

DIGITAALTEHNIKA

kursus

Kinnitatud:

Valmar Ott

01.09.13

Kuupäev

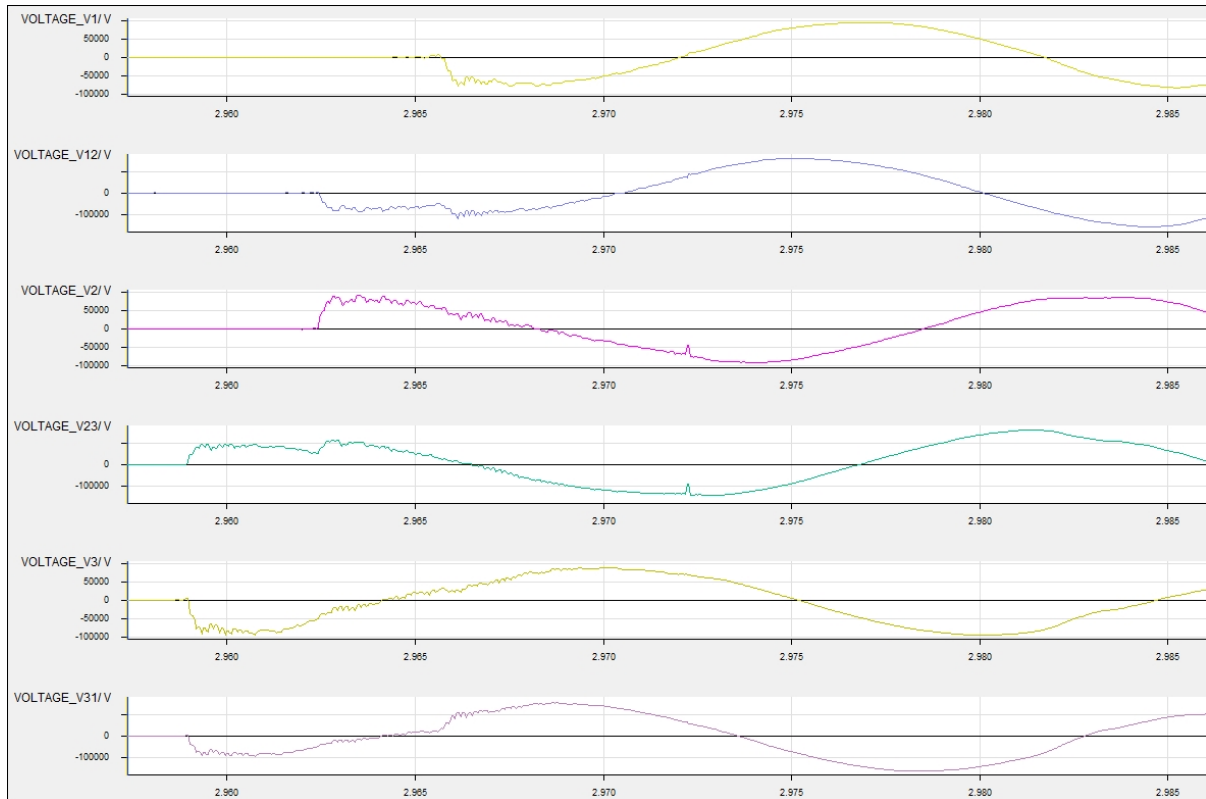
Sisukord

1	Sissejuhatav osa.....	3
1.1	Analoogsuurused.....	3
1.2	Digitaalsuurused	4
1.3	Binaarsignaali.....	5
1.4	Erinevate signaalide ühenduse näide	7
2	Digitaalloomika	8
2.1	Loogikaelementide tähistus	8
2.2	Loogikatehted	9
2.3	Loogika aksioomid.....	12
2.4	Loogikareeglid	12
2.5	Loogikaseadused.....	12
2.6	Loogikalülituste minimeerimine	15
2.6.1	Karnaugh kaart	15
3	Jäljendloomikalülitused	21
3.1	Trigerid	21
3.2	Trigerite tähistus	22
3.3	Schmitti triger.....	24
3.4	RS triger	24
3.5	T triger	25
3.6	D triger.....	25
3.7	JK triger	25
	Kirjandus	27

1 Sissejuhatav osa

1.1 Analooosuured

Loomulikud protsessid eluslooduses ja suur osa tehisproutsesse on pidevatoimelised, neid iseloomustavad pidevad olekusignaaliid mida saab mõõta suvalisel ajahetkel.



Joonis. Analooouprotsesse iseloomustava pideva olekusignaali näide.

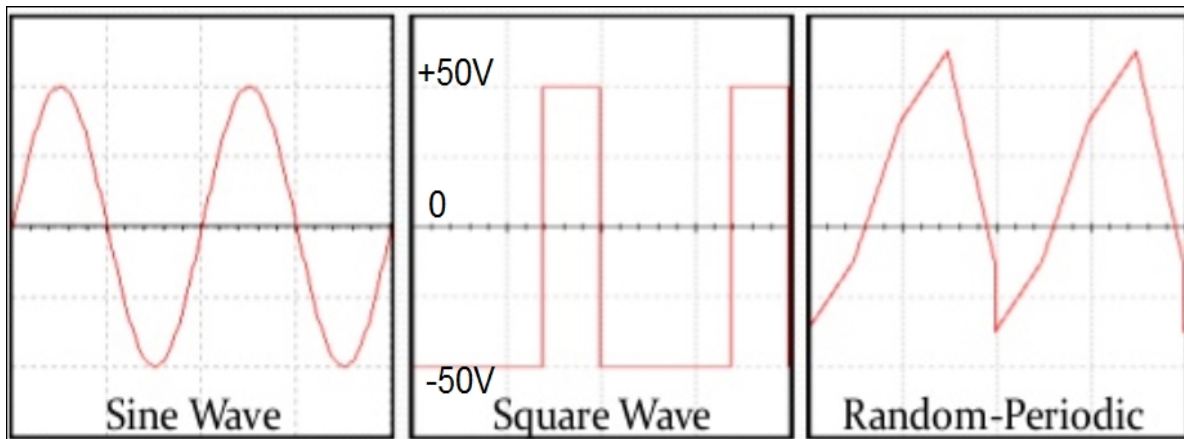
Analooosignaali on mingi mõõdetud füüsikalise suuruse esitus elektrilise signaalina, näiteks V, A. Analooosuured on teatud täpsusega kümnendarvud.

Analooosignaali iseloomustab:

- pidevalt mõõdetav (hinnatav) olek
- mõõteväärtuse lugemi esitamise piiramatus
- väga suur mõõtetäpsus
- keerukas signaalitöötlus

Analooosignaali näited:

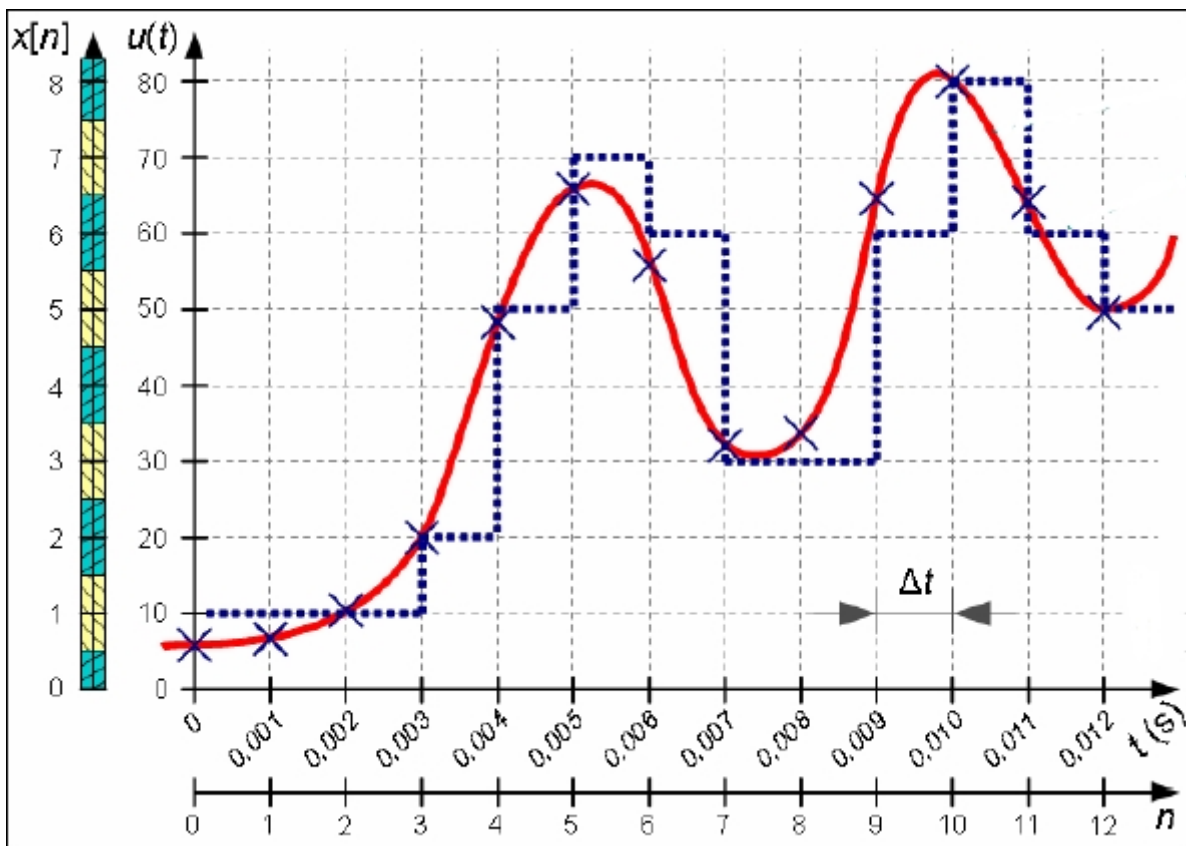
- signaali kuju võib igal ajahetkel muutuda
- signaali miinimumväärtus võib olla negatiivne ja maksimumväärtus võib olla positiivne
- signaal võib olla perioodiline või aperioidiline



Joonis. Analoogsignaali erinevad näited.

