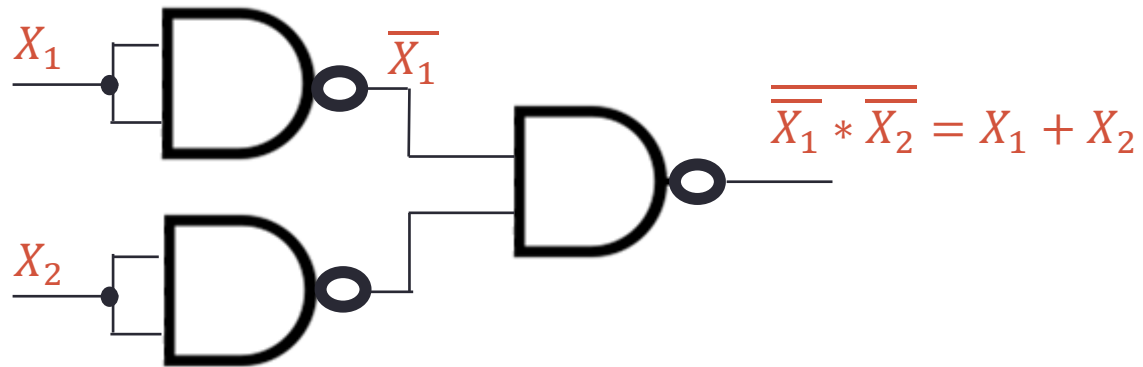
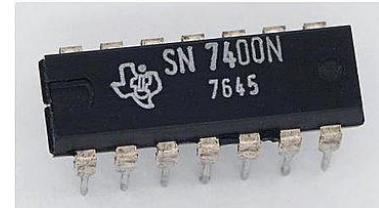
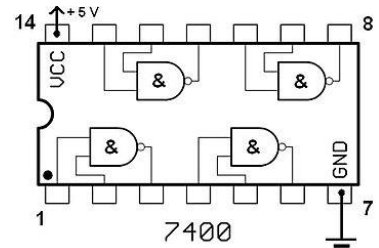
| - Shefferi "joon" – tähistab diskreetses matemaatikas NING-EI tehet



X1	X2	Y
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

- Ainult sellest elemendist piisab, et teha kõike !

NING-EI elemendiga elementartehted



Boole'i algebra teoreemid

Kõik loogikaoperatsioonid alluvad duaalsuse printsiibile.

$$1) X + 0 = X,$$

$$X \cdot 1 = X$$

$$2) X + 1 = 1,$$

$$X \cdot 0 = 0$$

$$3) X + X = X,$$

$$X \cdot X = X$$

$$4) \overline{\overline{X}} + X = 1,$$

$$X \cdot \overline{X} = 0$$

$$5) \overline{\overline{X}} = X$$

$$6) X_1 + X_0 = X_0 + X_1,$$

$$X_1 \cdot X_0 = X_0 X_1$$

$$7) (X_2 + X_1) + X_0 = X_2 + (X_1 + X_0),$$

$$(X_2 \cdot X_1) \cdot X_0 = X_2 \cdot (X_1 \cdot X_0)$$

Boole'i algebra teoreemid

$$8) \underline{\overline{X_1 + X_0} = \overline{X_1} \cdot \overline{X_0}}, \quad \underline{\overline{X_1 \cdot X_0} = \overline{X_1} + \overline{X_0}} \rightarrow \text{De Morgan}$$

$$\rightarrow 9) X_1 \cdot X_0 + X_0 = X_0, \quad (X_1 + X_0) \cdot X_0 = X_0$$

$$10) X_2 \cdot X_1 + X_0 = (X_1 + X_0) \cdot (X_2 + X_0), \\ (X_2 + X_1) \cdot X_0 = X_2 X_0 + X_1 X_0$$

$$11) X_1 \cdot \overline{X_0} + X_0 = X_1 + X_0, \\ (X_1 + \overline{X_0}) \cdot X_0 = X_1 X_0$$

$$12) X_1 \cdot X_0 + \overline{X_1} \cdot X_0 = X_0 \\ (X_1 + X_0) \cdot (\overline{X_1} + X_0) = X_0$$

Võimaldab teisendust
NING-EI ja VÕI-EI vahel.

Täielikult määratud LF minimeerimine

- Karnaugh (Veitch'i) kaardid: graafiline funktsiooni kirjeldus.
- Kaardid ja diagrammid \rightarrow ruudulised tabelid; ruutude arv $\rightarrow 2^n$, kus n – muutujate hulk

	X_1				
X_0	$f(\bar{x}_2, x_1, x_0)$	$f(x_2, x_1, x_0)$	$f(x_2, \bar{x}_1, x_0)$	$f(\bar{x}_2, \bar{x}_1, x_0)$	X_0
	$f(\bar{x}_2, x_1, \bar{x}_0)$	$f(x_2, x_1, \bar{x}_0)$	$f(x_2, \bar{x}_1, \bar{x}_0)$	$f(\bar{x}_2, \bar{x}_1, \bar{x}_0)$	
	X_2				

	X_1		
X_0	$f(x_1, x_0)$	$f(\bar{x}_1, x_0)$	X_0
	$f(x_1, \bar{x}_0)$	$f(\bar{x}_1, \bar{x}_0)$	

