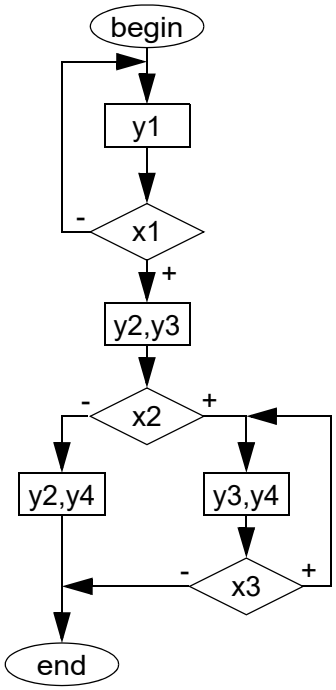
Juhtautomaadi süntees – ülesanded ja näidislahendused

1. Automaadi olekudiagrammi/-tabeli genereerimine

Antud on paremal kujutatud algoritm. Süsteemil on kolm sisendit (x1, x2 & x3) ja neli väljundit (y1, y2, y3 & y4). Täidetavat algoritmi võiks interpreteerida järgmiselt:

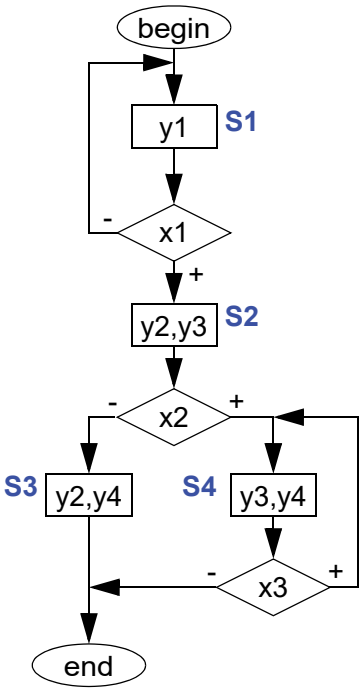
- süsteem väljastab y1 kui valmisoleku signaali ja ootab x1 alustmiseks;
- esimene mikro-käsk täidab operatsioonid y2 & y3;
- tulemust kontrollitakse (x2)
- vastavalt tulemusele toimub töö lõpetamine (väljundsignaalid y2 & y4) või siirdutakse tsüklisse;
- tsüklis toimub täiendavate arvutuste teostamine (y3 & y4 mikrokäskudena) ja soovitud tulemuse korral ($\overline{x3}$) lõpetab algoritm töö.



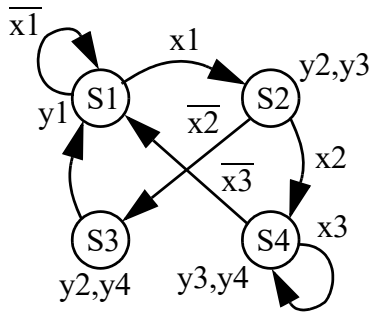
Toodut algortitmi võib realiseerida nii Moore kui ka Mealy automaadina. Mõlemal juhul tuleks kõigepealt luua vastav automaadi tabel (või olekudiagramm e. olekusiirdediagramm), olekud kodeerida, sünteesida ning minimeerida nii siire- kui ka väljundfunktsioonid.

1) Moore automaat

Kuna Moore automaadi olek genereerib väljundsignaale, siis igale algoritmi graafi väljundsignaalide plokile vastab üks olek. Lisaolekuid võib vaja minna siis, kui leidub mõni tsükkel ilma väljundsignaalide plokita (st. tsükkel ilma olekuta). Automaadi graaf koos olekute märgenditega on toodud parempoolsel joonisel. Neljast olekust piisab: S1 (y1), S2 (y2,y3), S3 (y2,y4) ja S4 (y3,y4). Automaadi tabeli leidmiseks tuleks leida kõikvõimalikud teed ühest olekust (väljundplokist) teise ja kirja panna vastavad siirded. Siirded sorteeritakse lähteolekute alusel. Näiteks olekust S1 läheb tee olekusse S1, kui x1 on väär (tingimusliku ploki "-" väljund). Teine tee läheb olekusse S2 (x1 on tõene). Tulemuseks oleks alljärgnev automaadi (siirete) tabel. Vastav olekudiagramm (eksisteerib üks-ühene vastavus diagrammi kaarte ja tabeli ridade vahel) on toodud algoritmi tabeli kõrval.

