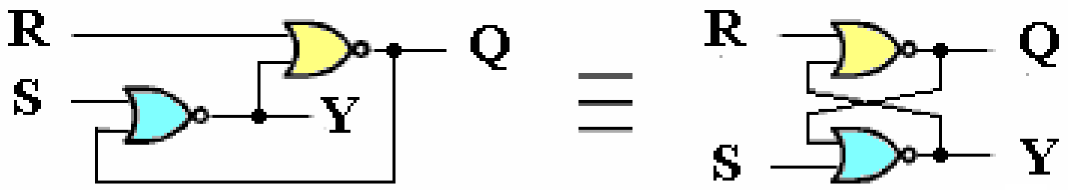
3. Sekvenční logické obvody

3. Sekvenční logické obvody - úvod

Sledujme chování jednoduchého logického obvodu se zpětnou vazbou

Př



R	S	Q	Y
1	1	0	0
1	0	0	1
0	1	1	0
0	0	?	?

pozorování:

R	S	Q	Y
1	0	0	1
0	0	0	1
0	1	1	0
0	0	1	0

$$Q = \varphi(Y) \quad \text{a} \quad Y = \chi(Q)$$

Závěr: výstupy závisí na "historii"

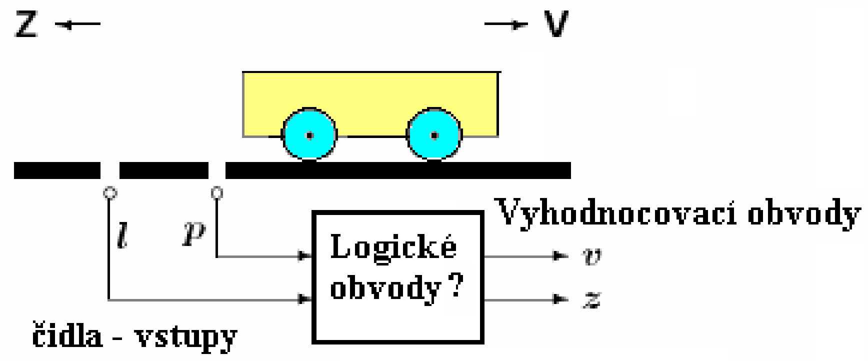
sekvenční obvody (dosud: kombinační obvody)

zpětná vazba !?!

3. Sekvenční logické obvody – příklad sekv.o.

Příklad sledování polohy vozíku

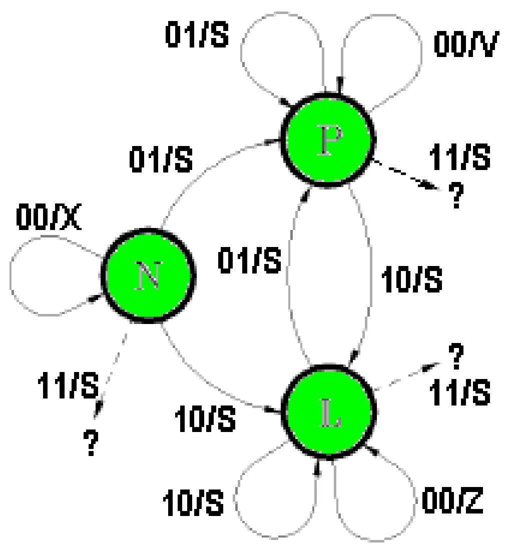
Čidla *l*, *p* indikují polohu vozíku



výstupy:

v	*z*	
0	0	X ???
0	1	Z západ
1	0	V východ
1	1	S střed

Sestavení grafu přechodů se 3 vnitřními stavy



3 vnitřní stavy:

N	...	Nevím
L	...	vlevo
P	...	vpravo

3. Sekvenční logické obvody – tabulky přechodů

Sestavení tabulky přechodů ⇒ z grafu přechodů a výstupů

Stavy: vnitřní stavy N,L,P
vstupní stavy - kombinace (l,p) 00, 10, 11, 01
výstupní stavy X, Z, V, S

(l, p)	00	10	11	01
N	N	L	?	P
L	L	L	?	P
P	P	L	?	P

00	10	11	01
X	S	S	S
Z	S	S	S
V	S	S	S

Kódování: vnitřních stavů ⇒ stavy na vnitřních proměnných a, b
kódy výstupních stavů X, Z, V, S – stavy na výst. prom.
- (v,z) bylo provedeno na předchozím slajdu