	X_1				
X_0	$f(\bar{x}_3, \bar{x}_2, x_1, x_0)$	$f(x_3, \bar{x}_2, x_1, x_0)$	$f(x_3, \bar{x}_2, \bar{x}_1, x_0)$	$f(\bar{x}_3, \bar{x}_2, \bar{x}_1, x_0)$	X_2
	$f(\bar{x}_3, x_2, x_1, x_0)$	$f(x_3, x_2, x_1, x_0)$	$f(x_3, x_2, \bar{x}_1, x_0)$	$f(\bar{x}_3, x_2, \bar{x}_1, x_0)$	
	$f(\bar{x}_3, x_2, x_1, \bar{x}_0)$	$f(x_3, x_2, x_1, \bar{x}_0)$	$f(x_3, x_2, \bar{x}_1, \bar{x}_0)$	$f(\bar{x}_3, x_2, \bar{x}_1, \bar{x}_0)$	
	$f(\bar{x}_3, \bar{x}_2, x_1, \bar{x}_0)$	$f(x_3, \bar{x}_2, x_1, \bar{x}_0)$	$f(x_3, \bar{x}_2, \bar{x}_1, \bar{x}_0)$	$f(\bar{x}_3, \bar{x}_2, \bar{x}_1, \bar{x}_0)$	
	X_3				

Realistlik kasutada kuni nelja sisendi puhul

Täielikult määratud LF minimeerimine

- Veitch'i (Karnauh) kaardile on peale kantud n -muutuvatega LF. Tuleb välja valida, eraldada, täisnurgalised piirkonnad (kontuurid, katted), mis ühendavad kõik LF tähendused (loogika **1** või **0** järgi).
- Iga piirkond, kontuur, peab sisaldama 2^k ruutu, kus k – täisarv.
- Eraldatud piirkonnad võivad ristuda. Teisiti: mõned ruudud võivad kuuluda erinevatele piirkondadele (kontuuridele).
- Saadud kontuuridest valida minimaalne arv maksimaalselt suuri kontuure, mis sisaldavad kõik LF tähendused.
- Loogikaliselt summeerida implekandid, mis vastavad valitud kontuuridele. Saadud summa ongi minimaalne disjunktiivne normaalne vorm (**MDNV**) juhul, kui kirjeldatud protseduur oli tehtud **1** – järgi.
- Kuna minimeeritav LF oli täielikult määratud, siis juhul, kui protseduur oli läbiviidud **0** – järgi, tulemuseks on minimaalne konjunktiivne normaalne vorm (**MKNV**).

Täielikult määratud LF minimeerimine

- Täidame Karnaugh ' , Veich' I kaardi
- Saab ka otse olekutabelist

$$Y(X_2 X_1 X_0) = \bar{X}_2 X_1 X_0 + X_2 \bar{X}_1 X_0 + X_2 X_1 \bar{X}_0 + X_2 X_1 X_0$$

A Karnaugh map for the function Y(X₂, X₁, X₀). The vertical axis is labeled X₀ and \bar{X}_0 . The horizontal axis is labeled $\bar{X}_2 X_1$, X₂X₁, X₂ \bar{X}_1 , and $\bar{X}_2 \bar{X}_1$. The map contains 1s in the following cells: (X₀, $\bar{X}_2 X_1$), (X₀, X₂X₁), (X₀, X₂ \bar{X}_1), (\bar{X}_0 , X₂X₁), and (\bar{X}_0 , X₂ \bar{X}_1). Arrows from the equation point to these 1s: $\bar{X}_2 X_1 X_0$ points to the top-left 1, X₂ $\bar{X}_1 X_0$ points to the top-right 1, X₂X₁ \bar{X}_0 points to the middle-right 1, and X₂X₁X_{0 points to the bottom-right 1.}

X ₀	1	1	1	0
\bar{X}_0	0	1	0	0
	$\bar{X}_2 X_1$	X ₂ X ₁	X ₂ \bar{X}_1	$\bar{X}_2 \bar{X}_1$

A truth table for the function Y(X₂, X₁, X₀). The columns are X₂, X₁, X₀, and Y. The rows are ordered by X₂ (0, 1) and then X₁ (0, 1). The output Y is 1 for the rows (0, 1, 1), (1, 0, 1), (1, 1, 0), and (1, 1, 1), which are highlighted in red in the original image.

X ₂	X ₁	X ₀	Y
0	0	0	0
0	0	1	0
0	1	0	0
0	1	1	1
1	0	0	0
1	0	1	1
1	1	0	1
1	1	1	1

Täielikult määratud LF minimeerimine

- Leiame 2^k ühisosad

$$Y(X_2 X_1 X_0) = \bar{X}_2 X_1 X_0 + X_2 \bar{X}_1 X_0 + X_2 X_1 \bar{X}_0 + X_2 X_1 X_0$$

X_2	X_1	X_0	Y
0	0	0	0
0	0	1	0
0	1	0	0
0	1	1	1
1	0	0	0
1	0	1	1
1	1	0	1
1	1	1	1

	X_1		X_2	
X_0	1	1	1	0
\bar{X}_0	0	1	0	0
	$\bar{X}_2 X_1$	$X_2 X_1$	$X_2 \bar{X}_1$	$\bar{X}_2 \bar{X}_1$

$$Y = X_1 X_0 + X_2 X_0 + X_2 X_1$$

Siin on X_2 eitusega ja ilma

Võivad tekkida ka 4 kaupa, siin näites mitte.

Loogikaseadmete süntees etteantud baasi alusel

- Funktsionaalselt täieliku süsteemi NING, VÕI, EI tavaliselt ei kasutata.
- Praktikas kasutakse NING-EI, VÕI-EI või isegi ainult ühte nendest.
- **NING-EI, VÕI-EI abil saab esitada ükskõik, millist LF !**

Sünteesimisel on kaks võtet

- kahekordne inverteerimine (terve LF või osaliselt)
- De Morgan`i teoreemide kasutamine

Käsitsi lahendamisel on talutavad kuni 4 muutujaga funktsioonid

Keerukamad on mõistlik lasta arvutil sünteesida (kuigi arvuti ei pruugi anda mõnikord mõistlikku lahendust). Keerukus kasvab kiiresti muutujate arvu suurenedes.

