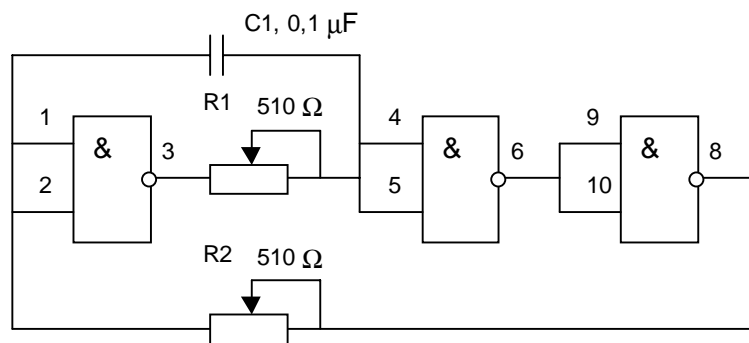


## 4. Järjendloogikalülitused

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. **Monostabiilsetel loogikalülitustel** on üks stabiilne ja teine mittestabiilne olek. Monostabiilse lülituse vaikiolek on stabiilne. Välise toime mõjul läheb lülitus teatud ajavahemiku jooksul mittestabiilsesse olekusse ja naaseb seejärel tagasi stabiilsesse 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 mälu-elementidena. Väikseim mälu-element (triger) võimaldab salvestada, säilitada ja taasesitada ühe biti informatsioon. Mälu-elementidest saab koostada mitmesuguseid loogikalülitusi. Tuntuimad mälu-elemente sisaldavad loogikalülitused on registrid ja loendurid. Keerukamad järjendloogikalülitused (**loogilised automaadid**) sisaldavad nii kombinatsioonloogikalülitusi kui ka mälu-elemente.

### 4.1. Mittestabiilsed ja monostabiilsed loogikalülitused.

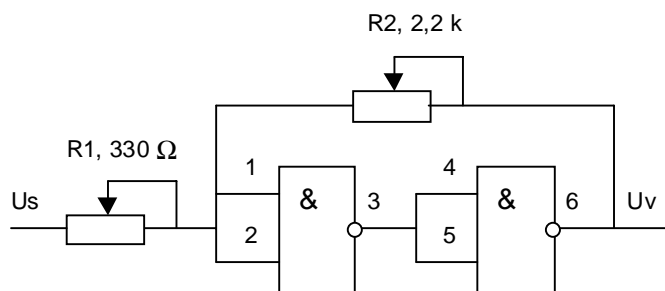
Joonisel 4.1 on näidatud integraallülituse 7403 põhjal koostatud impulsgeneraator, mille impulsside sagedust saab reguleerida potentsiomeetriga R1 ja suhtelist laiust potentsiomeetriga R2. Joonisel näidatud parameetrite korral saab impulsside sagedust muuta vahemikus 8...125 kHz. Impulsside suhtelist laiust saab muuta vahemikus 1,5...3. Generaatoris kasutatakse positiivset tagasisidet .



Joonis. 4.1. Impulsgeneraator

#### Schmitti triger

Schmitti triger lülitub ümber tema ainsasse sisendisse antava pinge väärtuse muutumisel. seega saab teda kasutada täisnurksete impulsside moodustamiseks ja lävilülitina. Lihtsa Schmitti trigeri saab valmistada loogikalülituste põhjal. Trigeri väljundis tekib kõrge pingetase, kui sisendpinge ületab väärtuse u. 1,7 V ja madal pingetase, kui sisendpinge alaneb u. +0,5 V-ni.