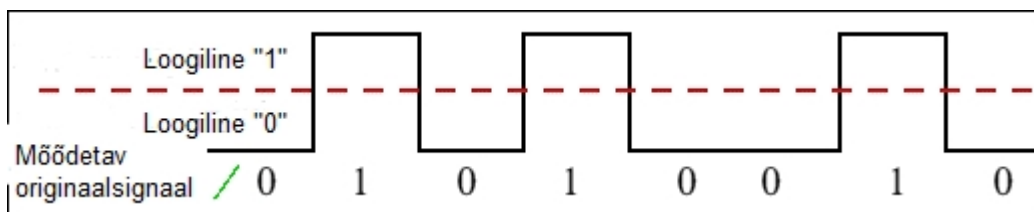
1.2 Digitaalsuurused

Digitaliseerimisprotsessi tulemusena, jagades pideva analoogsignaali lõplikuks arvuks katkendlikeks osadeks, saadakse digitaalsignaali.



Joonis. Teatud pikkusega analoogsignaali jagamine lõplikuks arvuks katkendlikeks osadeks.

Iga üksik digitaalsignaali koostab ühest binaarsignaali terviklikust jadast. Tüüpilised digitaalsignaali vormid on: 4 bitti, 8 bitti, 16 bitti, 32 bitti ja 64 bitti.



Joonis. Digitaalsignaali 1 bait (8 bitti) väärtusega 105.

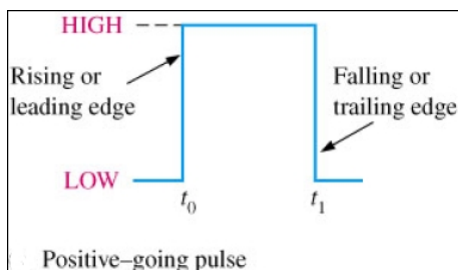
Digitaalsignaali iseloomustab:

- diskreetne ehk katkendlik
- mõõteväärtuse lugemise piiratus
- väiksem mõõtetäpsus
- lihtsam signaalitöötlus

1.3 Binaarsignaali

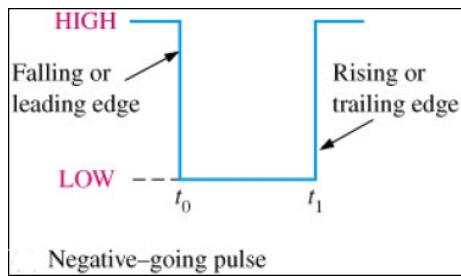
Binaarsignaali on ainult kaks väärtust. Loogiline null ehk madal tase = väär ning loogiline üks ehk kõrge tase = tõene. Iga binaarsignaali moodustab 1 bitti digitaalsignaali tervik.

Binaarsignaali positiivne aktiveerimisimpulss genereeritakse kui binaarsignaali läheb normaalsest madalast tasest kõrgeks ja siis tagasi madalaks.



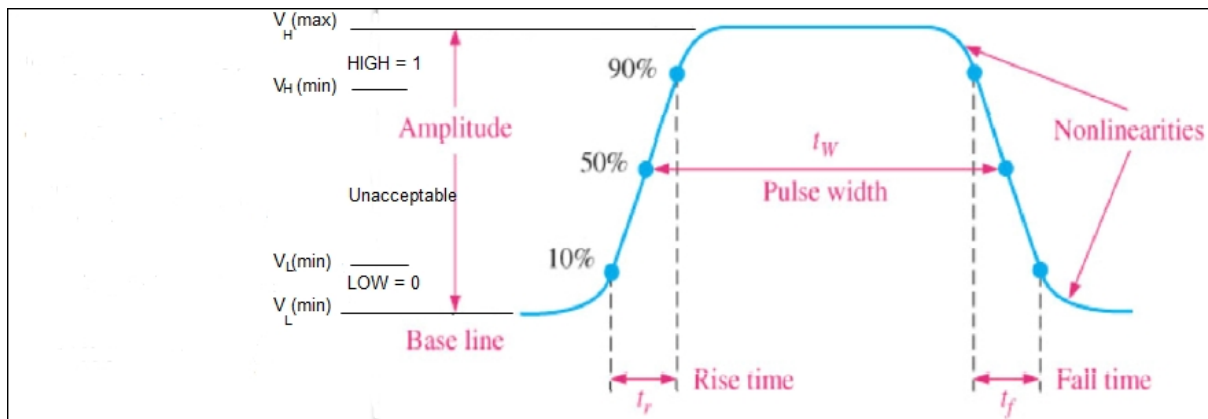
Joonis. Positiivne impulss.

Binaarsignaali negatiivne aktiveerimisimpulss genereeritakse kui binaarsignaali läheb normaalsest kõrgest tasest madalaks ja siis tagasi kõrgeks.



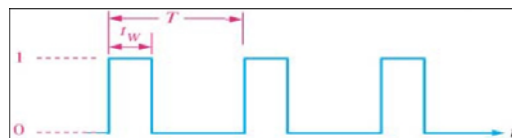
Joonis. Negatiivne impulss.

Kuna elektriseadmete täpsuses esinevad hälbed, määrab standardi EVS-EN 61131-2 loogikasignaalidele kindlad vahemikud. Näiteks nimipinge 230 V korral loetakse pingevahemikku 0-40 V loogiliseks nulliks ja vahemikku 164-253 loogiliseks üheks.



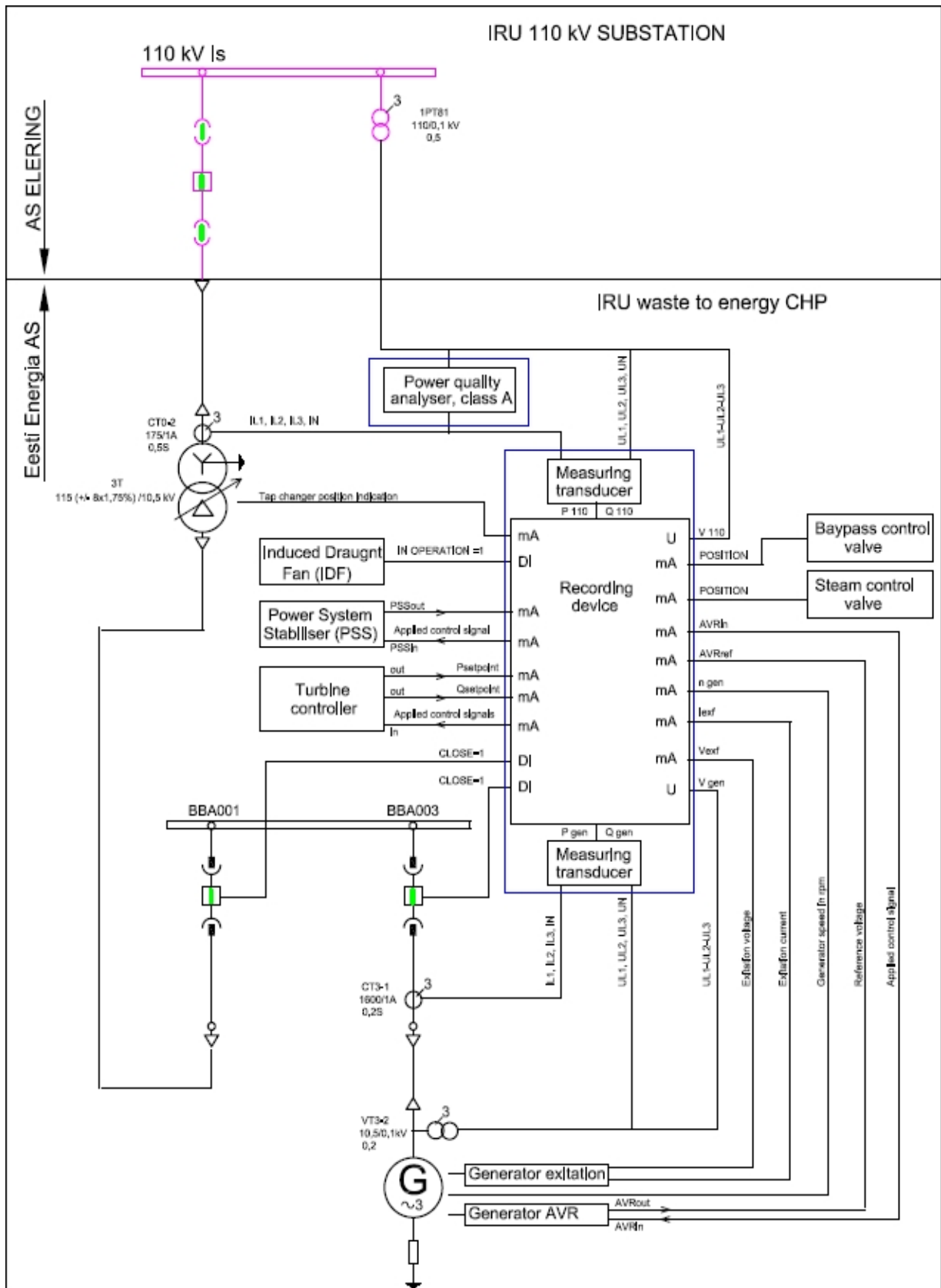
Joonis. Binaarsignaali olulisemad parameetrid.