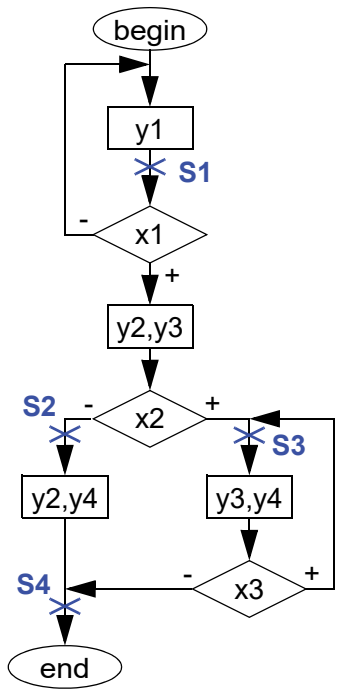


i^t	s^t	s^{t+1}	o^t
$\overline{x1}$	S1	S1	y1
x1		S2	
$\overline{x2}$	S2	S3	y2,y3
x2		S4	
1	S3	S1	y2,y4
$\overline{x3}$	S4	S1	y3,y4
x3		S4	

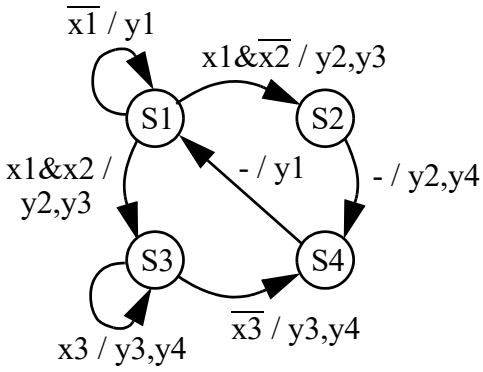


2) Mealy automaat

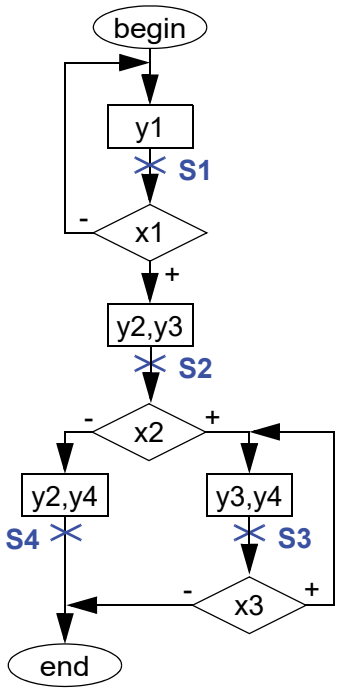
Mealy automaadis genereerivad väljundsignaale siirded. Seega on olekud väljundplokkide vahel. Põhitingimuseks on see, et kahe väljundploki vahel peab olema vähemalt üks olek. Täiendavaks tingimuseks, nagu Moore automaadi puhulgi, on see, et tsükkel peab siseldama vähemalt ühte olekut. Olekud on paremal asuval graafil tähistatud ristidena (samuti neli olekut). Olekute loomisel on kaks enamvähem ühesuguse headusega lähenemist – olek luuakse lähemale kas väljundplokist väljumisele või sisenemisele. Luues kõik olekud väljundplokki sisenevale teele, on tulemuseks Moore automaadiga ekvivalentne automaat – väljundid on oleku kõikide siirete jaoks samad (S2 ja S3). Kuna üldjuhul on eesmärgiks luua nii vähe olekuid kui võimalik, siis parima tulemuse annab enamasti mõlema lähenemise kombineerimine. Automaadi tabel luuakse sama moodi, kui Moore automaadi tabelgi – ühele siirdele tabelis vastab üks tee olekust olekusse algoritmi graafil ("ristist-ristini"). Mealy automaadi olekudiagramm on samuti automaadi tabeli kõrval.