Joonis 4.2. Schmitti triger

## 4.2. Trigerid

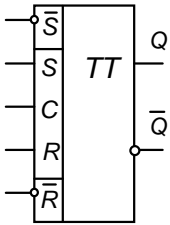
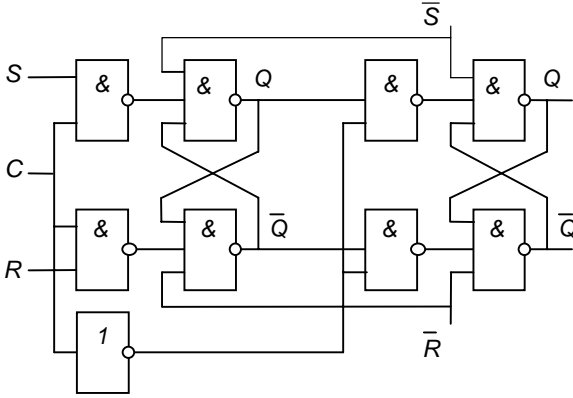
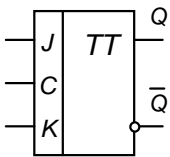
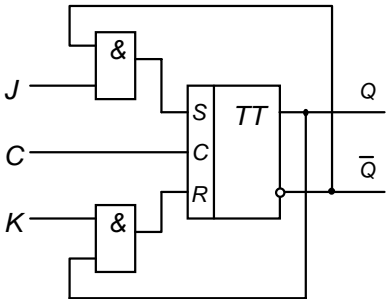
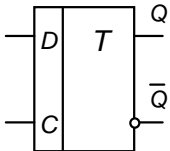
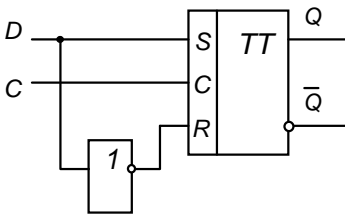
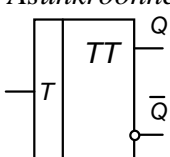
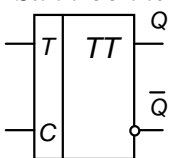
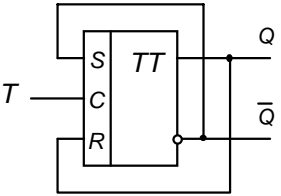
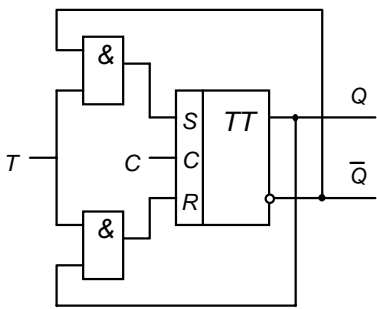
Triger (*flip-flop*) on kahe stabiilse olekuga loogikalülitus. Ühte olekutest tähistatakse numbriga 1, teist numbriga 0. Trigeri olek vastab tema väljundsignaalile. Sõltuvalt sisendsignaalist säilitab triger endise oleku või muudab seda hüppeliselt. Loogikalülituste koostamise lihtsustamiseks on trigeril tavaliselt kaks väljundit: otsene, mida tähistatakse tähega  $Q$ , ja inversne  $\bar{Q}$ . Tööpõhimõtte järgi jaotatakse trigereid seadesisenditega ehk *RS*-trigeriteks, loendussisenditega ehk *T*-trigeriteks, andmesisenditega ehk *D*-trigeriteks ning universaalsisenditega ehk *JK*-trigeriteks. Kui trigeri oleku muutmine toimub kas või ühe sisendi kaudu täiendava sünkroniseerimissignaali abil, nimetatakse trigerit sünkroonseks vastupidisel juhul aga asünkroonseks. Sõltuvalt tööpõhimõttest ning ehitusest liigitatakse trigereid ühe- või kahetaktilisteks ning tähistatakse vastavalt *T* või *TT*-ga. Trigerite põhilised skeemid ning tähised on tabelis 4.1

Tabel 4.1

Trigerite skeemid ja tähised

Tüüp	Olekutabel	Tingmärk	Skeem																																
Asünkroonne <i>RS</i> -triger	<table border="1"> <tr> <td><math>S</math></td> <td><math>R</math></td> <td><math>Q_t</math></td> <td><math>Q_{t+1}</math></td> </tr> <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> </table>	$S$	$R$	$Q_t$	$Q_{t+1}$	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		
$S$	$R$	$Q_t$	$Q_{t+1}$																																
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 <i>RS</i> -triger	<table border="1"> <tr> <td><math>S</math></td> <td><math>R</math></td> <td><math>Q_t</math></td> <td><math>Q_{t+1}</math></td> </tr> <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> </table>	$S$	$R$	$Q_t$	$Q_{t+1}$	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		
$S$	$R$	$Q_t$	$Q_{t+1}$																																
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																																