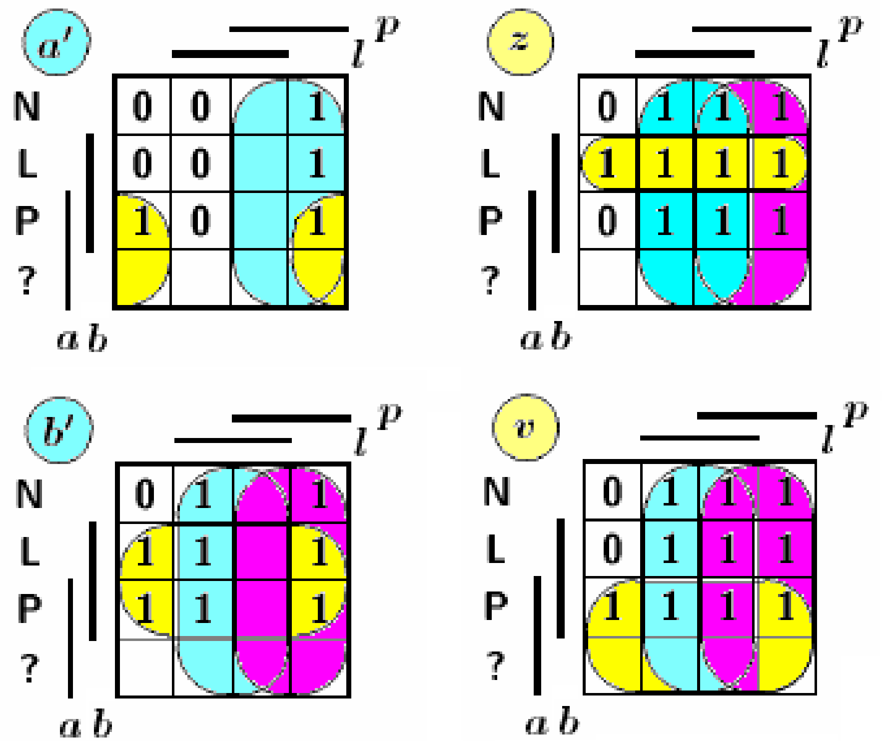
Kódy vnitřních stavů:

	a	b
N	0	0
L	0	1
P	1	1
x	1	0

a , b jsou
vnitřní
proměnné

3. Sekvenční logické obvody – mapy

Kódované tabulky přechodů a výstupů



$$a' = p + a.\bar{l}$$
$$b' = p + l + b$$
$$z = p + l + \bar{a}.b$$
$$v = p + l + a$$

	a	b
N	0	0
L	0	1
P	1	1
?	1	0

Tab. přechodů

(l, p)	00	10	11	01
N	00	01	–	11
L	01	01	–	11
P	11	01	–	11
	–	–	–	–

ab

výstupy:

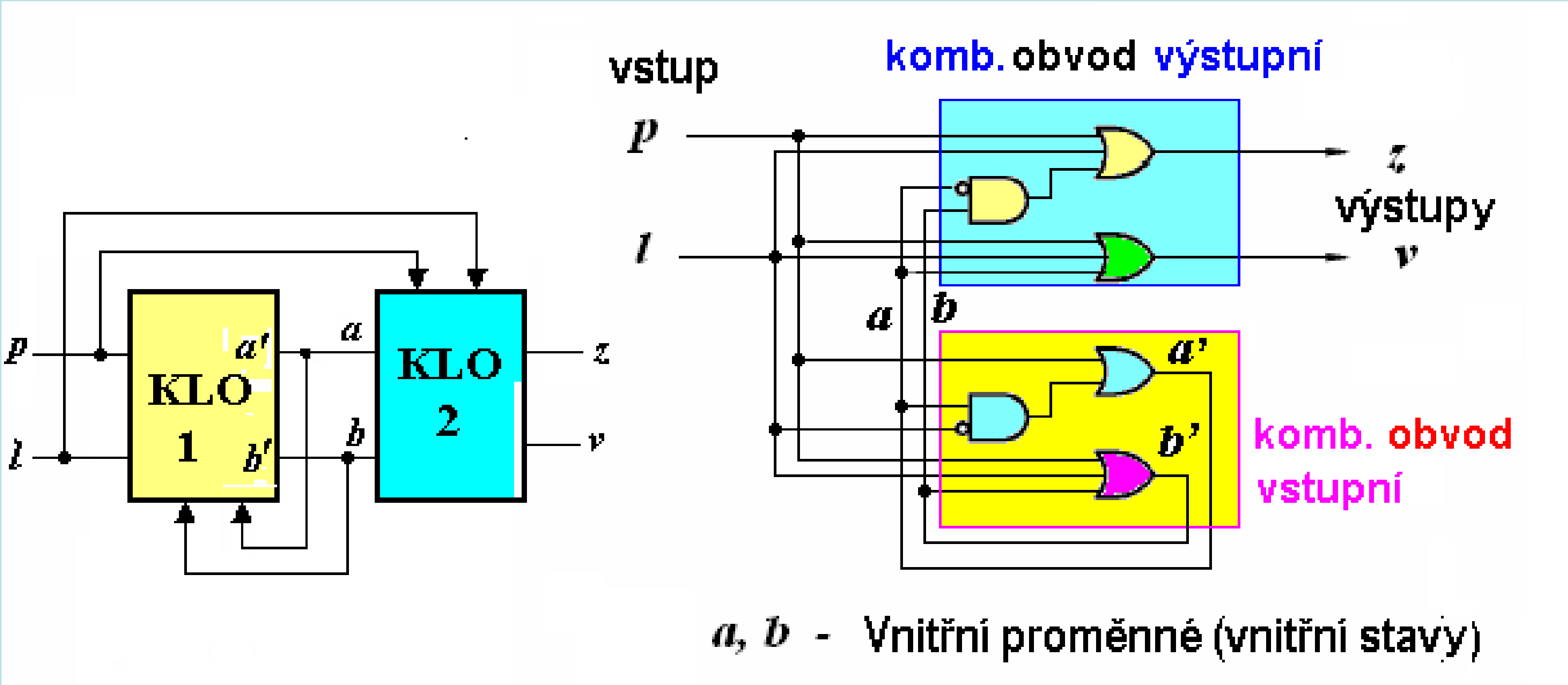
v	z	
0	0	X
0	1	Z
1	0	V
1	1	S

Tab. výstupů

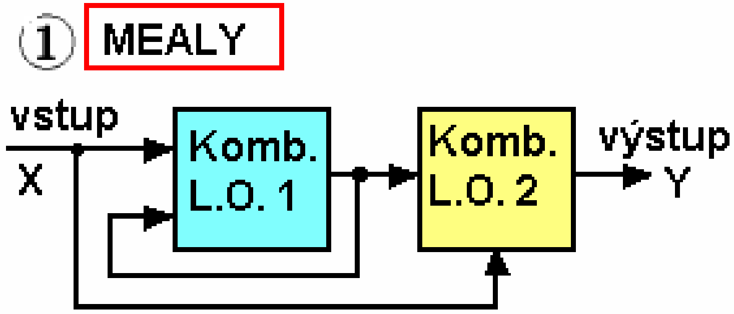
(l, p)	00	10	11	01
	X	S	S	S
	Z	S	S	S
	V	S	S	S
	–	–	–	–

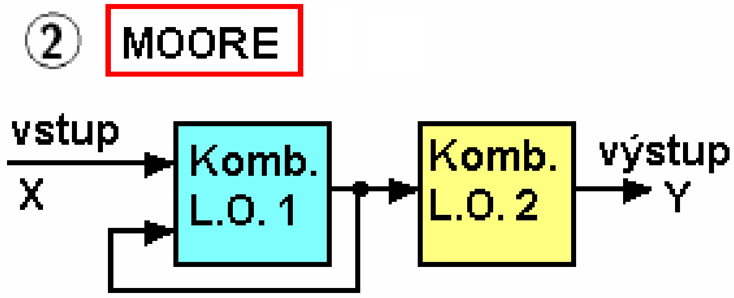
ab

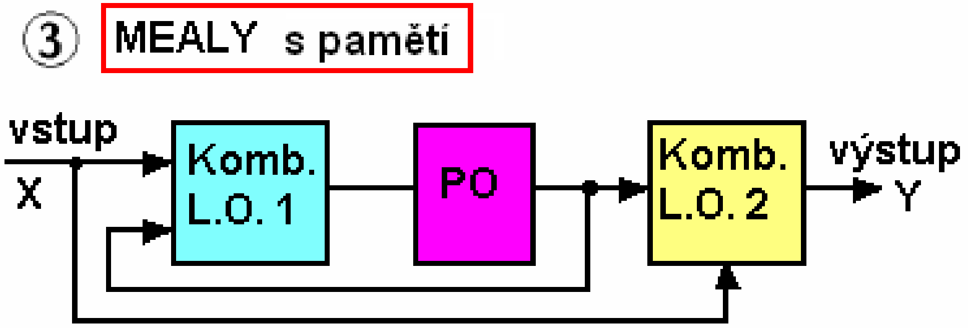
3. Sekvenční logické obvody – výsledné schéma asyn.