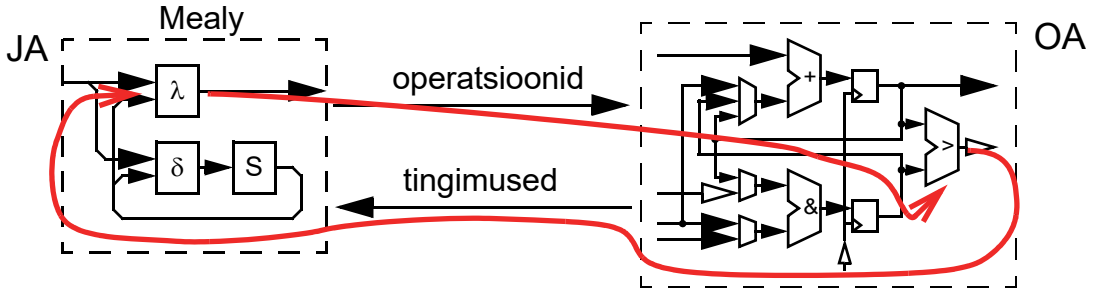
i^t	s^t	s^{t+1}	o^t
$\overline{x1}$	S1	S1	y1
x1 & $\overline{x2}$		S2	y2,y3
x1 & x2		S3	y2,y3
1	S2	S4	y2,y4
$\overline{x3}$	S3	S4	y3,y4
x3		S3	y3,y4
1	S4	S1	y1



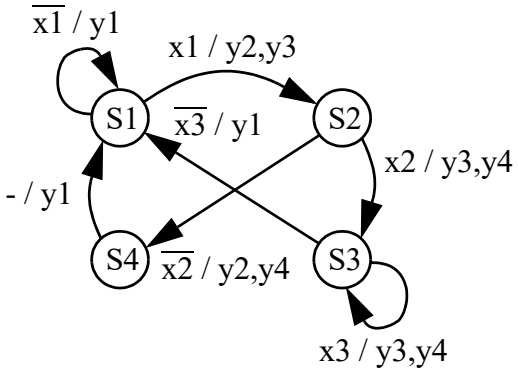
3) Mealy automaadi teine versioon



Kuigi esimene versioon on korrektne, peetakse üldjuhul ohutumaks realisatsiooni, kus olek ei asuks tingimusliku ploki taga. Põhjuseks see, et enamasti töötab juhtautomaat koos operatsioon-osaga (e. operatsioon-automaadiga) ja halvasti planeeritud olekud võivad sisse tuua asünkroonse tagasiside – väljundsignaalid mõjutavad kombinatoorseid täitursõlmi ja need omakorda väljundfunktsiooni (vt. joonist allpool). Sellise ohu tekkevõimaluse vähendamiseks tasuks olekute paigutamisel järgida ühte täiendavat reeglit – oleku asukohaks sobib tee pärast väljundplokki, kuid enne tingimuslikku plokki. Paremal asuval graafil on muudetud olekute S2 ja S3 asukohti. Pisut on muutunud ka S4 asukoht. Muudetud tabel ja olekudiagramm on toodud allpool. Huvitav fakt on see, et osad siirded on jäänud täpselt samaks, kuigi vastavad olekute asukohad muutusid. Samuti tasuks võrrelda saadud olekudiagrammi Moore automaadi olekudiagrammiga – olekud ja siirded on praktiliselt samad (S3 ja S4 on ära vahetatud), erinevad on ainult väljundsignaalide asukohad.



i^t	s^t	s^{t+1}	o^t
$\overline{x1}$	S1	S1	y1
x1		S2	y2,y3
$\overline{x2}$	S2	S4	y2,y4
x2		S3	y3,y4
$\overline{x3}$	S3	S1	y1
x3		S3	y3,y4
1	S4	S1	y1



2. Automaadi skeemi süntees olekudiagrammist / -tabelist

Automaadi skeemi süntees tabelist koosneb järgmistest etappidest:

- mäluelementide valik ja automaadi olekute kodeerimine;
- siirde- ja väljundfunktsioonide genereerimine (süntees);
- siirde- ja väljundfunktsioonide minimeerimine (kahe- ja/või mitmetasemeline);
- siirde- ja väljundfunktsioonide teisendamine loogikalülideks.