Tabeli 4.1 järg

<p>Sünkroonne kahe-taktiline RS-triger</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th><math>S</math></th> <th><math>R</math></th> <th><math>Q_t</math></th> <th><math>Q_{t+1}</math></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>	$S$	$R$	$Q_t$	$Q_{t+1}$	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		
$S$	$R$	$Q_t$	$Q_{t+1}$																																				
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																																				
<p>Sünkroonne kahe-taktiline JK-triger</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th><math>J</math></th> <th><math>K</math></th> <th><math>Q_t</math></th> <th><math>Q_{t+1}</math></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>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr> </tbody> </table>	$J$	$K$	$Q_t$	$Q_{t+1}$	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		
$J$	$K$	$Q_t$	$Q_{t+1}$																																				
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																																				
<p>D-triger</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th><math>D</math></th> <th><math>Q_t</math></th> <th><math>Q_{t+1}</math></th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> </tbody> </table>	$D$	$Q_t$	$Q_{t+1}$	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1																							
$D$	$Q_t$	$Q_{t+1}$																																					
0	0	0																																					
0	1	0																																					
1	0	1																																					
1	1	1																																					
<p>T-triger</p>	<p><i>Asünkroonne</i></p>  <p><i>Sünkroonne</i></p> 	 																																					

**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 väljundisignaal määramatuks, mistõttu niisugune signaalikombinatsioon pole lubatud. RS-trigereid nimetatakse ka **seadesisenditega trigeriteks**.

**Sünkroonne ühetaktiline RS-triger** erineb asünkroonsest 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 loogikaseeme, 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.

**Loendussisendiga 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

$$Q(t+1) = Q(t)\overline{T}(t) \vee \overline{Q}(t)T(t). \quad (4.1)$$

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.

**Andmesisendiga D-triger** on samuti nagu T-triger ühe infosisendiga. Trigeri väljundisignaal 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 seadere $\bar{}$  iimis, s. t tal puudub hoidere $\bar{}$  iim. Ühist sisendit tähistatakse tähega D (*data, delay*). D-triger töötab vastavalt loogikafunktsioonile

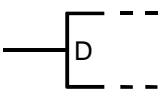
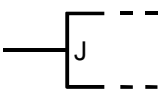
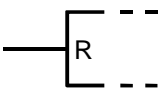
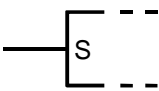
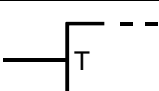
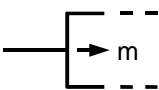
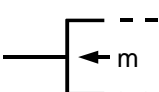
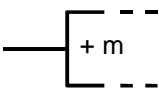
$$Q(t+1) = D(t). \quad (4.2)$$

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

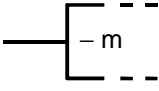
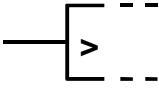
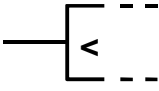
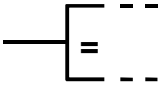
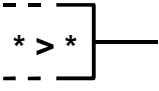
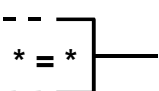
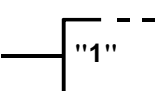
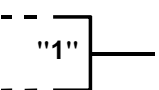
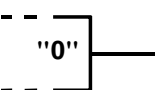
$$Q(t+1) = \bar{K}(t)Q(t) \vee J(t)\bar{K}(t) \vee J(t)Q(t). \quad (4.3)$$