Perioodilise binaarsignaali sagedus arvutatakse valemiga: $f = 1/T$, milles f (Hz) ja T (sek). Käidutsükkel arvutatakse valemiga: Duty cycle = $(t_w/T) \times 100\%$.



Joonis. Käidutsükli näide.

1.4 Erinevate signaalide ühenduse näide



Joonis. Analoogsignaali ja digitaalsignaali ühenduste näide.

2 Digitaalloomika

2.1 Loogikaelementide tähistus

Loogikaelementide tähistus skeemidel sõltub riigis kehtivast standardist.

Nimetus	ANSI/IEEE Std 91, 91a	IEC 60617	DIN 40700	EN 60617 (kehtetu)
Puhver (Buffer)				
EI (NOT)				
NING (AND)				
NING-EI (NAND)				
VÕI (OR)				
VÕI-EI (NOR)				
Ekvivalentlus (XOR)				
XNOR				

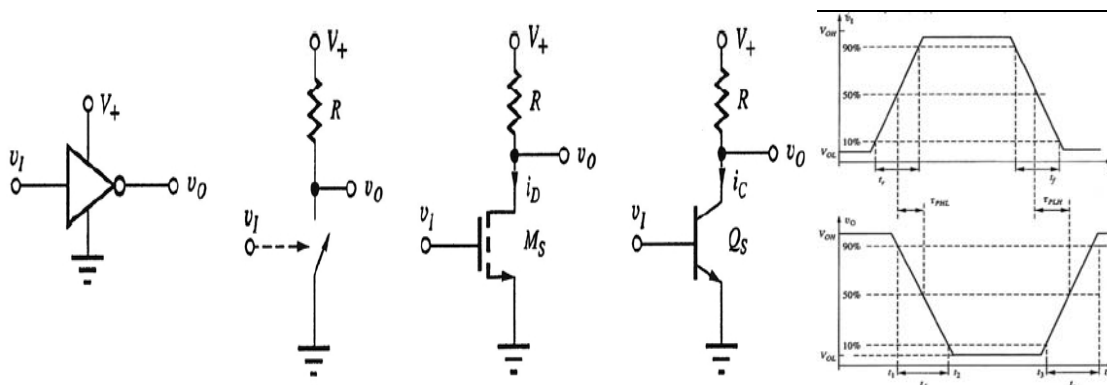
- ANSI (American National Standards Institute)
- IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineers)
- IEC (International Electrotechnical Commission)
- DIN (German Institute for Standardization/Deutsches Institut für Normung)
- EN (European Standard)

2.2 Loogikatehted

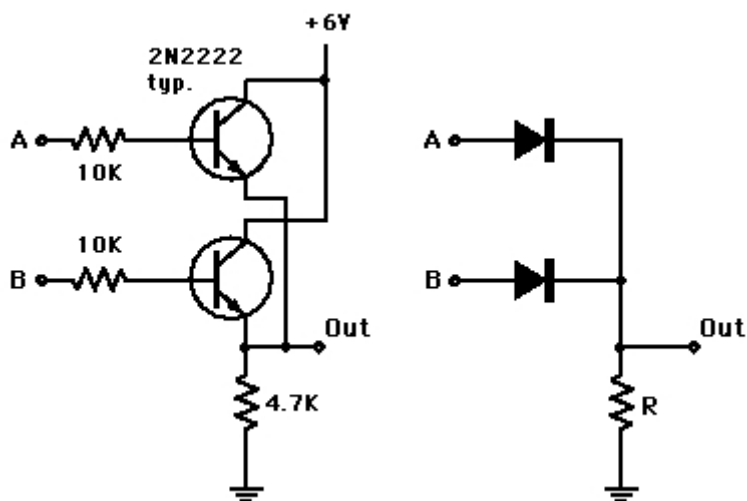
Loogikalülituste projekteerimine, talitus ja selle analüüs põhineb Inglise matemaatiku George Boole [2.11.1815-8.12.1864] loogikaalgebral. Muutujatel saab siin olla ainult kaks väärtust: 0 = väär ja 1 = tõene. Seepärast nimetatakse seda loogikat ka binaarloogikaks. Loogilisi muutujaid tähistatakse ladina tähestiku tähtedega. Sõltumatuid muutujaid (sisendeid) nimetatakse argumentideks, neist sõltuvaid muutujaid aga funktsioonideks. Loogikafunktsiooni kõik argumendid on loogilised muutujad, millel on kaks väärtust 0 ja 1.

Kõiki loogikafunktsioone väljendavad kolm põhitehet: loogiline korrutamine, loogiline liitmine ja loogiline eitus. Loetletud kolm loogikatehet moodustavad loogiliselt täieliku süsteemi, mida rakendades saab realiseerida mis tahes loogikafunktsiooni. Kõiki kolme loogika põhifunktsiooni on loogikaalgebra reeglite alusel võimalik realiseerida ainult üht tüüpi loogikaelementide kas NING-EI või VÕI-EI abil. Järelilikult võib NING-EI- ja VÕI-EI-elemente ning tehteid nendega nimetada universaalseteks loogikaelementideks ja -teheteks.

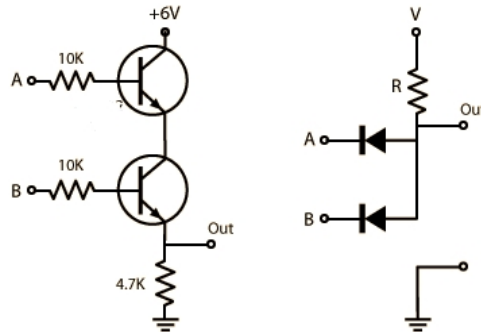
- Loogiline eitus (EI). EI-funktsioonil on argumenti vastandväärtus. Kui argument on 1, siis funktsioon võrdub 0 ning vastupidi. EI-tehet tähistatakse kriipsuga sümboli peal, näiteks argumenti x eitus on \bar{x} . Loogilist eitust nimetatakse ka inversiooniks.



- Loogiline liitmine (VÕI). VÕI-funktsioon on üks siis, kui kas või üks argumentidest võrdub ühega. VÕI-tehte tähistamiseks kasutatakse kas pluss (+) märki või loogilise liitmise eritähist (\vee). Loogilist liitmist nimetatakse ka disjunktsiooniks.



- Loogiline korrutamine (NING). NING-funktsioon on võrdne ühega ainult juhul, kui kõik argumendid on võrdsed ühega. Tehte tähistamiseks kasutatakse nii harilikku korrutusmärki (\cdot) kui ka loogilise korrutamise eritähist (\wedge). Loogilist korrutamist nimetatakse ka konjunktsiooniks.



Lisaks põhifunktsioonidele kasutatakse mitmeid loogika tüüpfunktsioone:

- Konstant. Väljundis on alati etteantud signaal 0 või 1.
- Disjunktsiooni inversioon (VÕI-EI). Väljundis on signaal 0, kui kas või ühes sisendis on signaal 1.
- Konjunktsiooni inversioon (NING-EI). Väljundis on signaal 0, kui kõikides sisendites on signaal 1.
- Ekvivalent ($=$). Väljundis on signaal 1 ainult siis, kui sisenditel on ühesugused väärtused.
- Mittesamaväärsus (M). Väljundis on signaal 1 ainult siis, kui sisenditel on erinevad väärtused.
- X1 implikatsioon. Väljundis on signaal 0 ainult siis, kui $X1=0$ ja $X2=1$.
- X1 keeld. Väljund võrdub sisendiga X1, kui signaal $X2=0$. Signaali $X2=1$ korral on väljundis signaal 0 sõltumata sisendist X1.