1) Moore automaat ja D-trigerid

Olekute kodeerimiseks on mitmeid lähenemisi. Kuna antud juhul on kasutusel D-trigerid, siis võiks lähtuda ainult siirete arvust mingisse olekusse. Üheks kodeeringu variandiks võiks näiteks olla S1-“00”, S2-“01”, S3-“11” ja S4-“10”. Nii jooksvate kui ka järgmiste olekute koodid on lisatud all toodud tabelisse. Kodeeritud automaadi tabeli kõrval on toodud D-trigeri siirde-tabel, kus on kirjas, milline peab olema trigeri sisendi (d^t) väärtus, et triger siirduks ühest olekust (q^t) teise (q^{t+1}). Mõlemaid tabeleid koos kasutades genereeritaksegi automaadi siirdefunktsioonid.

i^t	s^t	q1 q0	s^{t+1}	q1 q0	o^t
$\overline{x1}$	S1	0 0	S1	0 0	y1
x1			S2	0 1	
$\overline{x2}$	S2	0 1	S3	1 1	y2,y3
x2			S4	1 0	
1	S3	1 1	S1	0 0	y2,y4
$\overline{x3}$	S4	1 0	S1	0 0	y3,y4
x3			S4	1 0	

q^t	q^{t+1}	d^t
0	0	0
0	1	1
1	0	0
1	1	1

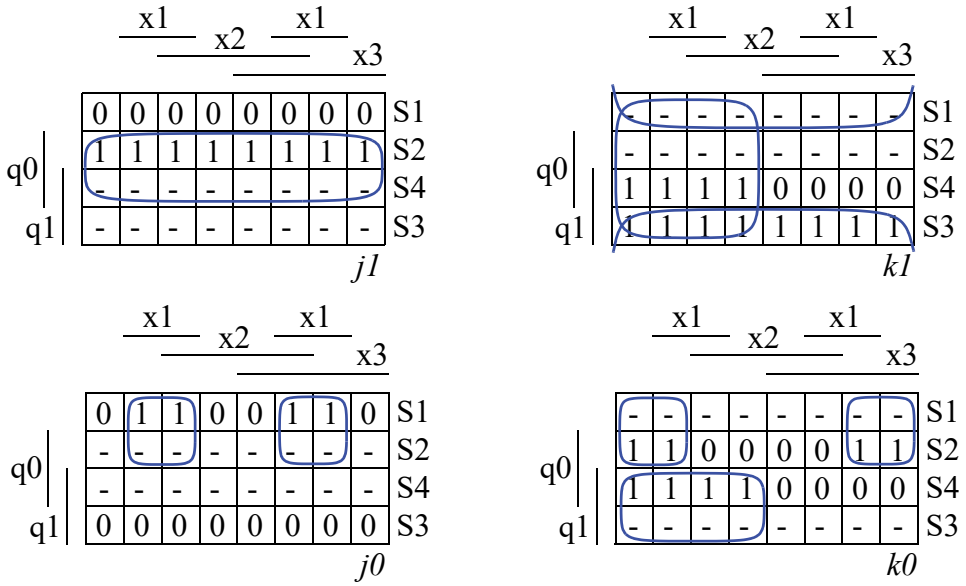
Siirdefunktsioone on kaks (d1 & d0) ja väljundfunktsioone on neli (y1, y2, y3 & y4). Siirdefunktsioonid sõltuvad nii sisendsignaalidest kui ka jooksvast olekust (d_i=f(I,S)), väljundfunktsioonid ainult jooksvast olekust (y_i=f(S)). D-trigeri sisend on 1, kui järgmise oleku vastav bit on 1. Seega on d1 “1” siis, kui automaat siirdub olekust S2 ($\overline{q1}q0$) olekutesse S3 ja S4 või olekust S4 ($q1\overline{q0}$) olekusse S4 - $d1=\overline{x2}\,\overline{q1}q0+x2\overline{q1}q0+x3q1\overline{q0}$. Sarnaselt on leitavad ka muud funktsioonid: $d0=x1\overline{q1}\,\overline{q0}+\overline{x2}\,\overline{q1}q0$, $y1=\overline{q1}\,\overline{q0}$, $y2=\overline{q1}q0+q1q0$, $y3=\overline{q1}q0+q1\overline{q0}$ ja $y4=q1q0+q1\overline{q0}$. Pärast minimeerimist saame (ühena võimalikest variantidest): $d1=\overline{q1}q0+x3q1\overline{q0}$, $d0=x1\overline{q1}\,\overline{q0}+\overline{x2}\,\overline{q1}q0$, $y1=\overline{q1}\,\overline{q0}$, $y2=q0$, $y3=\overline{q1}q0+q1\overline{q0}$ ja $y4=q1$. Leides ühised alamavaldised ($\overline{q1}q0$ ja $q1\overline{q0}$) ja need asendades saame järgmise funktsioonide süsteemi: $n0=\overline{q1}q0$, $n1=q1\overline{q0}$, $d1=n0+x3n1$, $d0=x1y1+\overline{x2}n0$, $y1=\overline{q1}\,\overline{q0}$, $y2=q0$, $y3=n0+n1$ ja $y4=q1$. Elemendid (ilma invertoriteta): 2AND - 6 tk., 2OR - 3 tk.