3. Sekvenční logické obvody – Mealy, Moore asynchronní



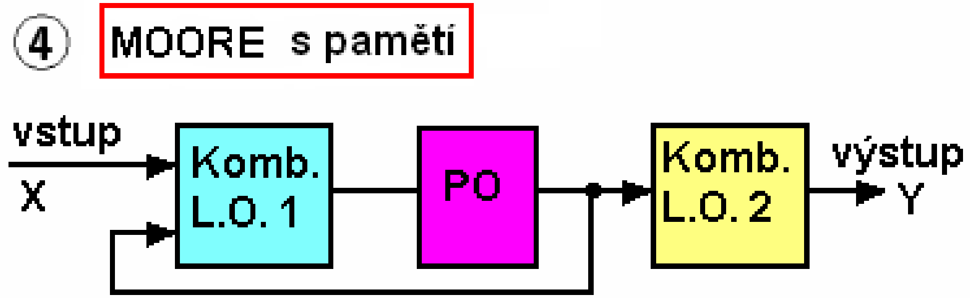




K.L.O. 1 - vstupní LO vytváří budící funkce PO

K.L.O. 2 - výstupní LO

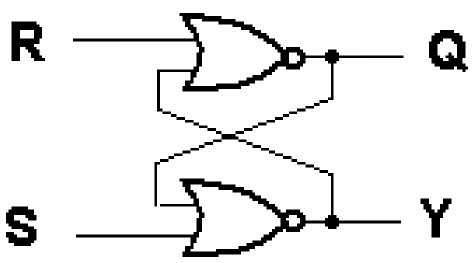
PO - paměťové obvody



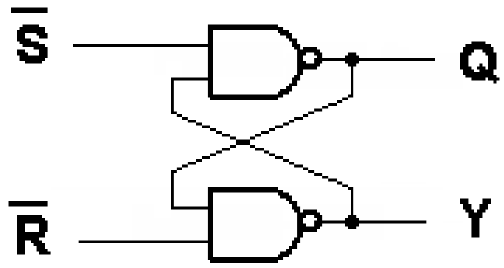
3. Sekvenční obvody - paměťové členy, klopné obvody – flip-flop

Asynchronní klopné obvody

Typ R-S [Reset / Set]



Typ $\overline{R}$-$\overline{S}$



Popis chování tabulkou

R	S	Q'	Y'		R	S	Q'	Y'
0	0	Q	$\overline{Q'}$	pamatuje	1	1	Q	$\overline{Q'}$
0	1	1	$\overline{Q'}$	zápis 1	1	0	1	$\overline{Q'}$
1	0	0	$\overline{Q'}$	zápis 0	0	1	0	$\overline{Q'}$
1	1	0	0	???	0	0	1	1

R a S, eventuelně $\overline{R}$ a $\overline{S}$ - jsou nazývány budícími funkcemi

3. Sekvenční obvody – fundamentální režim

Fundamentální režim asynchronního systému:

1) Připouští se změna jen jedné vstupní proměnné
2) Další změna vstupní proměnné je možná až po ustálení přechodového děje na předchozí změnu
3) Asynchronní systém přechází z jednoho stabilního stavu do druhého stabilního stavu – přes několik nestabilních stavů

Vznik hazardů.

a) **V kombinačních modulech:** hazard vzniká na základě reálného chování komb. logických členů – především působí zpoždění signálu.

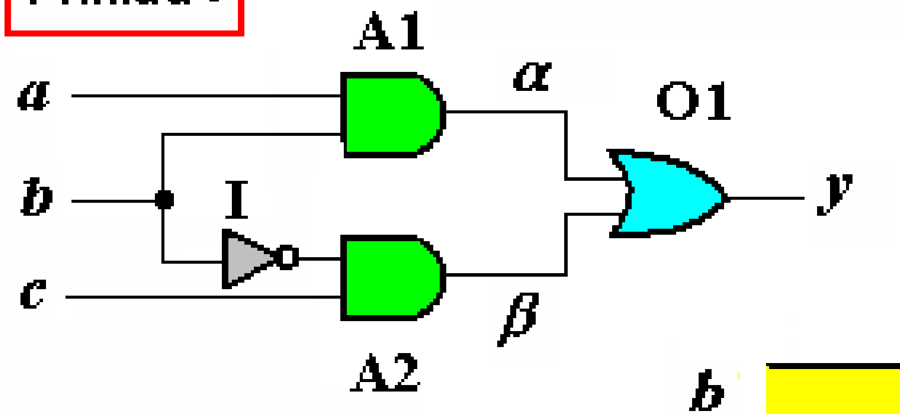
Tedy jde o reálnou reakci na změnu vstupního signálu na výstupu.

Uveďme příklad statického hazardu v jedničce (může být i v 0)

Uvažované zpoždění předpokládejme stejné u každého logického členu a sice τ . V praxi samozřejmě je jiné a ještě závislé na prostředí.