Loogikafunktsiooni nimetus	Loogikaelemendi tähis	Kontaktaseskeem	Loogikafunktsioon	Olekutabel		
				X1	X2	Y
kordus			$y = x1$	0	-	0
				1	-	1
eitus/ EI /inversioon			$y = \overline{x1}$	0	-	1
				1	-	0
liitmine/ VÕI/OR /disjunktsioon			$y = x1 \oplus x2$ $y = x1 \vee x2$	0	0	0
				1	0	1
				0	1	1
				1	1	1
korrutamine/ NING/AND /konjunktsioon			$y = x1 \cdot x2$ $y = x1 \wedge x2$ $y = x1 x2$	0	0	0
				1	0	0
				0	1	0
				1	1	1
Pierce'i tehe/ VÕI-EI /disjunktsiooni inversioon			$y = \overline{x1 + x2 + x3}$ $\bar{y} = x1 \oplus x2 \oplus x3$	0	0	1
				1	0	0
				0	1	0
				1	1	0
Schefferi tehe/ NING-EI /konjunktsiooni inversioon			$y = \overline{x1 \cdot x2 \cdot x3}$ $\bar{y} = x1 \cdot x2 \cdot x3$	0	0	1
				1	0	1
				0	1	1
				1	1	0
ekvivalents samaväärsus			$y = x1 \cdot x2 \oplus \overline{x1} \cdot \overline{x2}$	0	0	1
				1	0	0
				0	1	0
				1	1	1
mittesamaväärsus välistav VÕI			$y = \overline{x1} \cdot x2 \oplus x1 \cdot \overline{x2}$	0	0	0
				1	0	1
				0	1	1
				1	1	0
X1 implikatsioon			$y = \overline{x1} \oplus x2$	0	0	1
				1	0	0
				0	1	1
				1	1	1
X2 keeld			$y = x1 \cdot \overline{x2}$	0	0	0
				1	0	1
				0	1	0
				1	1	0

2.3 Loogika aksioomid

Loogikaseadusteks nimetatakse tavaliselt binaarloogika algebra ehk Boole'i algebra seadusi. Algebraks nimetatakse üldjuhul elementide hulka, millega tehakse tehteid, kusjuures nende tehete aluseks on kindlad reeglid ehk aksioomid. Aksioomid määravad ära algebra põhitehete omadused ja seosed. Loogikatehete kohta kehtivad järgmised binaarloogika aksioomid:

1. Argumentide järjekorda võib tehtes muuta
 $a \vee b = b \vee a$ ehk $a + b = b + a$
2. Sulgusid võib avada ehk funktsiooni võib teisendada loogiliste osakorrutiste summaks
 $a \wedge (b \vee c) = a \wedge b \vee a \wedge c$ ehk $a \cdot (b + c) = a \cdot b + a \cdot c$
3. Funktsiooni võib teisendada loogiliste osasummade korrutiseks
 $a \vee b \wedge c = (a \vee b) \wedge (a \vee c)$ ehk $a + b \cdot c = (a + b) \cdot (a + c)$
4. Argumendi ja tema eituse loogiline korrutis võrdub nulliga ega muuda loogilise summa väärtust
 $a \vee a \wedge \bar{a} = a$ ehk $a + a \cdot \bar{a} = a$
5. Suvalise argumendi ja tema eituse loogiline summa võrdub alati ühega
 $a \vee \bar{a} = 1$ ehk $a + \bar{a} = 1$
6. Suvalise argumendi ja tema eituse loogiline korrutis võrdub alati nulliga
 $a \wedge \bar{a} = 0$ ehk $a \cdot \bar{a} = 0$

2.4 Loogikareeglid

Loogikatehete ja loogika aksioomide põhjal leitakse kahendarvude kohta kehtivad reeglid:

- $\bar{0} = 1; \bar{1} = 0$
- $0 \cdot 0 = 0; 0 \cdot 1 = 0; 1 \cdot 0 = 0; 1 \cdot 1 = 1$
- $0 \vee 0 = 0; 0 + 1 = 1; 1 + 0 = 1; 1 + 1 = 1$

Kahendarvude loogika- ja aritmeetikatehted langevad enamuses kokku, välja arvatud loogiline liitmine $1 \vee 1 = 1$ ja aritmeetiline liitmistehe $1 + 1 \neq 1$, mille tulem on erinev. Seepärast tuleb loogika- ja aritmeetikatehteid kindlalt eristada.

2.5 Loogikaseadused

Aksioomide põhjal tuletatakse peamised loogikaseadused:

1. **Domineerimisseadus I.** Suvalise muutujate hulga konjunktsioon on null (tühihulk), kui kas või ainult üks muutujatest võrdub nulliga
 $0 \cdot a \cdot b \cdot c \cdot \dots = 0$
2. **Domineerimisseadus II.** Suvalise muutujate hulga disjunktsioon on üks (universaalhulk), kui kas või ainult üks muutujatest võrdub ühega
 $1 + a + b + c + \dots = 1$

3. **Idempotentsus- ehk samaväärsusseadus** (kehtib ka kolme ja enama muutuja kohta). Argumendi loogiline korrutamine või liitmine iseendaga ei muuda tulemi väärtust
- $a \cdot a = a$
 - $a + a = a$
4. **Eituse eitamise seadus.** Argumendi väärtus tema kahekordsel eitamisel ei muutu
- $\overline{\overline{a}} = a.$
5. **Komplementaarsus- ehk täiendiseadus.** Argumendi ja tema eituse ehk täiendi loogiline korrutis on null, loogiline summa on üks
- $a \cdot \overline{a} = 0$
 - $a + \overline{a} = 1$
6. **Kommutatiivsusseadus.** Argumentide järjekorda loogikatehetes võib muuta
- $a \cdot b = b \cdot a$
 - $a + b = b + a$
7. **Assotsiatiivsusseadus.** Mitme argumendi loogilist korrutamist ja loogilist liitmist võib sooritada suvalises järjekorras või samaaegselt
- $a \cdot (b \cdot c) = (a \cdot b) \cdot c = a \cdot b \cdot c$
 - $a + (b + c) = (a + b) + c = a + b + c$
8. **Distributiivsusseadus** (sulgude avamise seadus). Argumentide loogilist summat võib loogiliselt korrutada argumendiga a või korrutada esmalt kõiki argumente a -ga ning seejärel need korrutised loogiliselt liita. Argumentide loogilisele korrutisele võib liita argumendi a või esmalt liita loogiliselt kõikidele argumentidele a ning seejärel need 20 summad loogiliselt korrutada. Kui esimene teisendus vastab sulgude avamisele arvude algebras, siis teine on rakendatav üksnes loogikaalgebras
- $a \cdot (b + c) = a \cdot b + a \cdot c$
 - $a + (b \cdot c) = (a + b) \cdot (a + c)$
9. **Absorbtsiooni- ehk neelduvusseadused.** Kui kahe argumendi loogilist summat, kus üheks argumendiks on a , korrutada sama argumendiga a , siis teine argument neeldub ning tulemiks on samuti a . Sama kehtib ka siis, kui korrutatavaid summasid on rohkem ning kui kõigis neis sisaldub ühe argumendina a . Seadus on rakendatav nii summade korrutiste kui ka korrutiste summade kohta. Kui osasummas või osakorrutises sisaldub argumendi a eitus (inversioon), on tulemiks a ja teise argumendi korrutis ab või summa $a+b$
- $a \cdot (a + b) = a$
 - $a \cdot (a + b) \cdot (a + c) \cdot \dots \cdot (a + w) = a$
 - $a + a \cdot b = a$
 - $a + a \cdot b + a \cdot c + \dots + a \cdot w = a$
 - $a \cdot (\overline{a} + b) = a \cdot b$
 - $a + \overline{a} \cdot b = a + b$

10. **Kleppimisseadus.** Kui üks loogiline korrutis sisaldab argumenti b ja teine selle eitust, siis nende korrutiste loogilisel summeerimisel argument koondub. Kui üks loogiline summa sisaldab argumenti b ja teine selle eitust, siis nende summade loogilisel korrutamisel argument koondub

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

Üldised kleppimisseadused:

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

11. **De Morgani seadused.** Argumentide loogilise korrutise eitus võrdub nende argumentide eituste loogilise summaga. Argumentide loogilise summa eitus võrdub nende argumentide eituste loogilise korrutisega. De Morgani seadusi rakendades saab asendada loogilise liitmistehte loogilise korrutamisega ning vastupidi loogilise korrutamise tehte loogilise liitmisega

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

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

$$\overline{a \cdot b \cdot c \cdots w} = \bar{a} + \bar{b} + \bar{c} + \cdots + \bar{w};$$

$$\overline{a + b + c + \cdots + w} = \bar{a} \cdot \bar{b} \cdot \bar{c} \cdots \bar{w}.$$