Tabel 4.2

**Trigerite, loendurite ja loogikalülituste sisendid ning nende toime**

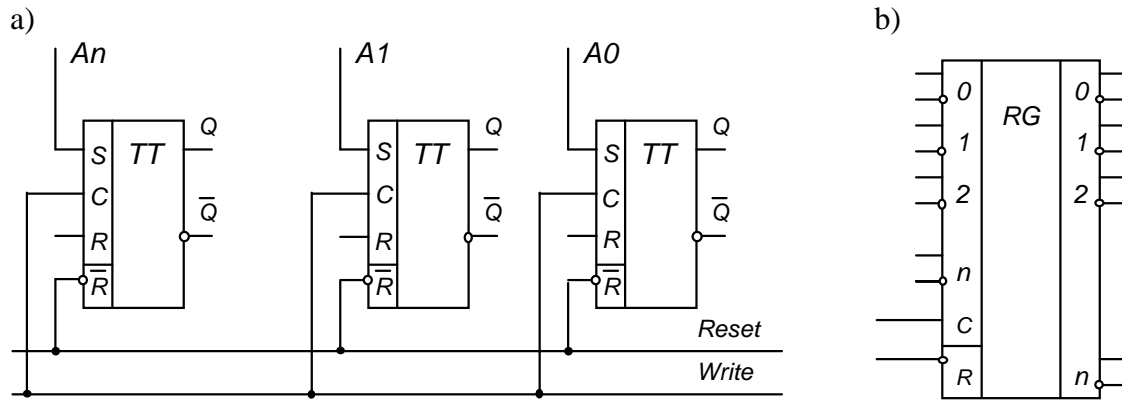
Sisendi tähis	Sisendi talitluse kirjeldus
	<b>D-sisend</b> D-sisendi loogiline olek salvestatakse trigeris
	<b>J-sisend</b> Kui sisend omandab oleku 1, siis salvestatakse see olek trigeris Kui sisend omandab oleku 0, siis ei mõjuta see trigeri olekut.
	<b>K-sisend</b> Kui sisend omandab oleku 1, siis salvestatakse trigeris olek 0 Kui sisend omandab oleku 0, siis ei mõjuta see trigeri olekut. Iga kombinatsioon $J = K = 1$ põhjustab trigeri väljundi sisemise oleku muutuse eelneva olekuga võrreldes vastupidiseks.
	<b>R-sisend</b> Kui sisend omandab oleku 1, siis salvestatakse trigeris olek 0 Kui sisend omandab oleku 0, siis ei mõjuta see trigeri olekut.
	<b>S-sisend</b> Kui sisend omandab oleku 1, siis salvestatakse see olek trigeris. Kui sisend omandab oleku 0, siis ei mõjuta see trigeri olekut. Tingmärk ei määratle kombinatsiooni $R = S = 1$ toimet.
	<b>T-sisend</b> Kui sisend omandab oleku 1, muutub trigeri väljundi olek eelneva olekuga võrreldes vastupidiseks. Kui sisend omandab oleku 0, siis ei mõjuta see trigeri olekut.
	<b>Nihkesisend</b> bittide nihutamiseks vasakult paremale või ülevalt alla ( <i>shifting input left to right, or top to bottom</i> ). Kui sisend omandab loogilise oleku 1, nihutatakse elemendis salvestatud informatsioon üks kord <i>m</i> koha võrra vasakult paremale või ülevalt alla, sõltuvalt elemendi tingmärgi suunistusest. Tähe <i>m</i> võib asendada vastava väärtusega. Kui $m = 1$ , võib suuruse 1 ära jätta.
	<b>Nihkesisend</b> bittide nihutamiseks paremalt vasakule või alt üles ( <i>shifting input, right to left or bottom to top</i> ). Kui sisend omandab loogilise oleku 1, nihutatakse elemendis salvestatud informatsioon üks kord <i>m</i> koha võrra paremalt vasakule või alt üles, sõltuvalt elemendi tingmärgi suunistusest. Kui sisendis on loogiline olek 0, siis ei avalda see elemendile mingit toimet.
	<b>Päri loendussisend</b> ( <i>counting-up input</i> ). Kui sisend omandab loogilise oleku 1, suurendatakse ühel korral loenduri sisu <i>m</i> ühiku võrra. Kui sisendis on loogiline olek 0, siis ei mõjuta see loenduri olekut. Tähe <i>m</i> võib asendada vastava väärtusega. Kui $m = 1$ , siis võib numbrit 1 ära jätta.