3. Sekvenční obvody - hazardy

Příklad :

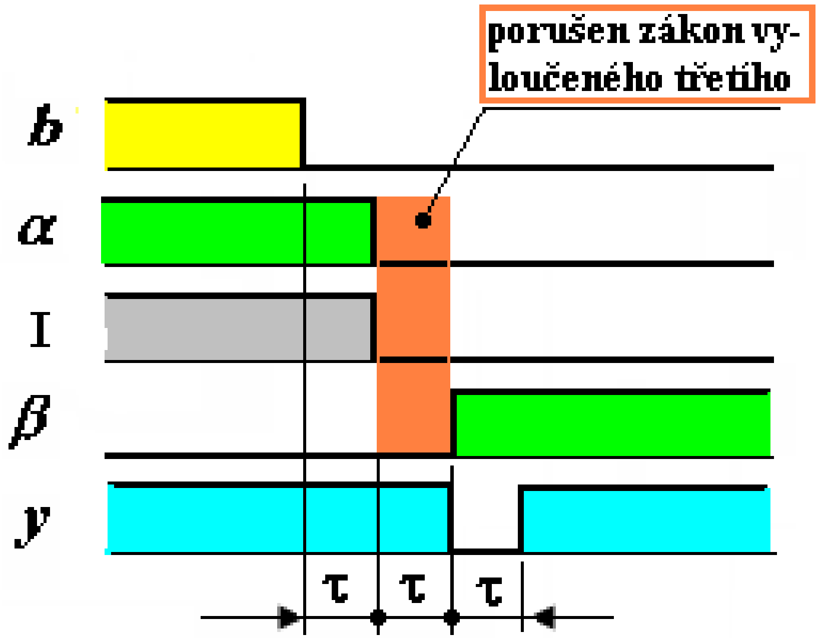


Počáteční stav :

$a = b = c = 1 \Rightarrow$

$\Rightarrow y = a.b + \overline{b}.c = 1$

Časové průběhy:



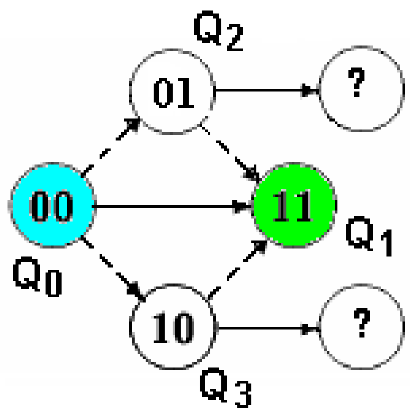
Statický hazard v logické jedničce

3. Sekvenční obvody - hazardy

b) Souběhový hazard - kritický (nekritický) - podstatný hazard

Příklad: má se uskutečnit přechod z Q_0 do Q_1, přičemž Q_0 je zakodováno jako 00 (vnitřní proměnné q_0 a q_1) a Q_1 je zakó dováno jako 11. Protože nemůže nastat současná změna na obou vnitř. proměnných, bude přecházet přes mezilehlé stavy 01 nebo 10. Dále,jestli se dostane do správného cílového vnitřního stavu záleží na přechodových funkcích ze stavu 01 nebo 10. Pokud bude jeden z těchto mezilehlých stavů "stabilní", pak se již do cílového stavu 11 nedostane. Vzniká "kritický" souběhový hazard. Jinak, přejde-li přes Q_2 nebo Q_3 do cílového stavu Q_1 jedná se o souběhový hazard "nekritický".

Sekvenční systém má přejít ze stavu 00 do stavu 11 a budou se měnit obě vnitřní proměnné současně, což se prakticky nemůže splnit a mění se posloupně →



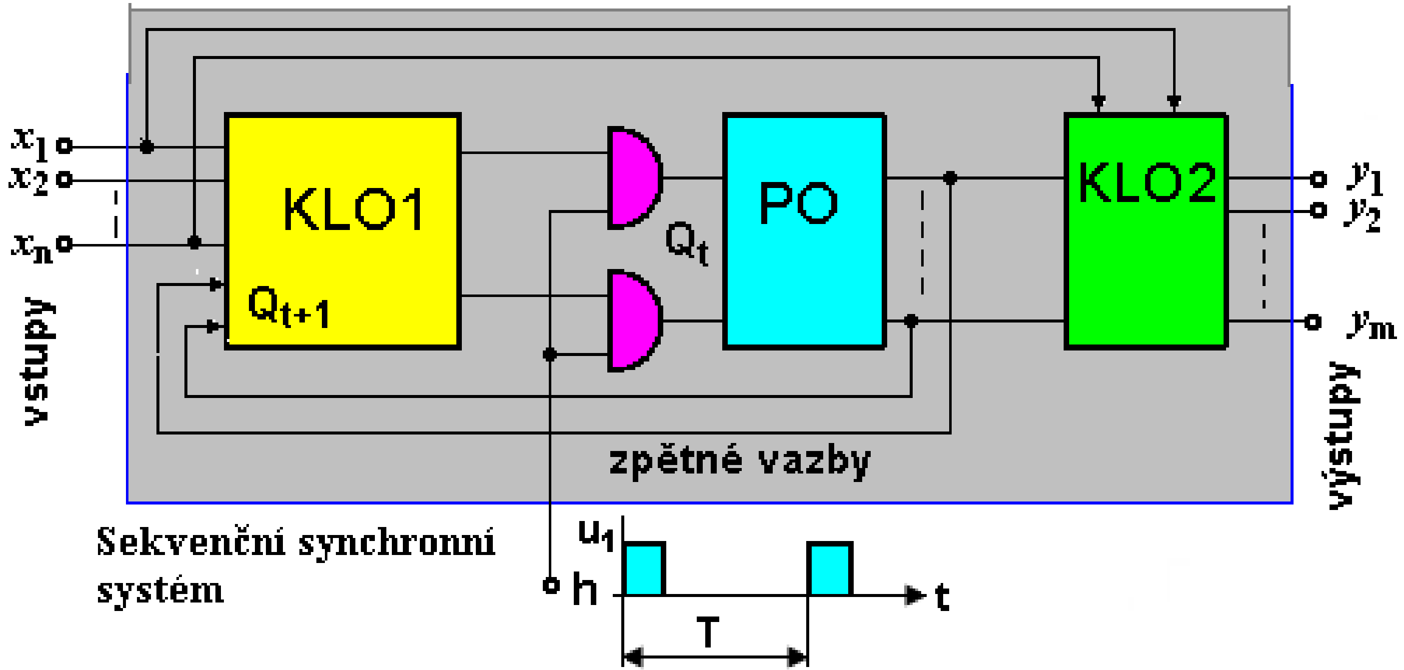
Jaké je řešení : přejít na návrh synchronního systému !!