2) Moore automaat ja JK-trigerid

Kasutades JK-trigereid mäluelementideks, on kasulik kasutada (nii palju, kui on võimalik) naaberkoode, st. oleku kood peaks muutuma siirdel võimalikult vähe. Täiuslik naaberkodeering pole võimalik (siirded moodustavad graafis kolmurgad), kuid nt. kodeeringu S1-“00”, S2-“01”, S3-“10” ja S4-“11” kasutamisel muutub kahe siirde puhul rohkem kui üks bit. Kodeeritud automaadi tabel ja JK-trigeri siirde tabel on aluseks siirdefunktsioonide leidmisel. Täiendava veeruna võibki automaadi tabelis kasutada veel ka mäluelementide sisendite veergu. Näiteks esimese mäluelemendi (j1 & k1) puhul toimub siire 0-st 0-i, millele vastaks vajaliku sisendkombinatsioonina j1=0 & k1=-. Teise mäluelemendi teise siirde korral (0->1) peavad sisendid omama väärtusi j0=1 & k1=-. Siirdefunktsioonide minimeerimisel saab seega arvesse võtta, et osad väärtused on määramata, mis veelgi lihtsustab sünteesitavaid funktsioone. Mäluelementide sisendfunktsioonide (e. siirdefunktsioonide) minimeerimiseks on kasutatud Karnaugh kaarte.

i^t	s^t	q1 q0	s^{t+1}	q1 q0	j1 k1	j0 k0	o^t
$\overline{x1}$	S1	0 0	S1	0 0	0 -	0 -	y1
x1			S2	0 1	0 -	1 -	
$\overline{x2}$	S2	0 1	S3	1 0	1 -	- 1	y2,y3
x2			S4	1 1	1 -	- 0	
1	S3	1 0	S1	0 0	- 1	0 -	y2,y4
$\overline{x3}$	S4	1 1	S1	0 0	- 1	- 1	y3,y4
x3			S4	1 1	- 0	- 0	

q^t	q^{t+1}	j^t	k^t
0	0	0	-
0	1	1	-
1	0	-	1
1	1	-	0



Minimeeritud siirdefunktsioonid: j1=q0, k1=$\overline{q0}$+$\overline{x3}$, j0=x1$\overline{q1}$, k0=$\overline{x2}$ $\overline{q1}$+$\overline{x3}$q1.
Väljundfunktsioonid võib praktiliselt otse välja kirjutada, sest minimeerida on seal väga vähe – y1=$\overline{q1}$ $\overline{q0}$, y2=$\overline{q1}$q0+q1$\overline{q0}$, y3=q0, y4=q1. Elemendid: 2AND - 6 tk., 2OR - 3 tk.

3) Mealy automaat (esimene versioon) ja JK-trigerid
Ka antud juhul tuleks kasutada naaberkodeeringut ja jällegi pole ideaalset kodeeringut võimalik leida. Samas ostub piisavalt heaks järgmine kodeering – S1-“00”, S2-“01”, S3-“10” ja S4-“11”. Kodeeritud tabel ja siirdefunktsioonide minimeerimine on toodud allpool.

i^t	s^t	q1 q0	s^{t+1}	q1 q0	j1 k1	j0 k0	o^t
$\overline{x1}$	S1	0 0	S1	0 0	0 -	0 -	y1
x1 & $\overline{x2}$			S2	0 1	0 -	1 -	y2,y3
x1 & x2			S3	1 0	1 -	0 -	y2,y3
1	S2	0 1	S4	1 1	1 -	- 0	y2,y4
$\overline{x3}$	S3	1 0	S4	1 1	- 0	1 -	y3,y4
x3			S3	1 0	- 0	0 -	y3,y4
1	S4	1 1	S1	0 0	- 1	- 1	y1