Loogikaseadusi saab tõestada loogika tõeväärtustabelitega või relee-kontaktskeemide abil. De Morgani seaduste tõestus loogika tõeväärtustabelite abil on toodud tabelis. Ühtlasi näitab tabel kätte võimaluse kuidas loogilist NING-EI elementi saab asendada loogikalülitusega mis koosneb VÕI-EI elementidest.

a	b	ab	\overline{ab}	\bar{a}	\bar{b}	$\bar{a} + \bar{b}$
0	0	0	1	1	1	1
0	1	0	1	1	0	1
1	0	0	1	0	1	1
1	1	1	0	0	0	0

a	b	$a+b$	$\overline{a+b}$	\bar{a}	\bar{b}	$\bar{a}\bar{b}$
0	0	0	1	1	1	1
0	1	1	0	1	0	0
1	0	1	0	0	1	0
1	1	1	0	0	0	0

Boole'i ehk loogikafunktsioonide teisendamiseks eraldatakse nende hulgast nn elementaarfunktsioonid. Nendeks on esiteks kõik mõeldavad kahe muutuja funktsioonid, sealhulgas eespool vaadeldud inversioon, disjunktsioon ja konjunktsioon; kahe muutuja funktsioone on kokku 16. Teiseks kuuluvad elementaarfunktsioonide hulka kõik rohkem kui kahe argumentiga funktsioonid, milles argumentid on omavahel seotud kas ainult disjunktsiooni- või ainult konjunktsioonitehtega.

a	b	f_0	f_1	f_2	f_3	f_4	f_5	f_6	f_7	f_8	f_9	f_{10}	f_{11}	f_{12}	f_{13}	f_{14}	f_{15}
		"0"	&	\overrightarrow{ab}	a	\overrightarrow{ba}	b	\oplus	\vee	∇	\sim	\overline{b}	\rightarrow	\overline{a}	\rightarrow	$\overline{\&}$	"1"
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1
1	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1
1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1

Boole'i funktsiooni standardesituseks on tema normaalkuju. Loogikafunktsiooni normaalkuju koosneb **elementaarkonjunktsioonidest** (konjunktsioonitehte abil seotud otsestest või inverteeritud muutujatest, kus iga muutuja esineb vaid üks kord). Kui loogikafunktsioon on esitatud elementaarkonjunktsioonide disjunktsioonina, nimetatakse esitusviisi funktsiooni **disjunktiivseks normaalkujuks (DNK)**. Vähem kasutatakse loogikafunktsiooni **konjunktiivset normaalkuju (KNK)**, mil funktsioon esitatakse elementaardisjunktsioonide konjunktsioonina. Kui funktsiooni disjunktiivse normaalkuju iga elementaarkonjunktsioon sisaldab kõiki muutujaid, nimetatakse funktsiooni esitusviisi tema **täielikuks disjunktiivseks normaalkujuks (TDNK)**. Täielikku disjunktiivset normaalkuju on hõlpus leida loogikafunktsiooni oleku- ehk tõeväärtustabelist.

2.6 Loogikalülituste minimeerimine

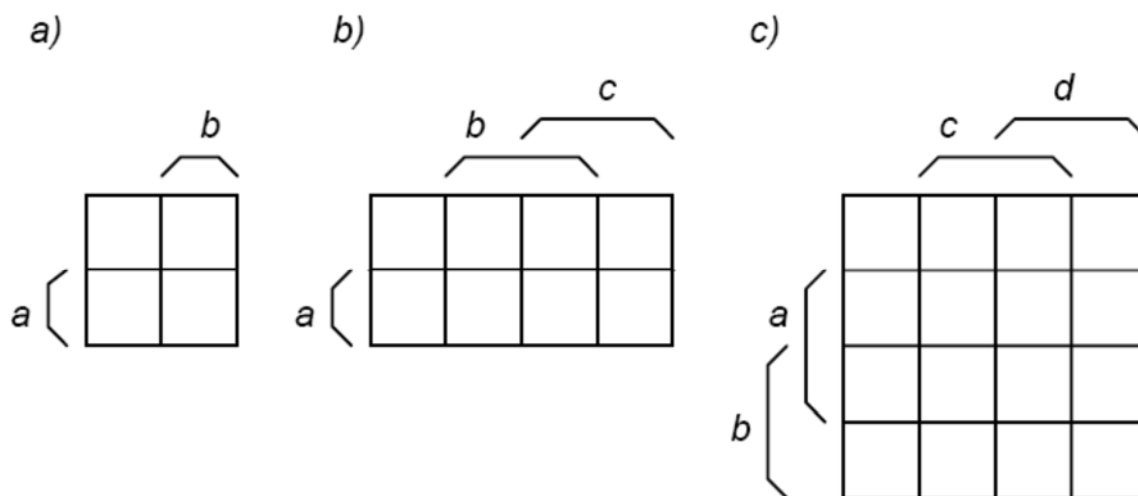
Loogikalülituste konstrueerimisel on oluline lülitust võimalikult lihtsustada, mis vähendab lülituse hinda ja koostamise töömahtu. Seepärast tuleb juba loogikalülituste sünteesil funktsioone kindlate kriteeriumide järgi minimeerida. Kõige enam on läbi töötatud loogikafunktsioonide täielike disjunktiivsete normaalkujude minimeerimismeetodid. Tavaliselt on eesmärgiks leida minimaalse pikkusega loogikafunktsiooni algebraline avaldis, milles on minimaalne arv sisendmuutujate tähiseid, näiteks minimaalne disjunktiivne normaalkuju ehk MDNK. Loogikafunktsioonide minimeerimiseks kasutatakse

- vahetu lihtsustamine
- lihtsustamine Karnaugh kaardi abil
- Quine - Mc Cluskey meetod
- Blake' i meetod.

2.6.1 Karnaugh kaart

Karnaugh kaart on loogikafunktsiooni tõeväärtustabeli ehk olekutabeli erikuju, mida kasutatakse funktsiooni minimeerimiseks. Karnaugh kaart on ruudu- või ristkülikukujuline lahterdatud tabel.

Lahtrite arv sõltub funktsiooni sisendmuutujate (argumentide) arvust n ning vastab muutujate kombinatsioonide arvule 2^n . Muutujad ja funktsiooni väärtused paigutatakse tabelisse nii, et võimalik oleks esitada kõiki muutujate kombinatsioone. See eeldab muutujate erilist paigutust, nagu on näidatud joonisel.



Karnaugh kaardid kahe (a), kolme (b) ja nelja muutuja (c) loogikafunktsiooni jaoks

Klambriga hõivatud alas on muutujal otsene, väljaspool klambrit aga inverteeritud väärtus. Karnaugh kaarti saab koostada loogikafunktsiooni tõeväärtustabeli või algebralise võrrandi järgi. Karnaugh kaardi iseloomulikuks omaduseks on, et funktsiooni väärtused erinevad kõrvuti asuvates lahtrites vaid ühe muutuja poolest, s. t naaberlahtrisse minekul muudab (inverteerib) oma olekut vaid üks sisendmuutuja. Seejuures loetakse naabriteks ka kaardi äärmised vasakpoolsed ja äärmised parempoolsed ning ülemised ja alumised lahtrid. Naaberlahtreid, mis erinevad vaid ühe muutuja poolest, kasutatakse loogikafunktsiooni minimeerimiseks. Seejärel kirjutatakse loogikafunktsiooni avaldis disjunktiiivsel normaalkujul, milles igale kontuurile vastab elementaarkonjunktsioon muutujatest, mis terve kontuuri jaoks on kas inverteerimata või inverteeritud.

a. Kahe muutujaga näide

- a. Kahe muutujaga loogika olekutabel, milles peab olema toodud kõigile võimalikele sisendsignaali kombinatsioonidele vastavad väljundsignaali väärtused

Sisend		Väljund
A	B	Y
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

- b. Seejärel kirjutatakse olekutabelile lihtsustamata loogikafunktsioon disjunktiiivsel normaalkujul

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

- c. Aseta ühed Karnaugh kaardile

	\bar{b}	b
\bar{a}		1
a	1	1

- d. Moodusta külgnevatest ühtede paaridest (kahekaupa, neljakaupa, kaheksakaupa) silmused

	\bar{b}	b
\bar{a}		1
a	1	1

- e. Silmustes olevad paarid minimiseeritakse

$$Y = A + B$$

	\bar{b}	b
\bar{a}		1
a	1	1

- b. Kolme muutujaga näide

- a. Kolme muutujaga loogika olekutabel, milles peab olema toodud kõigile võimalikele sisendsignaali kombinatsioonidele vastavad väljundsignaali väärtused

Sisend			Väljund
A	B	C	Y
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	0	1
0	1	1	1
1	0	0	0
1	0	1	1
1	1	0	0

1	1	1	1
---	---	---	---

b. Seejärel kirjutatakse olekutabelile lihtsustamata loogikafunktsioon disjunktiiivsel normaalkujul