3. Sekvenční obvody – synchronní systémy

do zpětných vazeb se zařadí *tzv.* *synchronní paměťové členy* (klopné obvody) tj. obvody, jejichž vstupy jsou vzorkovány tzv. hodinovými impulsy krátce řečeno "hodinami" - angl. clock

⟹ přechodové děje jsou ignorovány

⟹ v činnosti probíhá diskrétní čas - takty

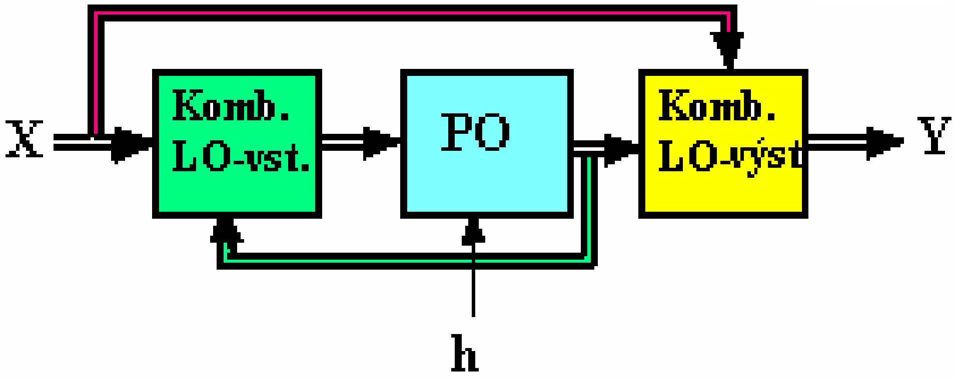


Sekvenční synchronní systém

3. Synchronní obvody – Mealy a Moore

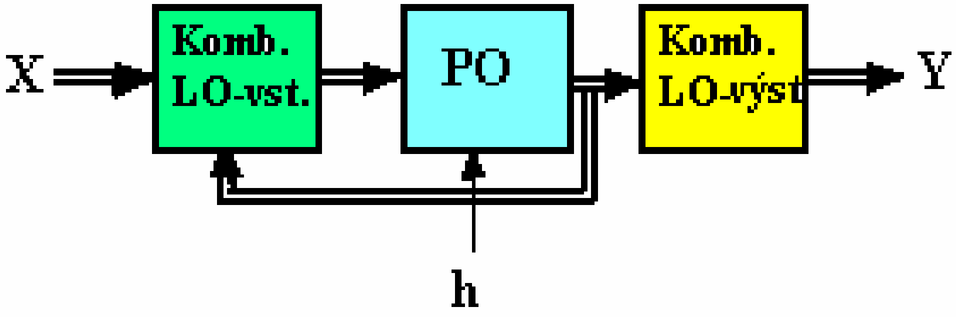
A) Princip synchronního sekvenčního obvodu - Mealy