q^t	q^{t+1}	j^t	k^t
0	0	0	-
0	1	1	-
1	0	-	1
1	1	-	0

q0 \ x1 x2 x3	000	001	011	010	110	111	101	100
S1	0	0	1	0	0	1	0	0
S2	1	1	1	1	1	1	1	1
S4	-	-	-	-	-	-	-	-
S3	-	-	-	-	-	-	-	-

j1

q0 \ x1 x2 x3	000	001	011	010	110	111	101	100
S1	-	-	-	-	-	-	-	-
S2	-	-	-	-	-	-	-	-
S4	1	1	1	1	1	1	1	1
S3	0	0	0	0	0	0	0	0

k1

q0 \ x1 x2 x3	000	001	011	010	110	111	101	100
S1	0	1	0	0	0	0	1	0
S2	-	-	-	-	-	-	-	-
S4	-	-	-	-	-	-	-	-
S3	1	1	1	1	0	0	0	0

j0

q0 \ x1 x2 x3	000	001	011	010	110	111	101	100
S1	-	-	-	-	-	-	-	-
S2	0	0	0	0	0	0	0	0
S4	1	1	1	1	1	1	1	1
S3	-	-	-	-	-	-	-	-

k0

Minimeeritud siirdefunktsioonid: j1=q0+x1x2, k1=q0, j0=$\overline{x3}$q1+x1$\overline{x2}$ $\overline{q1}$, k0=q1.
Analoogselt on leitavad ka väljundfunktsioonid.

q0 \ x1 x2 x3	000	001	011	010	110	111	101	100
S1	1	0	0	1	1	0	0	1
S2	0	0	0	0	0	0	0	0
S4	1	1	1	1	1	1	1	1
S3	0	0	0	0	0	0	0	0

y1

q0 \ x1 x2 x3	000	001	011	010	110	111	101	100
S1	0	1	1	0	0	1	1	0
S2	1	1	1	1	1	1	1	1
S4	0	0	0	0	0	0	0	0
S3	0	0	0	0	0	0	0	0

y2

q0 \ x1 x2 x3	000	001	011	010	110	111	101	100
S1	0	1	1	0	0	1	1	0
S2	0	0	0	0	0	0	0	0
S4	0	0	0	0	0	0	0	0
S3	1	1	1	1	1	1	1	1

y3

q0 \ x1 x2 x3	000	001	011	010	110	111	101	100
S1	0	0	0	0	0	0	0	0
S2	1	1	1	1	1	1	1	1
S4	0	0	0	0	0	0	0	0
S3	1	1	1	1	1	1	1	1

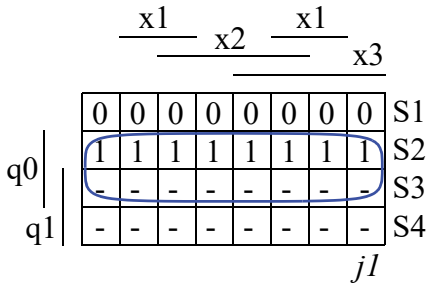
y4

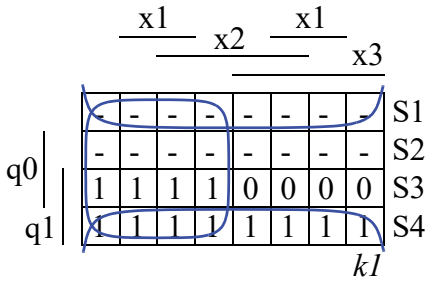
y1=q1q0+$\overline{x1}$ $\overline{q1}$ $\overline{q0}$, y2=$\overline{q1}$q0+x1$\overline{q1}$, y3=q1$\overline{q0}$+x1$\overline{q0}$, y4=$\overline{q1}$q0+q1$\overline{q0}$. Lõpuks tuleks veel leida ka siirde- ja väljundfunktsioonide ühised alamavaldised, kuid antud juhul neid praktiliselt pole: n1=$\overline{q1}$q0, n2=q1$\overline{q0}$, n3=x1$\overline{q1}$, j1=q0+x1x2, k1=q0, j0=$\overline{x3}$q1+n3$\overline{x2}$, k0=q1, y1=q1q0+$\overline{x1}$ $\overline{q1}$ $\overline{q0}$, y2=n1+x1$\overline{q1}$, y3=n2+x1$\overline{q0}$, y4=n1+n2.
Elemendid (ilma invertoriteta): 3AND - 1tk., 2AND - 9 tk., 2OR - 6 tk.