Tabeli 4.2 järg

Sisendi tähis	Sisendi talitluse kirjeldus
	<b>Vastuloendussisend</b> ( <i>counting-down input</i> ) Kui sisend omandab loogilise oleku 1, vähendatakse ühel korral elemendi sisu $m$ ühiku võrra. Kui sisendis on loogiline olek 0, siis ei mõjuta see loenduri olekut. Tähe $m$ võib asendada vastava väärtusega. Kui $m = 1$ , siis võib numbriga 1 ära jätta.
	<b>Amplituudikomparaatori sisend &gt;</b> "suurem kui" Vastavalt standardile ISO 31-11 võib kasutada ka muid matemaatilisi võrdlustehete tähiseid: $\geq$ , $\leq$ , $\neq$ .
	<b>Amplituudikomparaatori sisend &lt;</b> "väiksem kui"
	<b>Amplituudikomparaatori sisend =</b> "võrdne"
	<b>Amplituudikomparaatori väljund &gt;</b> "suurem kui" Tärnid võib asendada võrreldavate muutujate tähistega Vastavalt standardile ISO 31-11 võib kasutada ka muid matemaatilisi võrdlustehete tähiseid: $* \leq *$ , $* \geq *$ , $* \neq *$ .
	<b>Amplituudikomparaatori väljund =</b> "võrdne". Tärnid võib asendada võrreldavate muutujate tähistega
	<b>Sisendi kinnisolek 1</b> ( <i>fixed-mode input</i> ) Kui loogikaelement võib täita mitmesuguseid funktsioone, millest ainult teatud funktsioon pakub meile huvi, siis võib antud tähistusega näidata ära need sisendid, mille olek peab tingimata võrduma 1-ga, et nimetatud funktsiooni täita.
	<b>Väljundi kinnisolek "1"</b> . ( <i>fixed 1-state output</i> ) Kasutatakse juhul kui väljund on alati olekus "1". Seda väljundit ei saa mõjutada mingi loogika ega muu funktsioon.
	<b>Väljundi kinnisolek "0"</b> . Kasutatakse juhul kui väljund on alati olekus "0". Seda väljundit ei saa mõjutada mingi loogika ega muu funktsioon.

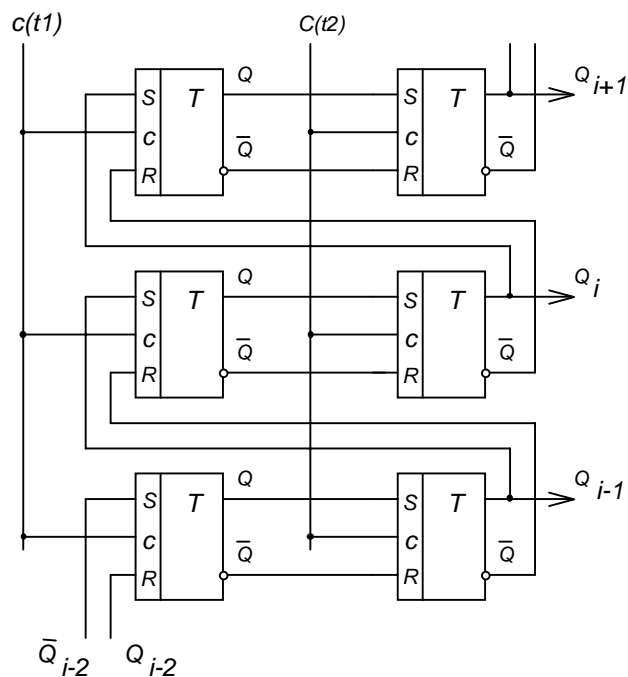
### 4.3. Registrid

Registriks nimetatakse trigeritest koosnevat seadet, mis võimaldab salvestada, säilitada ning taasesitada infot ühe sõna kaupa. Lisaks nihutatakse registri abil infosõna bitte vasakule või paremale. Sõna nihutamise muundatakse rööpkoodis esitatud info jadakoodiks ning vastupidi jadakoodis esitatud info rööpkoodiks. Sõna pikkus sõltub registri trigerite arvust ning võib olla väga erinev. Enam on levinud 8-, 16-, 24- ja 32-bitised registrid, mis vastavad sõnapikkusele 1, 2, 3 ja 4 baiti. Registri põhimõtteskeem on joonisel 1.9. Registrit juhitakse signaalidega vastuvõtt ehk kirjutus (*write*) ja 0-seade (*reset*). Signaaliga *write* kirjutatakse sisendite  $A_0 \dots A_n$  informatsioon registrisse, signaaliga *reset* aga kustutatakse sealt. Juhul kui info kirjutatakse trigeritesse mõlema sisendi  $S$  ja  $R$  kaudu parakoodis (otse ja inverteeritult), pole eelnenud informatsiooni kustutamine (*reset*) vajalik ning registril puudub vastav juhtimissisend.