Loogikaseadmete süntees etteantud baasi alusel

- Näide : Kasutada on vaid NING-EI elemendid

NB ! Negatiivse loogika VÕI tehe.
Väljund on 0 eitus (1) kui esimene sisend
VÕI teine sisend VÕI kolmas sisend on 0

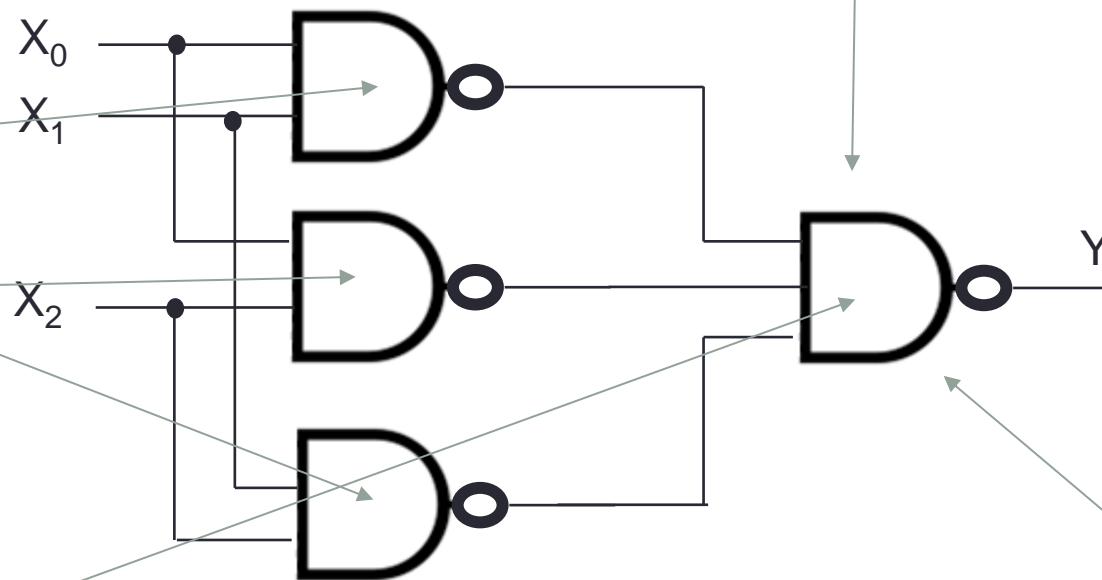
$$Y = X_1 X_0 + X_2 X_0 + X_2 X_1$$

$$Y = \overline{X_1 X_0} + \overline{X_2 X_0} + \overline{X_2 X_1}$$

3 x 2NING- EI

$$Y = \overline{X_1} | \overline{X_0} + \overline{X_2} | \overline{X_0} + \overline{X_2} | \overline{X_1}$$

De Morgani seadus $\overline{X_1 \cdot X_0} = \overline{X_1} + \overline{X_0}$

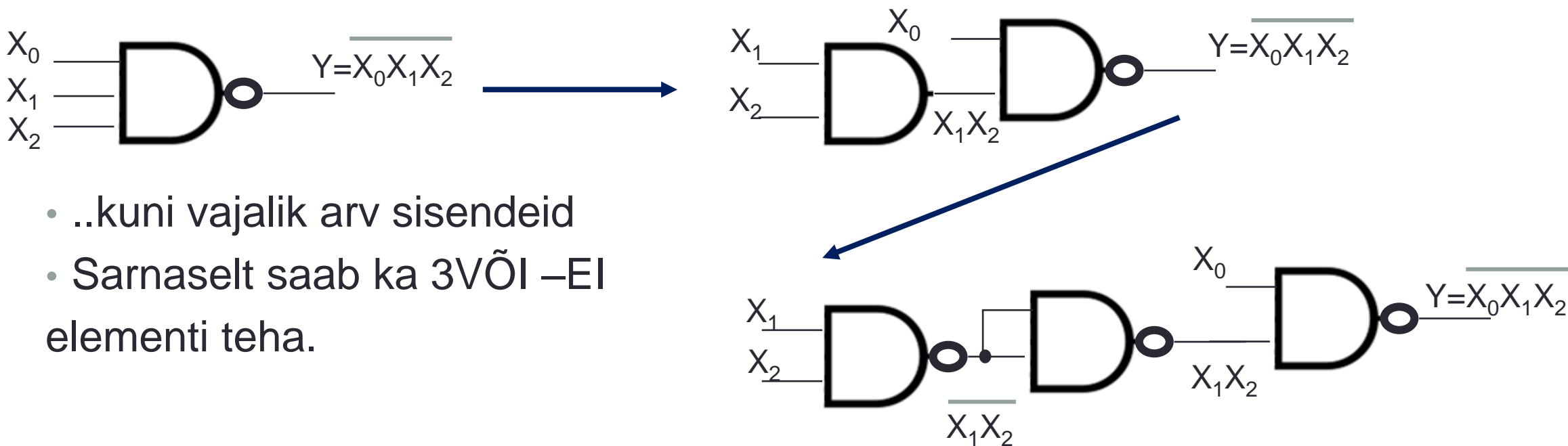


Aga kui meil ei ole 3NING-EI elementi ?
Tuleb teha asendus .

$$Y = (\overline{X_1} | \overline{X_0}) | (\overline{X_2} | \overline{X_0}) | (\overline{X_2} | \overline{X_1}) \longrightarrow \text{Vaja 3NING -EI + 3*2NING-EI}$$

Loogikaseadmete süntees etteantud baasi alusel

- Kui loogikaelemendi (NING-EI, VÕI-EI) sisendeid jääb üle:
Kui LE kõik sisendid saavad ühe ja sama signaali, siis LE muutub inverteriks (EI tehe)
- Kui sisendeid jääb puudu – siis asendus :



- ..kuni vajalik arv sisendeid
- Sarnaselt saab ka 3VÕI –EI elementi teha.