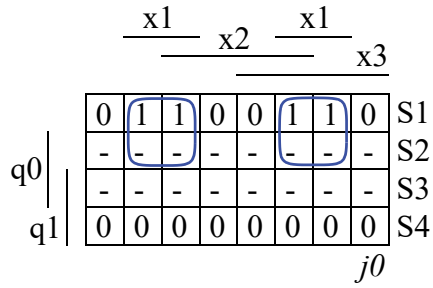
4) Mealy automaat (teine versioon) ja JK-trigerid
Kuna olekudiagramm on sarnane Moore automaadi omaga, siis tasuks võrrelda realisatsiooni, kui ka olekute kodeeringud on samad (ei tohiks aga unustada, S3 ja S4 on ära vahetatud) – S1-“00”, S2-“01”, S3-“11” ja S4-“10”.

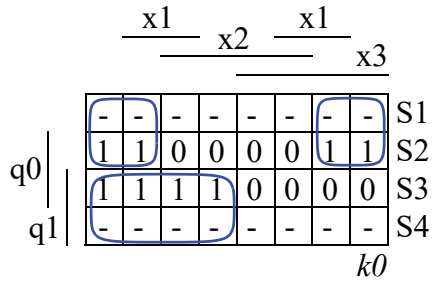
i^t	s^t	q1 q0	s^{t+1}	q1 q0	j1 k1	j0 k0	o^t
$\overline{x1}$	S1	0 0	S1	0 0	0 -	0 -	y1
x1			S2	0 1	0 -	1 -	y2,y3
$\overline{x2}$	S2	0 1	S4	1 0	1 -	- 1	y2,y4
x2			S3	1 1	1 -	- 0	y3,y4
$\overline{x3}$	S3	1 1	S1	0 0	- 1	- 1	y1
x3			S3	1 1	- 0	- 0	y3,y4
1	S4	1 0	S1	0 0	- 1	0 -	y1

q^t	q^{t+1}	j^t	k^t
0	0	0	-
0	1	1	-
1	0	-	1
1	1	-	0

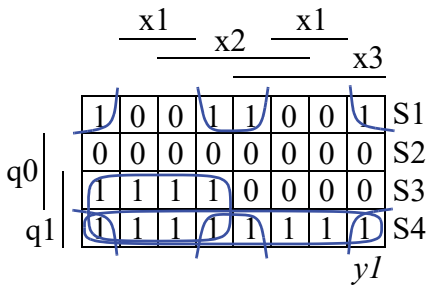


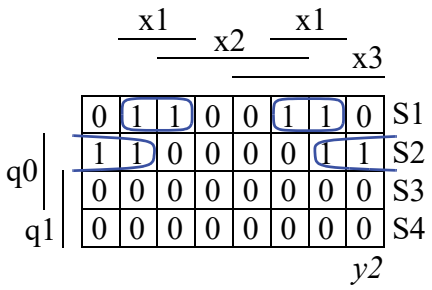


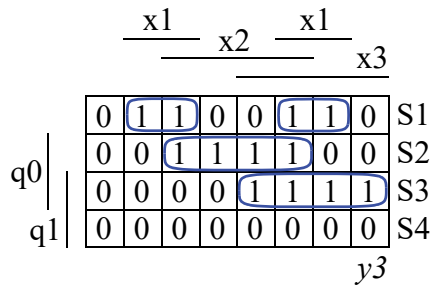


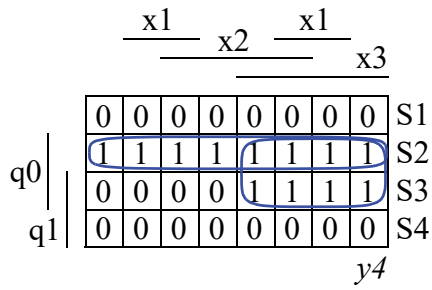


Nagu näha, on minimeeritud siirdefunktsioonid identsed Moore automaadi omadega (vt. alamülesanne 2): j1=q0, k1=$\overline{q0}$+$\overline{x3}$, j0=x1$\overline{q1}$, k0=$\overline{x2}$ $\overline{q1}$+$\overline{x3}$q1.
Väljundfunktsioonid on loomulikult keerukamad, sest tegu on Mealy automaadiga.