Výstupní kombinační obod je závislý i na vstupních proměnných



B) Princip synchronního sekvenčního obvodu - Moore

Výstupní kombinační obvod není závislý na vstupních proměnných



3. Sekvenční obvody – synchronní systémy

PO – paměťové obvody v synchronním systému

Použijí se synchronní paměťové členy

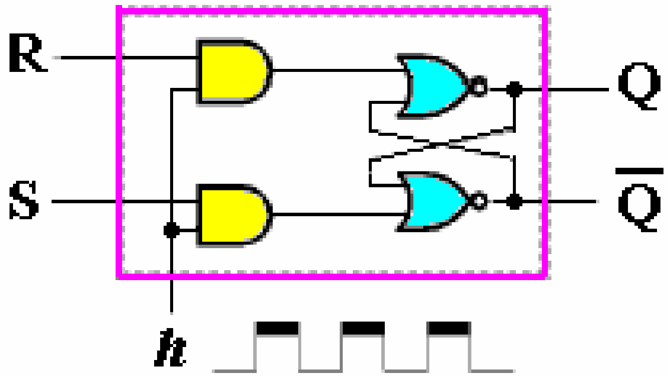
Součinové logické členy, které zajišťují přerušování zpětných vazeb jsou obsaženy na vstupech klopných obvodů (viz dále).

klopné obvody -- **hladinové**, řízené hladinou, resp. úrovní synchron. impulsů (latch)
-- **hranové**, řízené náběžnou nebo sestupnou hranou impulsu (flip-flop)

3. Synchronní obvody – hladinové KO

Hladinové klopné obvody [latch]

1. typ R–S [Reset - Set]

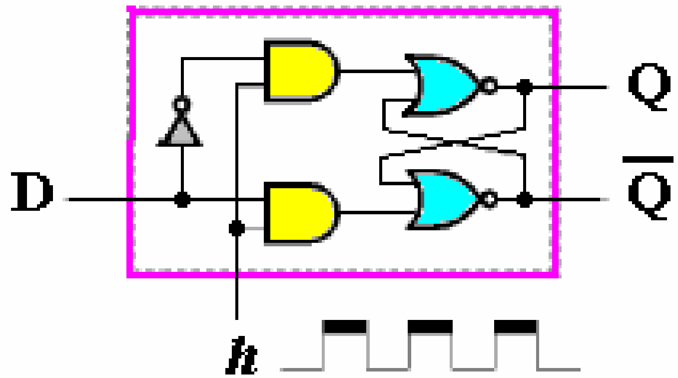


h	
0	„pamatuje se"
1	vst. $\rightsquigarrow$ výst.

$R \cdot S = 1$ & h: $1 \to 0$ $\Longrightarrow$ $Q = ?$

proto: $\boxed{R \cdot S \neq 1}$ — nutno zajistit při návrhu

2. typ D [D:]



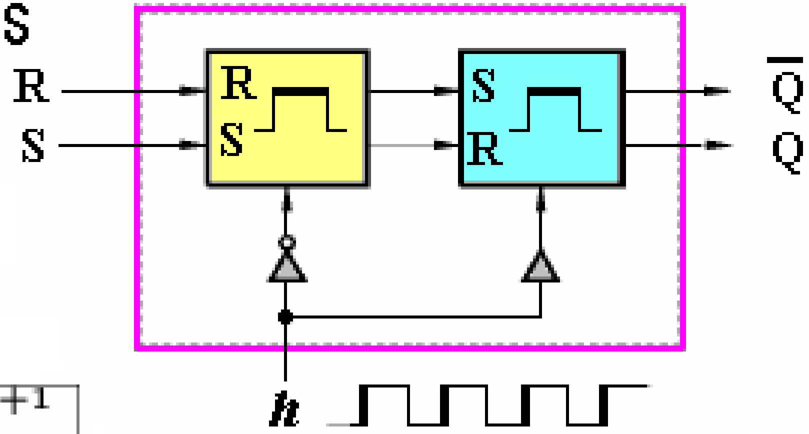
Problém : šířka hodinových pulsů $\to$ lépe hranové klopné obvody

3. Synchronní obvody – Master- Slave RS

Klopné obvody „*master – slave*“ (typ R - S) - dvoufázové obvody

1. Typ R - S

[Reset - Set]



změna výstupů (Q, popř. $\overline{Q}$): jen při náběžné hraně hodinových pulsů

R	S	Q^{t+1}
0	0	Q^t
0	1	1
1	0	0
1	1	?

společné hodiny $\Longrightarrow$

- hodiny $\nearrow$ — změna stavu všech klop. obv.
- potom: přechodový děj v kombinačních obv.
- hodiny $\nearrow$ — $\vdots$ atd.