Ehk siis.....see skeem 2NING-EI elementidega

NB ! Mitte midagi ei toimu hetkega !

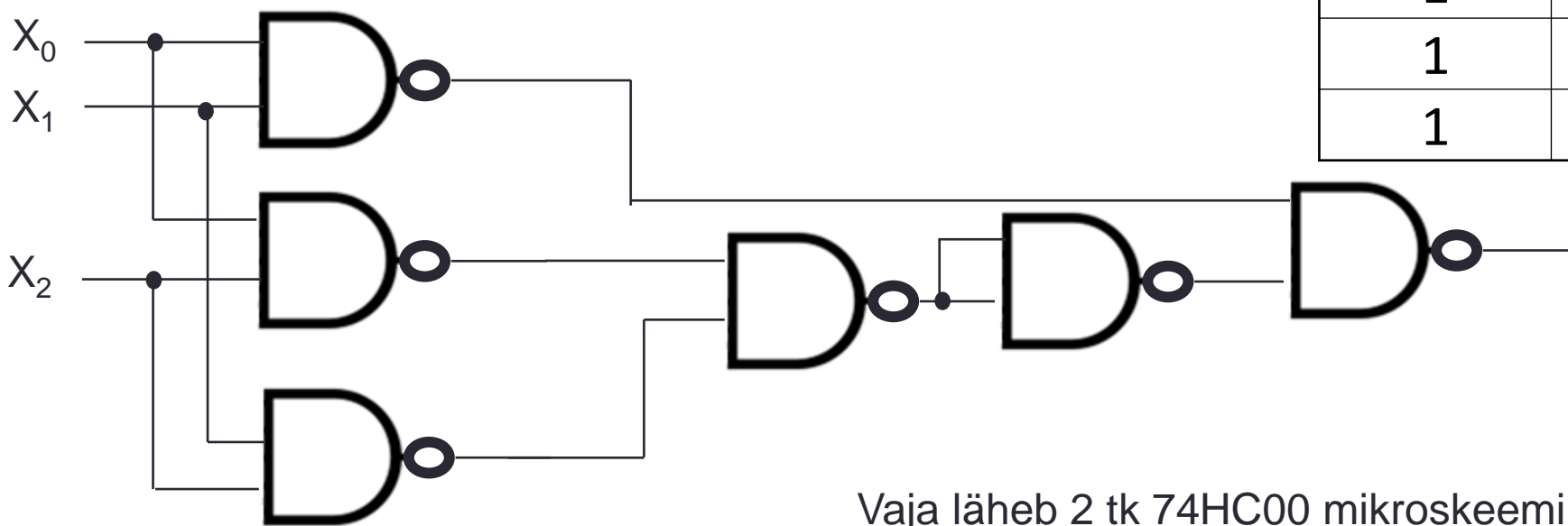
Tekib olekute “võidujooks” $X_0 \rightarrow Y$ tee peal 2 elementi
 $X_1 \rightarrow Y$ 2 või 4 elementi , $X_2 \rightarrow Y$ 4 elementi.

Iga loogikaelement annab hilistumise .

Praktikas võib Y muutuda lühiajaliselt nulliks kui $X_2=1$

Ja samal hetkel muutub $X_0 \rightarrow 0$ ja $X_1 \rightarrow 1$

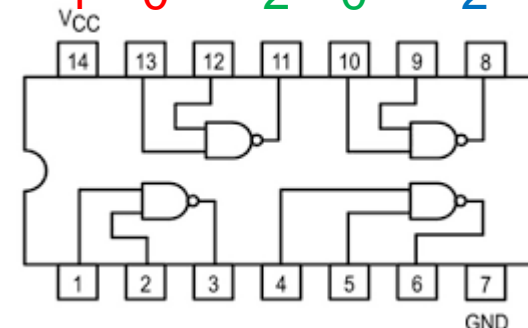
Suurel töösagedusel ,nt andmeside ,on see oluline.