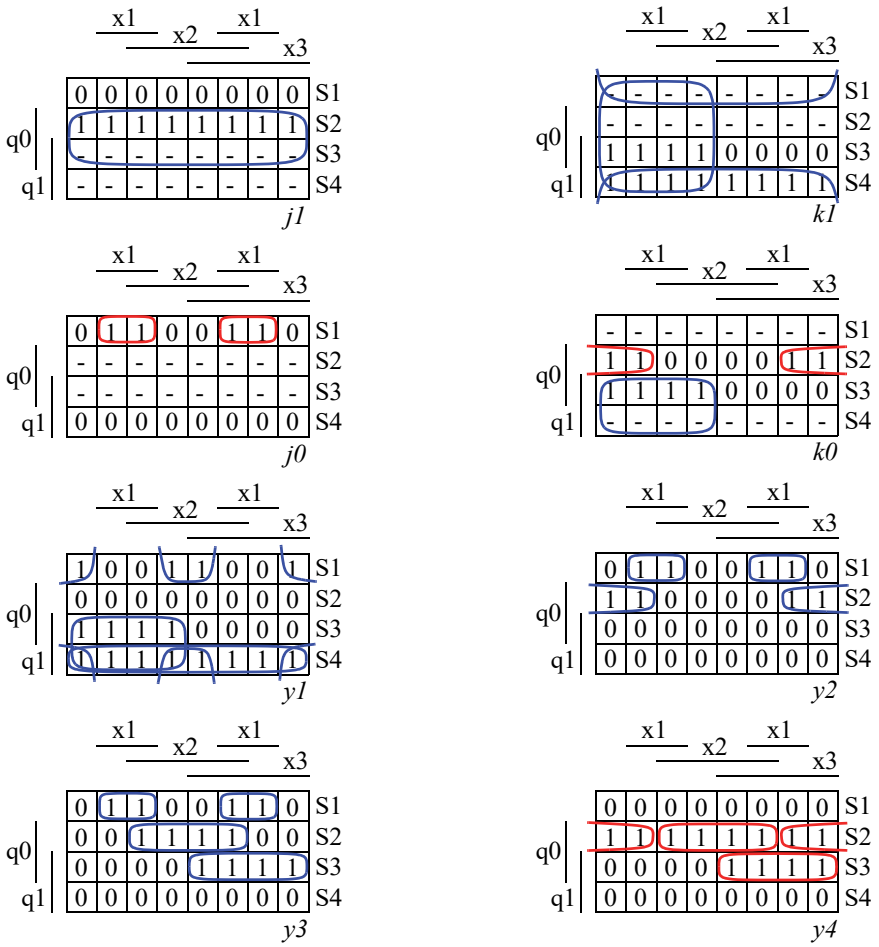






Minimeeritud väljundfunktsioonid: $y1=\overline{x1}\,\overline{q0}+\overline{x3}q1+q1\overline{q0}$, $y2=x1\overline{q1}\,\overline{q0}+\overline{x2}\,\overline{q1}q0$, $y3=x1\overline{q1}\,\overline{q0}+x2\overline{q1}q0+x3q1q0$, $y4=\overline{q1}q0+x3q0$.

Ühiste alamavaldite otsimine suurt paremaks ei tee, kuid üritades minimeerida kõiki funktsioone korraga, on võimalik tulemust parandada (muutunud kontuurid/implikandid on punaselt). Kuigi ka k1 jaoks võiks kasutada y1 implikante, ei annaks see skeemi seisukohalt midagi juurde, sest 2OR on igal juhul vajalik.



Tuues ühised alamavaldised eraldi välja, on tulemuseks järgmine skeem: $n1=x1\overline{q1}\,\overline{q0}$, $n2=\overline{x2}\,\overline{q1}q0$, $n3=\overline{x3}q1$, $n4=x2\overline{q1}q0$, $n5=x3q1q0$, $n6=n4+n5$, $j1=q0$, $k1=\overline{q0}+\overline{x3}$, $j0=n1$, $k0=n2+n3$, $y1=\overline{x1}\,\overline{q0}+n3+q1\overline{q0}$, $y2=n1+n2$, $y3=n1+n6$, $y4=n2+n6$.

Elemendid (ilma invertoriteta): 3AND - 4 tk., 2AND - 3 tk., 3OR - 1 tk., 2OR - 6 tk.