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

c. Aseta ühed Karnaugh kaardile

	A • B				
C		00	01	11	10
0			1		
1		1	1	1	1

	C̄	C
ā • b̄		1
ā • b	1	1
a • b̄		1
a • b		1

d. Moodusta külgnevatest ühtede paaridest (kahekaupa, neljakaupa, kaheksakaupa) silmused

	A • B				
C		00	01	11	10
0			1		
1		1	1	1	1

	C̄	C
ā • b̄		1
ā • b	1	1
a • b̄		1
a • b		1

e. Silmustes olevad paarid minimiseeritakse

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

	A • B				
C		00	01	11	10
0			1		
1		1	1	1	1

	C̄	C
ā • b̄		1
ā • b	1	1
a • b̄		1
a • b		1

☐ Nelja muutujaga näide

a. Nelja muutujaga loogika olekutabel, milles peab olema toodud kõigile võimalikele sisendsignaali kombinatsioonidele vastavad väljundsignaali väärtused

Sisend				Väljund
A	B	C	D	Y
0	0	0	0	0

Sisend				Väljund
0	0	0	1	1
0	0	1	0	0
0	0	1	1	1
0	1	0	0	0
0	1	0	1	1
0	1	1	0	1
0	1	1	1	1
1	0	0	0	0
1	0	0	1	1
1	0	1	0	0
1	0	1	1	1
1	1	0	0	0
1	1	0	1	1
1	1	1	0	0
1	1	1	1	1

b. Seejärel kirjutatakse olekutabelile lihtsustamata loogikafunktsioon disjunktiiivsel normaalkujul

$$Y = \bar{a} \cdot \bar{b} \cdot \bar{c} \cdot d + \bar{a} \cdot \bar{b} \cdot c \cdot d + \bar{a} \cdot b \cdot \bar{c} \cdot d + \bar{a} \cdot b \cdot c \cdot \bar{d} + \bar{a} \cdot b \cdot c \cdot d + a \cdot \bar{b} \cdot \bar{c} \cdot d + a \cdot \bar{b} \cdot c \cdot d + a \cdot b \cdot \bar{c} \cdot d + a \cdot b \cdot c \cdot d$$

c. Aseta ühed Karnaugh kaardile

	$\bar{c} \cdot \bar{d}$	$\bar{c} \cdot d$	$c \cdot d$	$c \cdot \bar{d}$
$\bar{a} \cdot \bar{b}$		1	1	
$\bar{a} \cdot b$		1	1	1
$a \cdot b$		1	1	
$a \cdot \bar{b}$		1	1	

d. Moodusta külgnevatest ühtede paaridest (kahekaupa, neljakaupa, kaheksakaupa) silmused

	$\bar{c} \cdot \bar{d}$	$\bar{c} \cdot d$	$c \cdot d$	$c \cdot \bar{d}$
$\bar{a} \cdot \bar{b}$		1	1	
$\bar{a} \cdot b$		1	1	1
$a \cdot b$		1	1	
$a \cdot \bar{b}$		1	1	

e. Silmustes olevad paarid minimiseeritakse

$$Y = D + \bar{a} \cdot B \cdot C$$

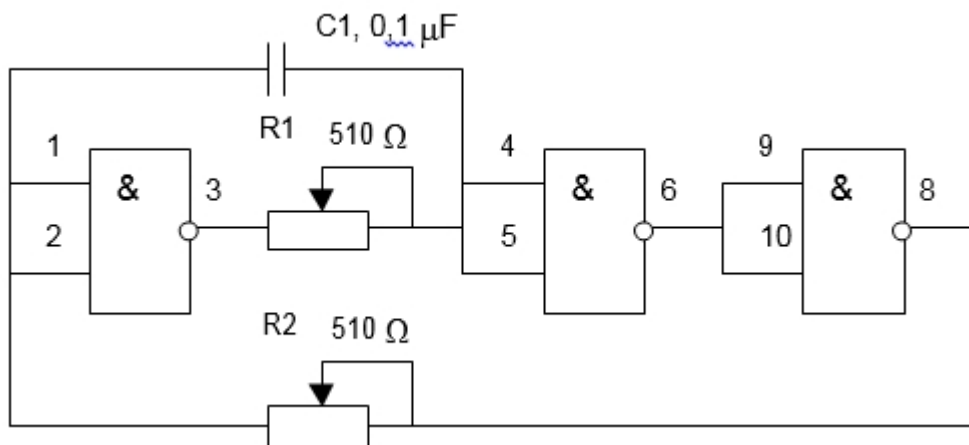
	$\bar{c} \cdot \bar{d}$	$\bar{c} \cdot d$	$c \cdot d$	$c \cdot \bar{d}$
$\bar{a} \cdot \bar{b}$		1	1	
$\bar{a} \cdot b$		1	1	1
$a \cdot b$		1	1	
$a \cdot \bar{b}$		1	1	

3 Jäljendloogikalülitused

Nimetus järjendloogika (*sequence logic*) tuleneb sellest, et loogikafunktsioone võib täita ajaliselt kindlas järjestuses, kusjuures iga järgnev loogiline operatsioon sõltub eelmiste operatsioonide tulemustest. Järjendloogikalülitused jagunevad mittestabiilseteks, monostabiilseteks ja bistabiilseteks.

Mittestabiilsed loogikalülitused muudavad pidevalt oma olekut "0" ja "1" vahel, s. t. genereerivad teatud sagedusega impulsse. Neid lülitusi nimetatakse impulsgeneraatoriteks. Arvutites kasutatakse impulsgeneraatoreid seadmete talitluse sünkroniseerimiseks. Sel juhul nimetatakse impulsgeneraatorit taktigeneraatoriks.

Joonisel on impulsgeneraator, mille impulsside sagedust saab reguleerida potentsiomeetriga R1 ja suhtelist laiust potentsiomeetriga R2. Joonisel näidatud parameetrite korral saab impulsside sagedust muuta vahemikus 8...125 kHz. Impulsside suhtelist laiust saab muuta vahemikus 1,5...3. Generaatoris kasutatakse positiivset tagasisidet.



Monostabiilsetel loogikalülitustel on üks stabiilne ja teine mittestabiilne olek. Monostabiilse lülituse vaiki olek on stabiilne. Välise toime mõjul läheb lülitus teatud ajavahemiku jooksul mittestabiilse olekusse ja naaseb seejärel tagasi stabiilse olekusse. Monostabiilseid loogikalülitusi kasutatakse impulsimoodustajatena.

Bistabiilsetel loogikalülitustel on kaks stabiilset olekut. Välise toime mõjul ning sõltuvalt oma endisest olekust võib bistabiilne loogikalülitus muuta oma olekut või säilitada endise oleku. Bistabiilseid loogikalülitusi tuntakse trigeritena ning neid kasutatakse mälulementidena. Väikseim mälulement (triger) võimaldab salvestada, säilitada ja taasesitada ühe biti informatsioon. Mälulementidest saab koostada mitmesuguseid loogikalülitusi. Tuntuimad mälulemente sisaldavad loogikalülitused on registrid ja loendurid. Keerukamad järjendloogikalülitused (**loogilised automaadid**) sisaldavad nii kombinatsioonloogikalülitusi kui ka mälulemente.