Vaja läheb 2 tk 74HC00 mikroskeemi

X_2	X_1	X_0	Y
0	0	0	0
0	0	1	0
0	1	0	0
0	1	1	1
1	0	0	0
1	0	1	1
1	1	0	1
1	1	1	1

$$Y = X_1 X_0 + X_2 X_0 + X_2 X_1$$

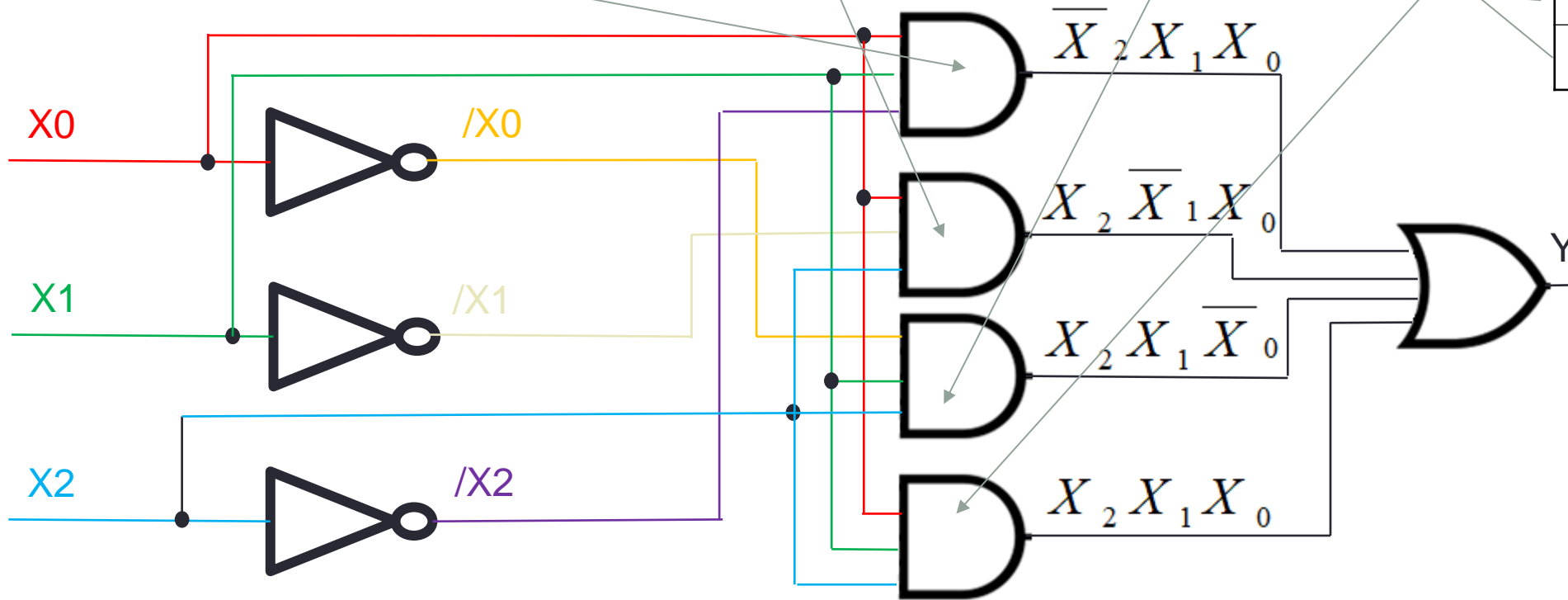


Loogikafunktsioonist – skeem DNV

- Sama funktsionaalsus...enne lihtsustamist
- Vaja läheb 3 tk EI , 4 tk 3NING ja 1 tk 4 OR elementi