Joonis 4.3. Register: a) põhimõtteskeem, b) tähis

Nihkeregistri koostamiseks kasutatakse nii *RS*-, *D*- kui ka *JK*-trigereid. *RS*-trigeringega nihkeregistri skeem on joonisel 1.10. Trigeri otsene ja inverteeritud väljund ühendatakse järgmise trigeri seadesisenditega *S* ja *R*. Seega toimub iga taktiga infosõna nihutamine ühe biti võrra. Sõltuvalt sellest kuidas trigerid omavahel ühendatakse, nihkub infosõna kas paremale või vasakule. Iga takti keskel nihutab sünkrosignaali info trigerite esimestest astmetest teistesse.



Joonis 4.4. Nihkeregister

## 4.4. Loendurid

Loenduriks nimetatakse impulsside loendamiseks ette nähtud loogikalülitust. Loendureid kasutatakse nii automaatikaseadmetes kui ka arvutustehnikas. Energeetikas tarvitatakse loendure näiteks elektriarvestites, elektriajamite asendiandurites jm. Loendure liigitatakse summeerivateks (päripidi loendavateks), lahutavateks (tagurpidi loendavateks) ja reversiivseteks. Sõltuvalt signaali ülekande viisist loenduri trigerite vahel jaotatakse loendure jada- ja rööpülekanedega loenduriteks.

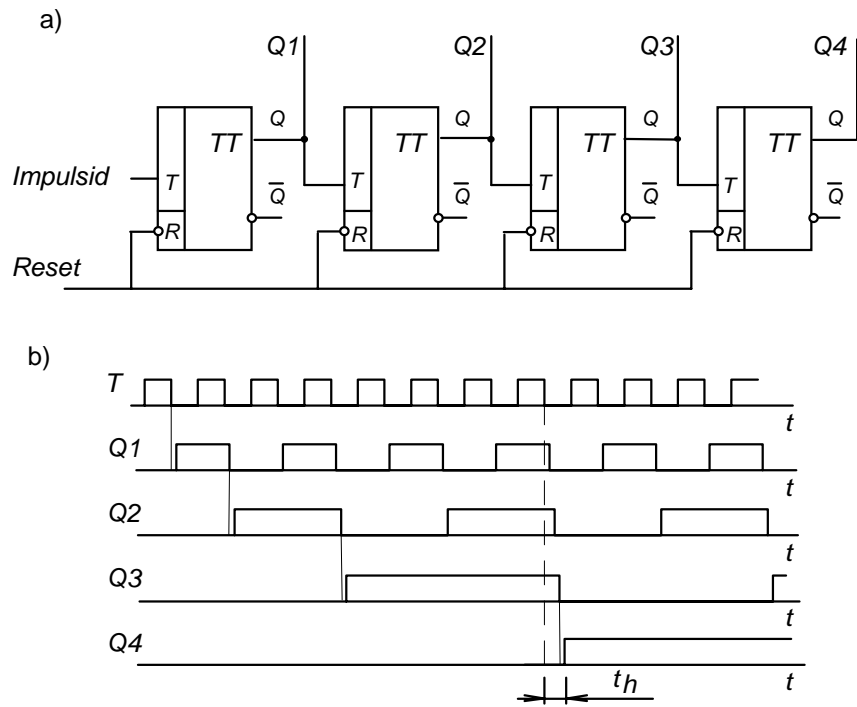
**Jadaülekandega loendur** koosneb järjestikku lülitatud  $T$ -trigeritest (joonis 4.5). Iga sisendimpulss  $x$  lülitab oma tagafrondiga ahela esimese trigeri ringi. Iga kahe sisendimpulsi järel lülitub trigeri väljund korraks sisse ja välja, s. t tema väljundimpulsside muutumise sagedus on kaks korda väiksem kui sisendimpulssidel. Võib öelda, et loendussisendiga triger jagab impulsside sageduse kahega. Ahela teise trigeri väljundis on sagedus 4 korda, kolmanda trigeri väljundis 8 korda, neljanda trigeri väljundis 16 korda jne väiksem.