3.1 Trigerid

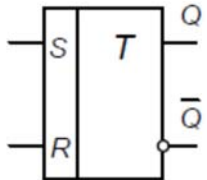
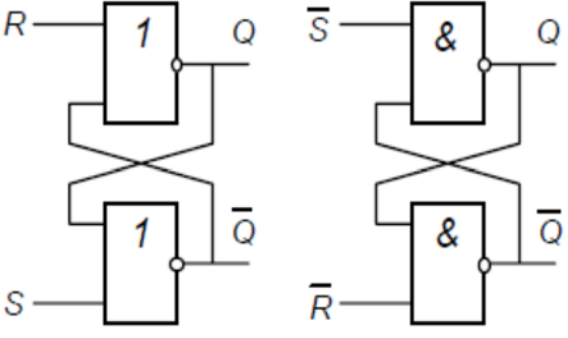
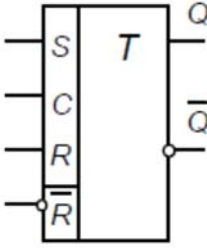
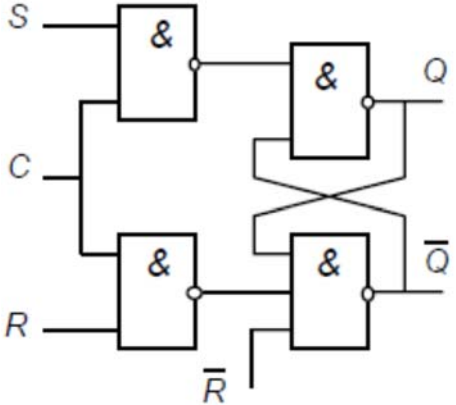
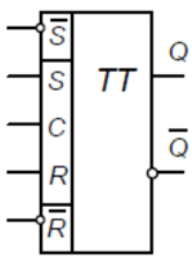
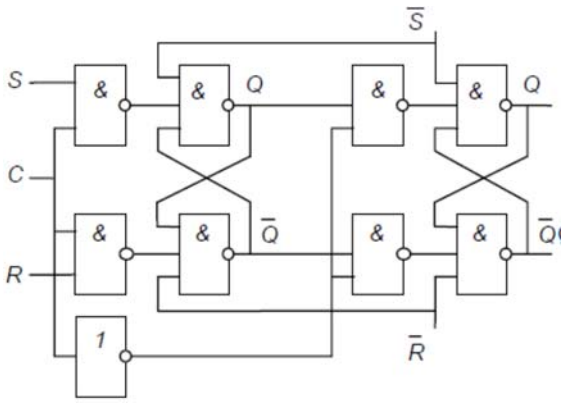
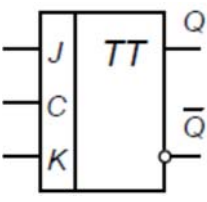
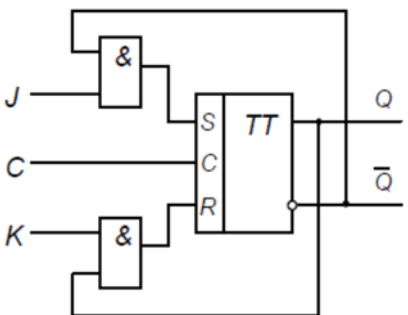
Triger on seadis, mis on ettenähtud loogilise muutuja ühe järgu säilitamiseks. Trigeril on kaks stabiilset olekut null ja üks. Vajalikku olekusse viiakse triger sisendsignaalide abil. Trigeril on kaks väljundit, otseväljund ja inversioonväljund. Trigeri oleku määrab nivoo otseväljundis. Kui otseväljundis on null, siis on triger olekus null. Kui otseväljundis on üks, siis on triger olekus üks.

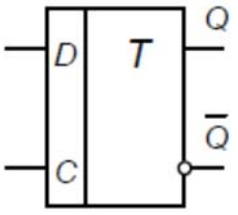
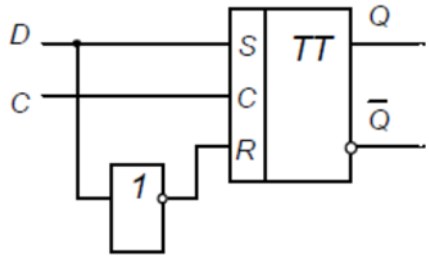
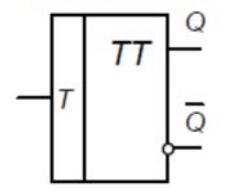
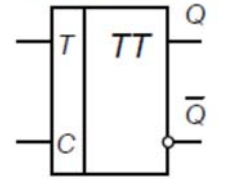
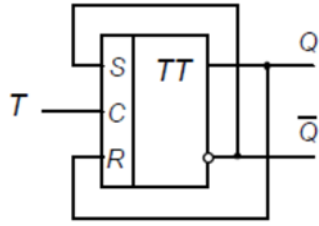
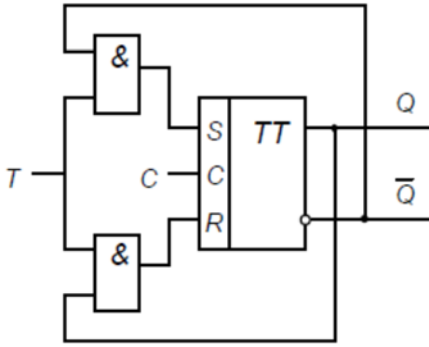
Kasutatavad tähised

- R – reset – sisend trigeri viimiseks olekusse null
- S – set – sisend trigeri viimiseks olekusse üks
- K – kill – sisend universaaltrigeri viimiseks olekusse null
- J – jump – sisend universaaltrigeri viimiseks olekusse üks

- D – data, delay – infosisend trigeri viimiseks olekusse, mis on antud sisendisse
- C – clock – sünkroniseerimissisend ehk juhtsisend

3.2 Trigerite tähistus

Tüüp	Tingmärk	Skeem	Olekutabel																																				
Asünkroonne RS-triger			<table border="1"> <thead> <tr> <th>R</th> <th>S</th> <th>Q</th> <th>Q_{next}</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>X</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>X</td></tr> </tbody> </table>	R	S	Q	Q _{next}	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	X	1	1	0	X				
R	S	Q	Q _{next}																																				
0	0	1	1																																				
0	0	0	0																																				
0	1	1	0																																				
1	0	1	1																																				
1	0	0	1																																				
1	1	1	X																																				
1	1	0	X																																				
Sünkroonne RS-triger			<table border="1"> <thead> <tr> <th>R</th> <th>S</th> <th>Q</th> <th>Q_{next}</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>X</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>X</td></tr> </tbody> </table>	R	S	Q	Q _{next}	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	X	1	1	0	X				
R	S	Q	Q _{next}																																				
0	0	1	1																																				
0	0	0	0																																				
0	1	1	0																																				
1	0	1	1																																				
1	0	0	1																																				
1	1	1	X																																				
1	1	0	X																																				
Sünkroonne kahtaktiline RS-triger			<table border="1"> <thead> <tr> <th>R</th> <th>S</th> <th>Q</th> <th>Q_{next}</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>X</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>X</td></tr> </tbody> </table>	R	S	Q	Q _{next}	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	X	1	1	0	X
R	S	Q	Q _{next}																																				
0	0	1	1																																				
0	0	0	0																																				
0	1	1	0																																				
0	1	0	0																																				
1	0	1	1																																				
1	0	0	1																																				
1	1	1	X																																				
1	1	0	X																																				
Sünkroonne kahtaktiline JK-triger			<table border="1"> <thead> <tr> <th>J</th> <th>K</th> <th>Q</th> <th>Q_{next}</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr> </tbody> </table>	J	K	Q	Q _{next}	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	1	1												
J	K	Q	Q _{next}																																				
0	0	1	1																																				
0	0	0	0																																				
0	1	1	0																																				
0	1	0	0																																				
1	0	1	1																																				

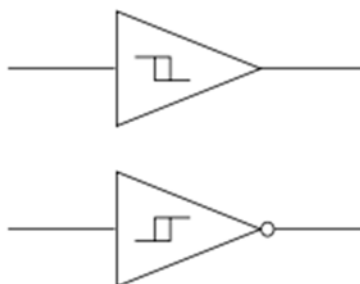
			1	0	0	1
			1	1	1	0
			1	1	0	1
D-triger				K	Q	Q_{next}
			0	0	0	
			0	1	0	
			1	0	1	
			1	1	1	
T-triger	<p><i>Asinkroonne</i></p>  <p><i>Sinkroonne</i></p> 	 				

3.3 Schmitti triger

Schmitti triger sobib kasutada aeglaselt muutuva sisendsignaali puhul: pinge kasvamine kondensaatoril, pika kaabli kaudu tulev veidi väsinud signaal, optoandurite väljundsignaal jne. Kui anname sellise signaali tavalisele loogikaskeemile, võib sisendpinge jõudmisel ümberlülitumisnivoole lähedale tekida mitu impulssi ühe asemel. Schmitti triger välistab sellise olukorra, tema väljund läheb kõrgele nivoole alates sisendsignaali teatud pingest. Väljund läheb nulli tagasi aga mitte samal pingel vaid natuke madalamal pingel. Pingete vahet nimetatakse hüstereesiks. Sisendpinge väike värelemine ei saa põhjustada väljundpinge muutusi. Tavaliste loogikalülitustega juhtuks just nii.

Lülitus väga hea igasuguste imelike väärtustega signaalide saatmisel loogikaskeemidesse.

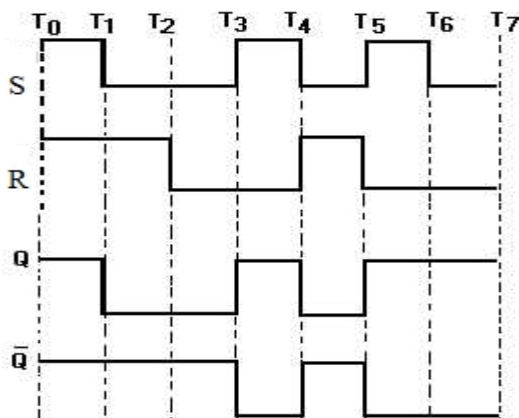
Schmitti trigerid nagu polekski „täisväärtuslikud“ elemendid, pigem on tegemist tavalise loogikaskeemi (vajaliku) edasiarendusega. Vahest sellepärast tähistatakse neid nagu tavalisi loogikalülitusi (ka sellepärast, et Schmitti trigeri omadused võivad olla suvalise loogikaelemendi sisendil), erandiks on vaid rombi meenutav märk elemendi sümbolil.