X_2	X_1	X_0	Y
0	0	0	0
0	0	1	0
0	1	0	0
0	1	1	1
1	0	0	0
1	0	1	1
1	1	0	1
1	1	1	1

$$Y(X_2 X_1 X_0) = \bar{X}_2 X_1 X_0 + X_2 \bar{X}_1 X_0 + X_2 X_1 \bar{X}_0 + X_2 X_1 X_0$$

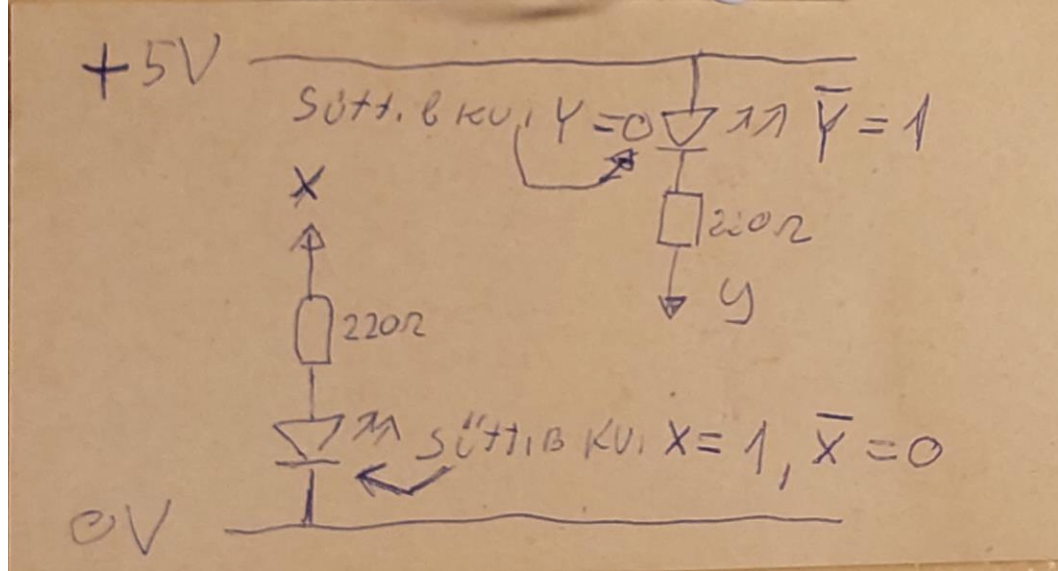
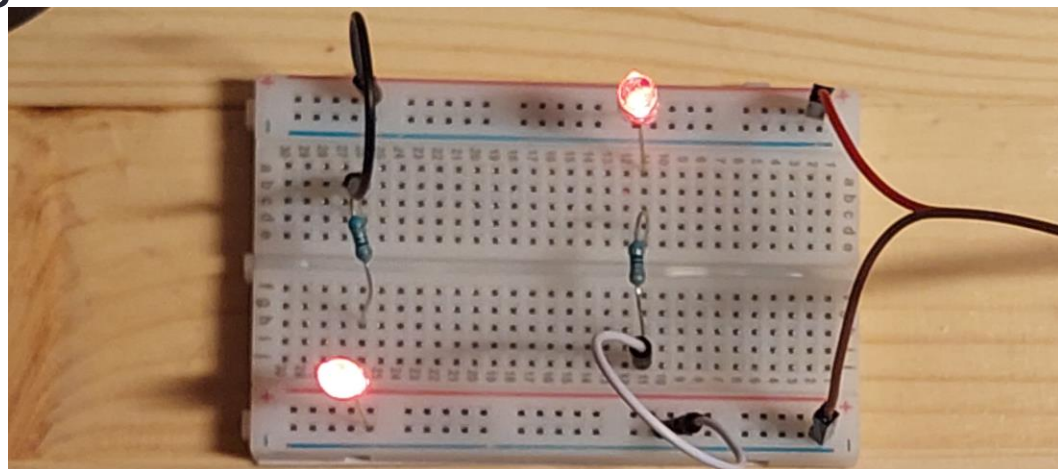
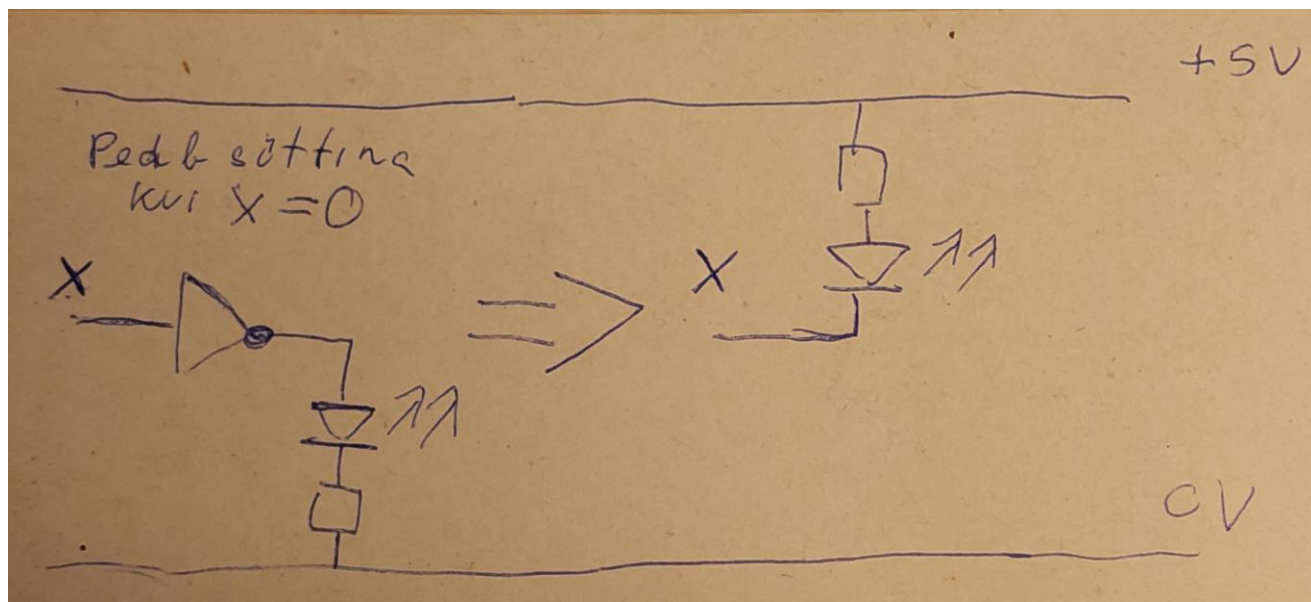