Jadaülekandega loenduri puuduseks on signaali ülekandel tekkiv hilistumine  $t_h$ , mis suureneb koos loenduri astmete arvuga. Suure loendusastmete arvu ning taktiimpulsside sageduse korral võib hilistumine ületada takti kestuse. Sel juhul ei vasta loenduri väljundisignaal enam tegelikult loendatud impulsside arvule ning süsteemis tekib viga. Vea vältimiseks tuleb vähendada taktiimpulsside sagedust, mis omakorda alandab kogu seadme töökiirust.

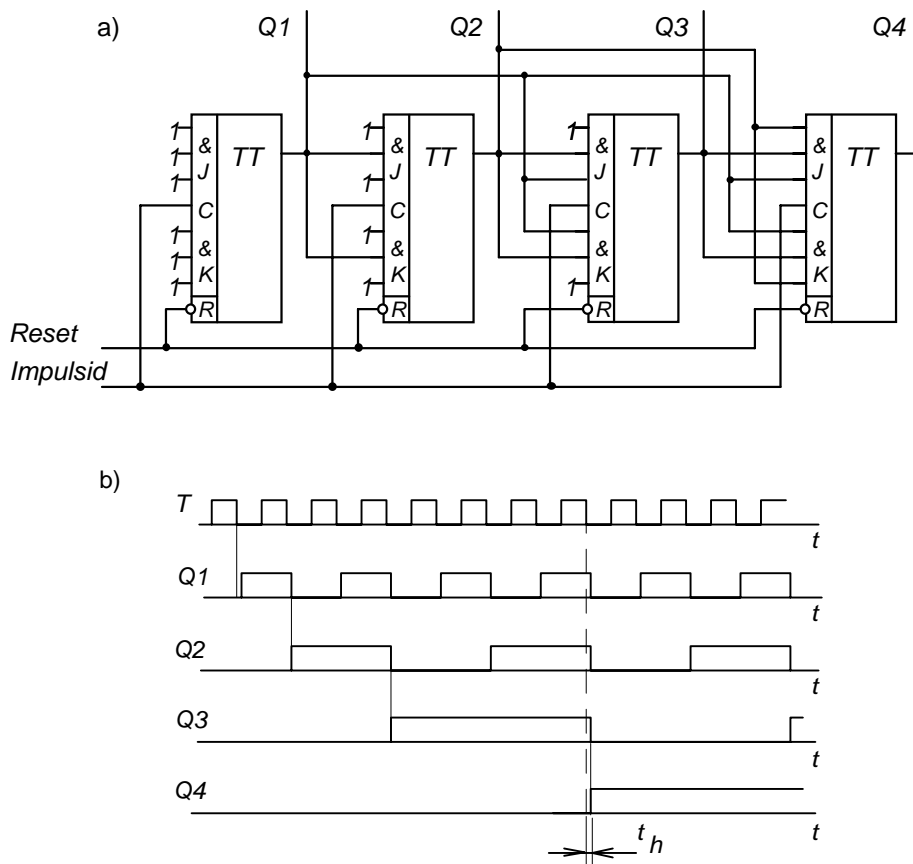
**Rööpülekanedega loendurit** kasutatakse suure töökiirusega seadmetes. Võrreldes jadaülekandega loenduriga toimub trigeritevaheline signaalide ülekanne kõigi astmete jaoks korraga ning seetõttu ei sõltu hilistumine loenduri astmete arvust. Rööpülekanedega loenduri skeem ja signaalidiagramm on joonisel 4.6.

Rööpülekanedega loenduri iseärasuseks on, et sisendimpulssid antakse kõikidele trigeritele korraga ning eelmiste astmete väljundid lülitatakse järgmiste astmete trigerite sisenditesse. Nii valmistatakse järgmised astmed ette ümberlülitumiseks, mis toimub sisendimpulsi saabumisel sõltumatult sellest, kus ahela osas triger asub. Lülituse puuduseks on, et ahela trigerite arvu suurenemisel kasvab ka vajalik sisendite arv ning skeemi keerukus. Seepärast pole rööpülekanedega loenduril tavaliselt rohkem kui 4...5 astet. Rööpülekanedega loenduri eeliseid saab kasutada juhul, kui lülitada ta rühmaülekandega loenduri skeemi. Rühmaülekandega loendur koosneb mitmest 4-järgulisest rööpülekanedega loendurist, mille vahel kasutatakse signaali jadaülekannet. Tänu sellele väheneb loenduri summaarne hilistumine 4 korda.