3.4 RS triger

Asünkroonse ühetaktilise RS-trigeri saab koostada VÕI-EI- või NING-EI-elementidega, mis ühendatakse nii, et moodustuks positiivne tagasiside. Seepärast on trigeril võimalik vaid kaks stabiilset olekut, kus ühe elemendi väljundis on signaal 1 ja teise elemendi väljundis 0. Trigeri otsene väljund seatakse olekusse 1, kui sisendisse *S* (*set*) antakse signaal 1. Otsene väljund seatakse olekusse 0, kui sisendisse *R* (*reset*) antakse signaal 1. Juhul kui sisendite *S* ja *R* signaalid on 0-d, säilitab triger väljundis oma endise oleku. Kui mõlemasse sisendisse antakse korraga signaal 1, muutuvad nii otsene kui ka inverteeritud väljundsignaal määramatuks, mistõttu niisugune signaalikombinatsioon pole lubatud. *RS*-trigereid nimetatakse ka **seadesisenditega trigeriteks**.

Sünkroonne ühetaktiline RS-triger erineb asünkroonselt trigerist selle poolest, et trigeri olek muutub vaid kindlail sünkroimpulssidega määratud ajahetkeil. Lisaks infosisenditele *S* ja *R* on tal veel sünkroniseerimissisend *C* (*clock*). Trigeril võivad olla korraga nii sünkroonsed kui ka mittesünkroonsed sisendid. Sünkroniseeritud infosisend toimib hetkel, mil saabub sünkroniseerimissignaali.



Kahetaktiline RS-triger koosneb kahest järjestikku lülitatud ühetaktilisest trigerist. Ühetaktilise trigeri puuduseks on, et ta ei võimalda samaaegselt infot vastu võtta ja edastada, sest tema väljund muutub kohe pärast sisendsignaali saabumist. Järelikult on info sisestamise hetkel väljundi olek ebamäärane, s. t pole teada, kas sealt loetakse trigeri eelmist või järgmist olekut. Probleemi lahendab kahetaktiliste sünkroonsete trigerite kasutamine. Trigeri esimese ja teise astme sünkroniseerimissignaali on pool perioodi nihutatud. Seega kirjutatakse sünkroniseerimissignaali esimese poolperioodi jooksul info sisendist trigeri esimesse astmesse ning samal ajal on väljundist võimalik lugeda trigeri eelmisele taktile vastavat olekut. Teise poolperioodi jooksul viiakse info trigeri esimesest astmest teise, mille järel triger on valmis järgmisteks infovahetusteks. Kahetaktilise trigeri oleku muutumine toimub pärast sünkroniseerimissignaali lõppu, s. t tema tagafrondiga. Kahetaktiliste trigeritega saab koostada suvalisi loogikaskeeme, sealhulgas ühendada trigeri väljund kokku sisendiga. Peale sünkroniseeritud sisendite võivad kahetaktilisel RS-trigeril olla ka mittesünkroniseeritud sisendid. Seadesisenditega RS-trigerid on aluseks teiste trigerilülituste koostamisel.

3.5 T triger

Loendusisendiga T -trigeril on vaid üks infosisend T (*trigger, toggle*), kus iga järgnev sisendimpulss 1 muudab trigeri oleku vastupidiseks. Signaali 0 korral olek ei muutu. T -triger realiseerib loogikafunktsiooni

$$Q(t+1) = Q(t)\bar{T}(t) \vee \bar{Q}(t)T(t).$$

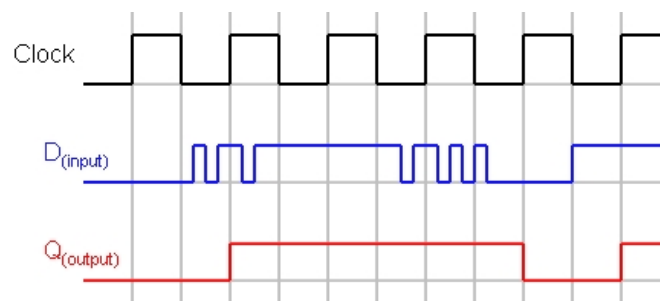
See funktsioon vastab loogikafunktsioonile alternatiiv ehk summeerimine mooduli 2 järgi. Asünkroonse T -trigeri saab koostada kahetaktilisest RS-trigerist, kui rakendada seal täiendavaid tagasisidesid ning kasutada sisendina T sünkroniseerimissisendit C . Sünkroonse T -trigeri saamiseks tuleb RS-trigeri sisendisse lülitada loogikaelemendid NING. T -trigerite põhiliseks kasutusala on loendurid.

3.6 D triger

Andmesisendiga D -triger on samuti nagu T -triger ühe infosisendiga. Trigeri väljundsignaal kordab sisendsignaali, kuid see toimub ajaliselt sünkroniseerimisimpulsside perioodi (ühetaktilise trigeri korral poole perioodi) võrra hiljem. Seega võimaldab D -triger lühiajaliselt säilitada informatsiooni, mis paljude loogikaseadmete juures on väga oluline. D -trigeri saab koostada RS-trigerist, kui juhtida selle S - ja R - sisendeid korraga, S -sisendit otse ja R -sisendit läbi inverteri. Sel juhul töötab triger ainult seaderežiimis, s. t tal puudub hoiderežiim. Ühist sisendit tähistatakse tähega D (*data, delay*). D -triger töötab vastavalt loogikafunktsioonile

$$Q(t+1) = D(t)$$

D	C	Q
0	↑	0
1	↑	1
X	0,1	Q_0



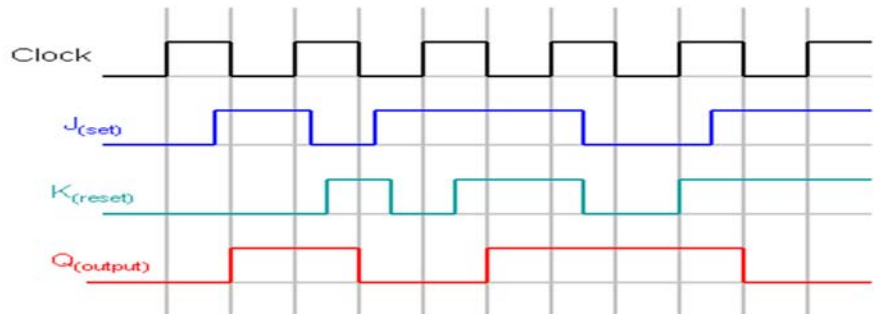
3.7 JK triger

Universaalsed JK -trigerid on lihtsate täiendustega muudetavad nii seade-, loendus- kui ka andmesisenditega trigeriteks. Sisendid J (*jump*) ja K (*key*) vastavad sisenditele S ja R , s. t signaal 1 sisendis J viib trigeri olekusse 1 ning signaal 1 sisendis K olekusse 0 sõltumata

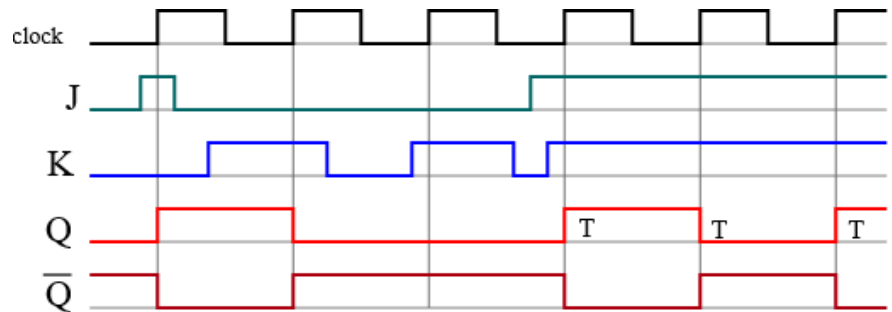
sellest, mis olekus triger varem oli. Erinevalt *RS*-trigerist võib *JK*-trigeri sisenditesse *J* ja *K* anda korraka signaalid 1, mis muudab trigeri oleku vastupidiseks. Seega toimib *JK*-triger niisugusel juhul nagu loendusisendiga *T*-triger. *JK*-triger toimib vastavalt loogikafunktsioonile

$$Q(t+1) = \bar{K}(t)Q(t) \vee J(t)\bar{K}(t) \vee J(t)Q(t).$$

J	K	C	Q
0	0	↓	Q_0
0	1	↓	0
1	0	↓	1
1	1	↓	\bar{Q}_0
X	X	0,1	Q_0



0	0	↑	Q_0
0	1	↑	0
1	0	↑	1
1	1	↑	\bar{Q}_0
X	X	0,1	Q_0



	Digitaaltehnika kursus	16.09.2013	27
--	------------------------	------------	----

Kirjandus

1. T. Lehtla, L. Kulmar. Mikroprotsessortehnika, TTÜ 1995.
2. Emil M. Petriu. Digital Logic Circuits, University of Ottawa.