Kodutöö näide

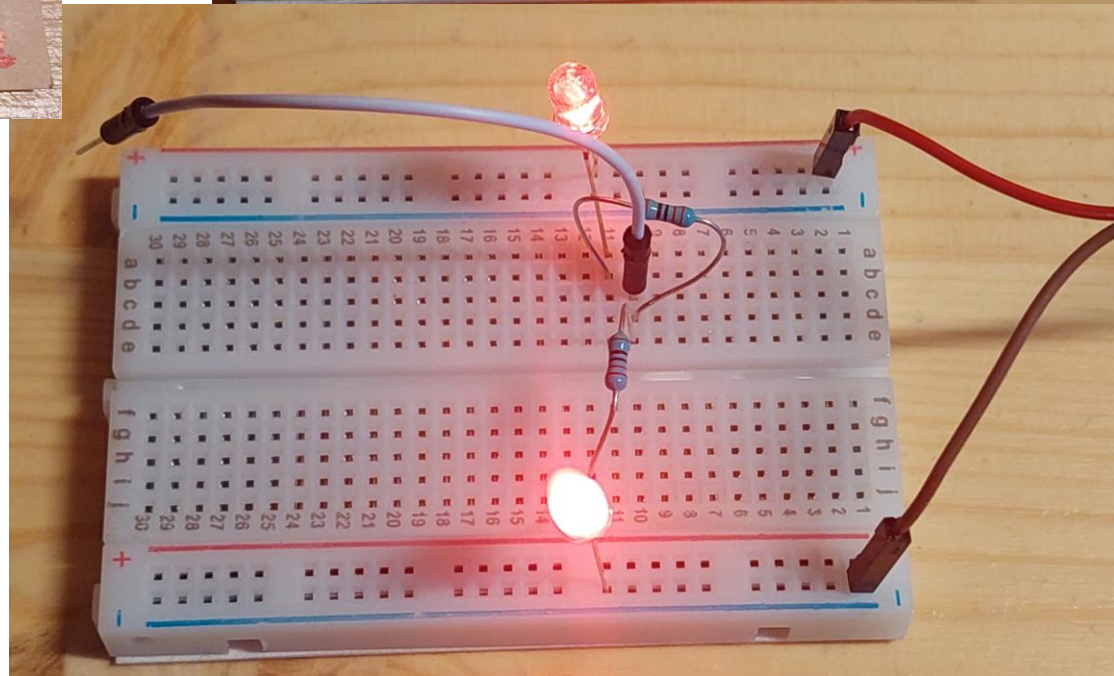
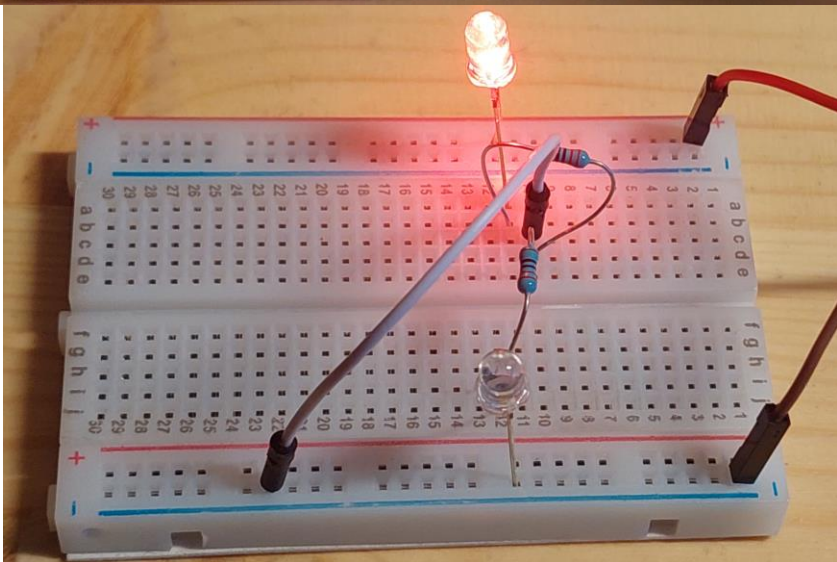
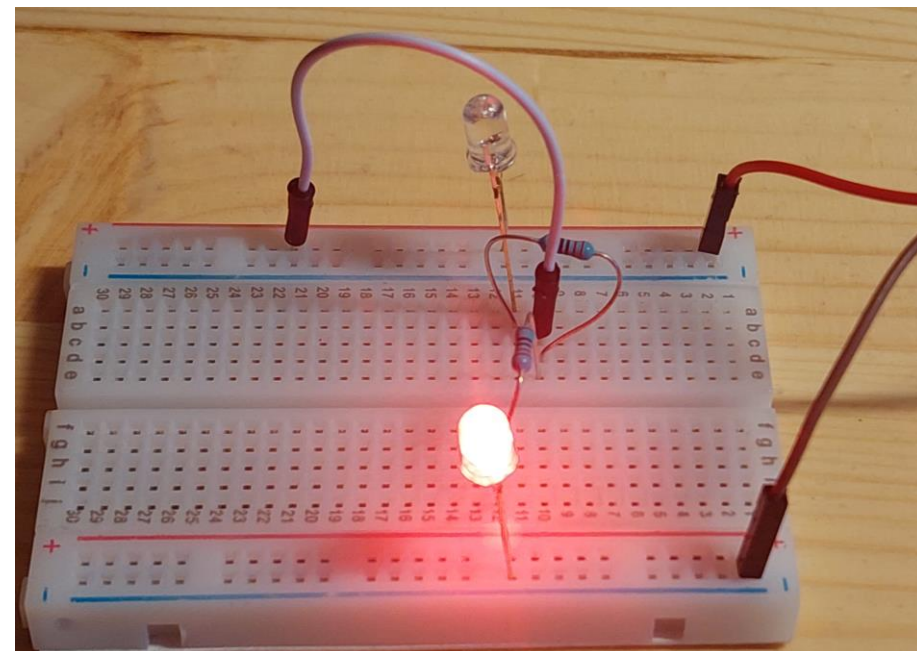
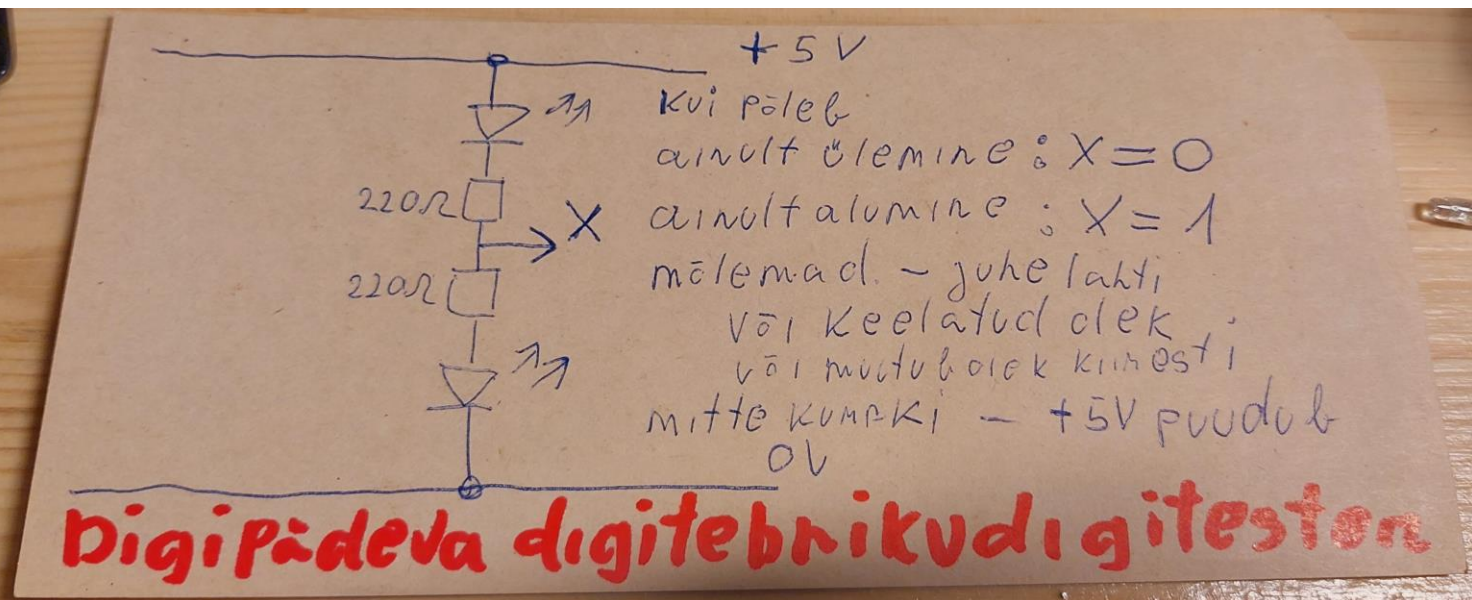
- On siin <https://youtu.be/fQ4aL3w93MY>
- **Lähenege loogikaelementhaaval !!!!**
- Kasutage loogilist mõtlemist.
- (nt võimalik, et vahetulemusi saab grupeerida)
- Äkki on mõistlik negatiivne loogika ?
- Internet on loogikaskeemide generaatoreid täis, aga kas nad annavad mõistliku, lihtsustatud tulemuse ? (loomulikult ei keela neid kasutada)
- Proovige tulemus enne kokkupanekut simulaatoris (nt falstad.com) läbi .
- Kui välja ei tule – küsige (aga siis õppejõud soovib juurde konstruktiivset juttu) ja ta pole selgeltnägija, et vaatab juhtmerägastikule peale ja teab, mis on valesti.
- NB ! Kaitsmisel võib paha õppejõud näiteks küsida – aga milleks seda juhhet on siin vaja ?