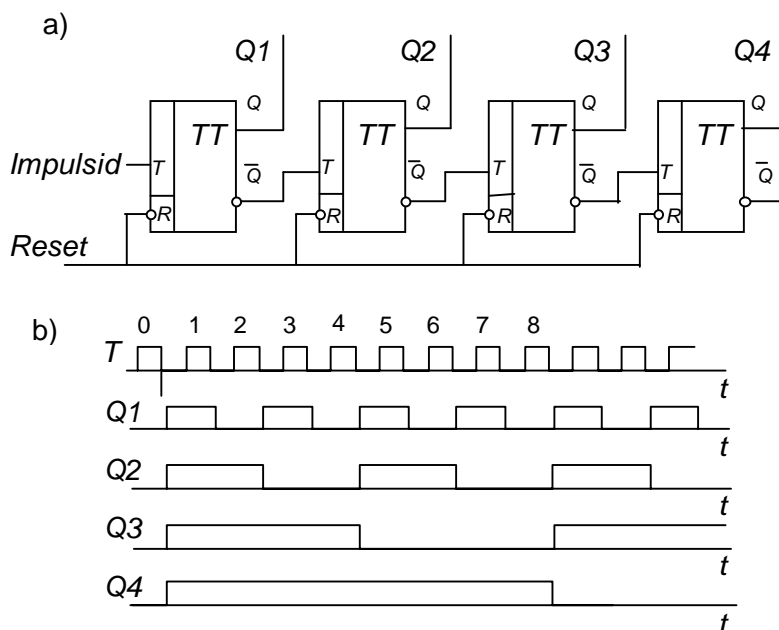


Joonis 4.5. Jadaülekandega loendur: a) skeem, b) signaalidiagramm



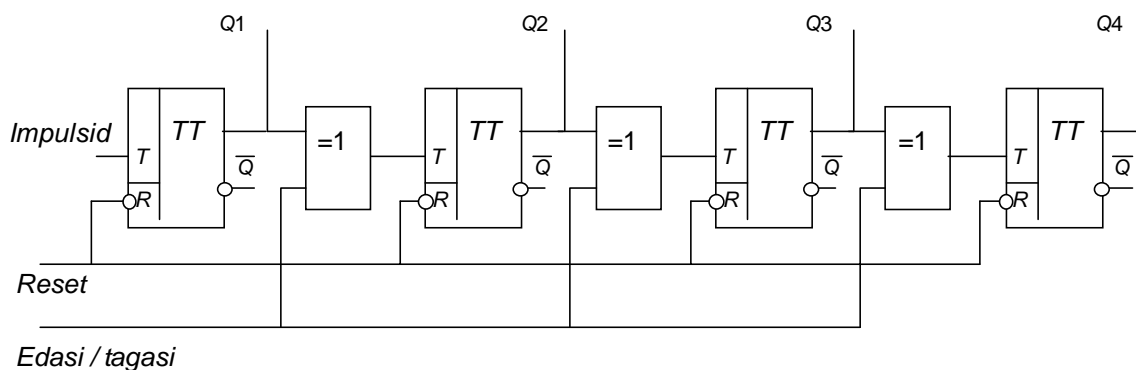
Joonis 4.6. Rööpülekandega loendur: a) skeem, b) signaalidiagramm

**Tagasiloendur** loendab impulsse kahanevate arvudega. Jadaülekandega tagasiloenduri skeem sarnaneb edasiloenduri skeemiga, erinedes viimasest vaid selle poolest, et ülekanne võetakse trigeri invertteeritud väljundist.



Joonis 4.7. Jadaülekandega tagasiloendur: a) skeem, b) signaalidiagramm

**Edasi-tagasiloendur** loendab impulsse nii päri- kui ka vastupidi. Loendussuuna muutumine toimub sõltuvalt sellest, kas ülekandeks kasutatakse trigeri otsesest või invertteeritud signaali. Trigerite väljundsignaalide kommuteerimiseks rakendatakse kõigi astmete vahel täiendavat Välistava VÕI loogikalülitust (joonis 4.8).



Joonis 4.8. Reversiivloenduri põhimõtteskeem