Praktilisi näpunäiteid (ka mujal kasulikud)

- Tehke endale loogikaskeemi “proovik”, kasutades valgusdiodi ja takistit.
- Inverteri (eituse) saab teha nii NING-EI kui ka VÕI-EI elemendist, ühendades sisendid kokku.
- Kui viimane element on EI, saab sellest vabaneda, tehes väljundi “negatiivsele loogikale”

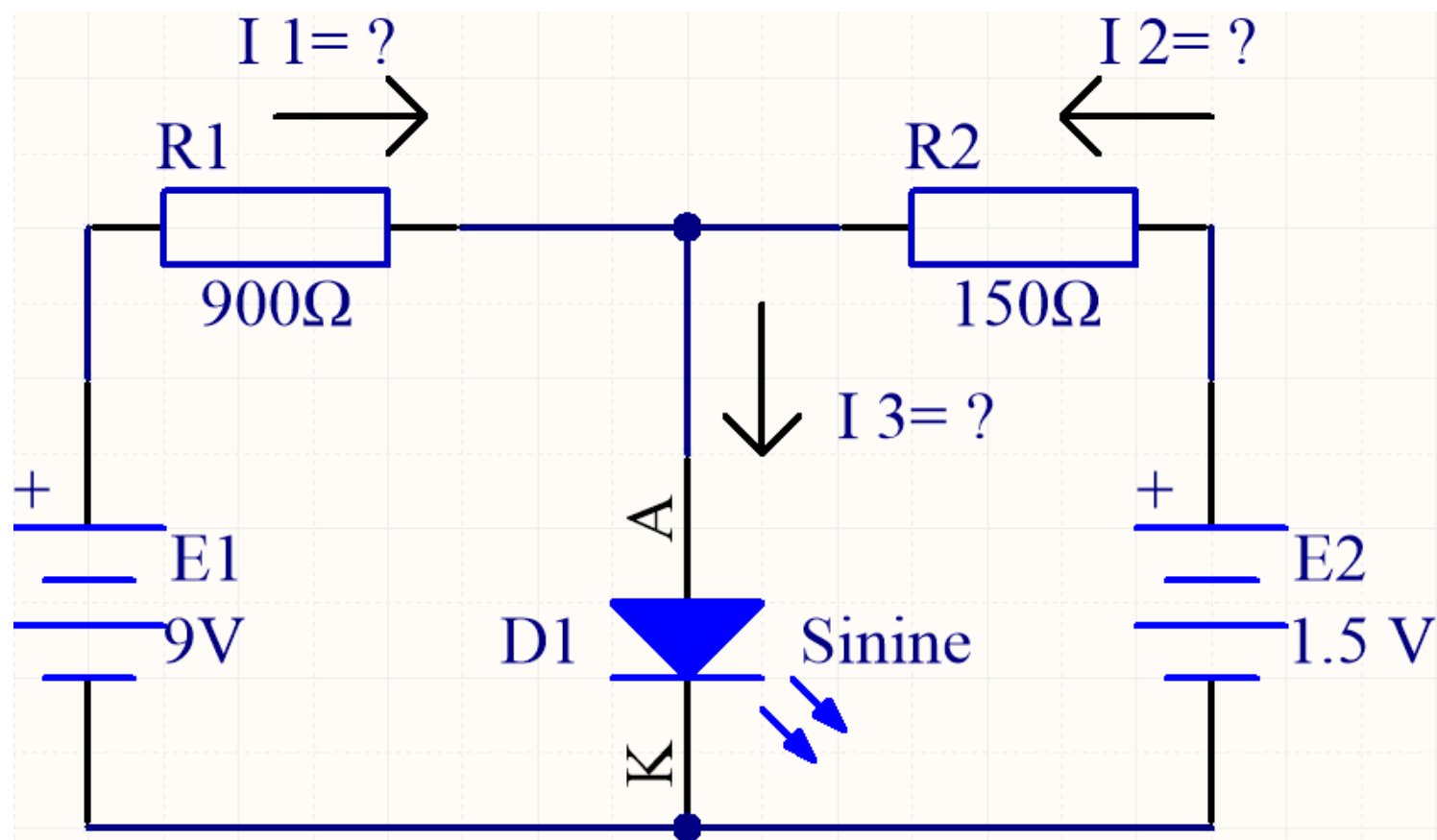


Digi(pä)edeva digitehniku digitester



Elektronikaväljakutse (03.03.2025)

- Arvutage voolud I_1, I_2, I_3
- Variant 1 – kasutusel on D1 - **SININE** valgusdiood .
- Variant 2 – kasutusel on D1 - **PUNANE** valgusdiood .
- Kes näitab esimesena lahenduskäiku ja suudab seda põhjendada, saab väikese “preemia”.



ChatGPT ▾

Kodutöö ja chat gpt



Share



Tere

Tere! Kuidas läheb? 😊

Hästi läheb

Hea kuulda! Mis täna plaanis on? 😊

Mul on vaja lahendada digitaaltehnika ülesanne

Lahe! Mis ülesandega täpsemalt tegemist on? Võin aidata lahenduskäigu või selgitustega. 😊