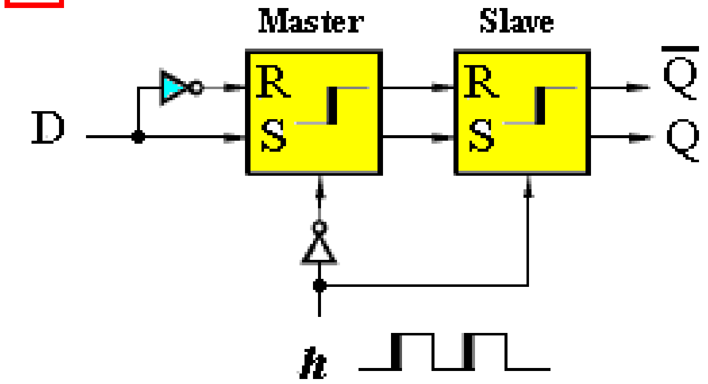
Pozn.: 1. modifikace uvedeného zapojení: závěrná hrana místo náběžné hrany ($\searrow$ místo $\nearrow$)

2. existují i jiné možnosti realizace hran. klop. obvodů

3. i zde nutno zajistit $\boxed{R \cdot S \neq 1}$ $\rightarrow$ jiné typy

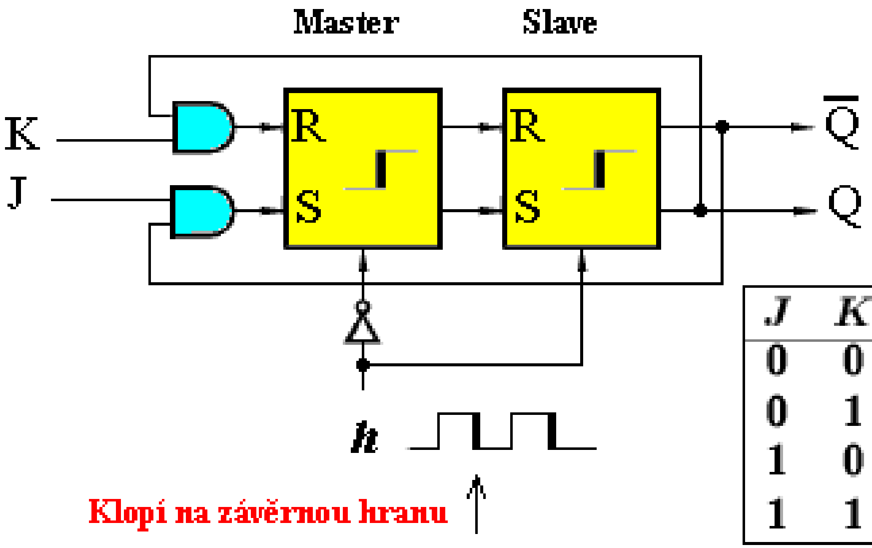
3. Synchronní klopné obvody – hranové - MS

2. D [Data]



D	Q^{t+1}
1	1
0	0

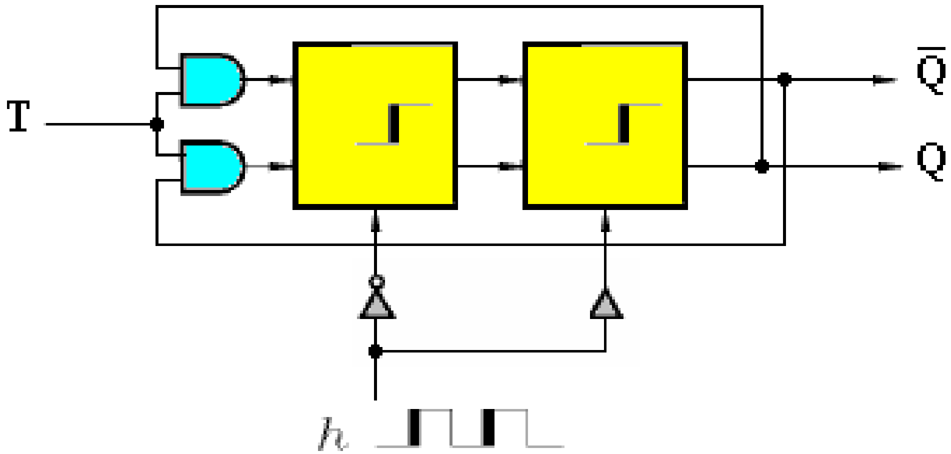
3. J–K [Jordan - Eccles]



J	K	Q^{t+1}
0	0	Q^t
0	1	0
1	0	1
1	1	$\overline{Q^t}$

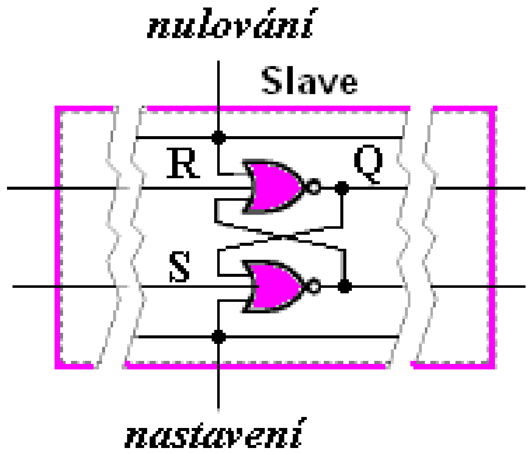
3. Synchronní klopné obvody – hranové 2

4. Typ - T [Trigger]

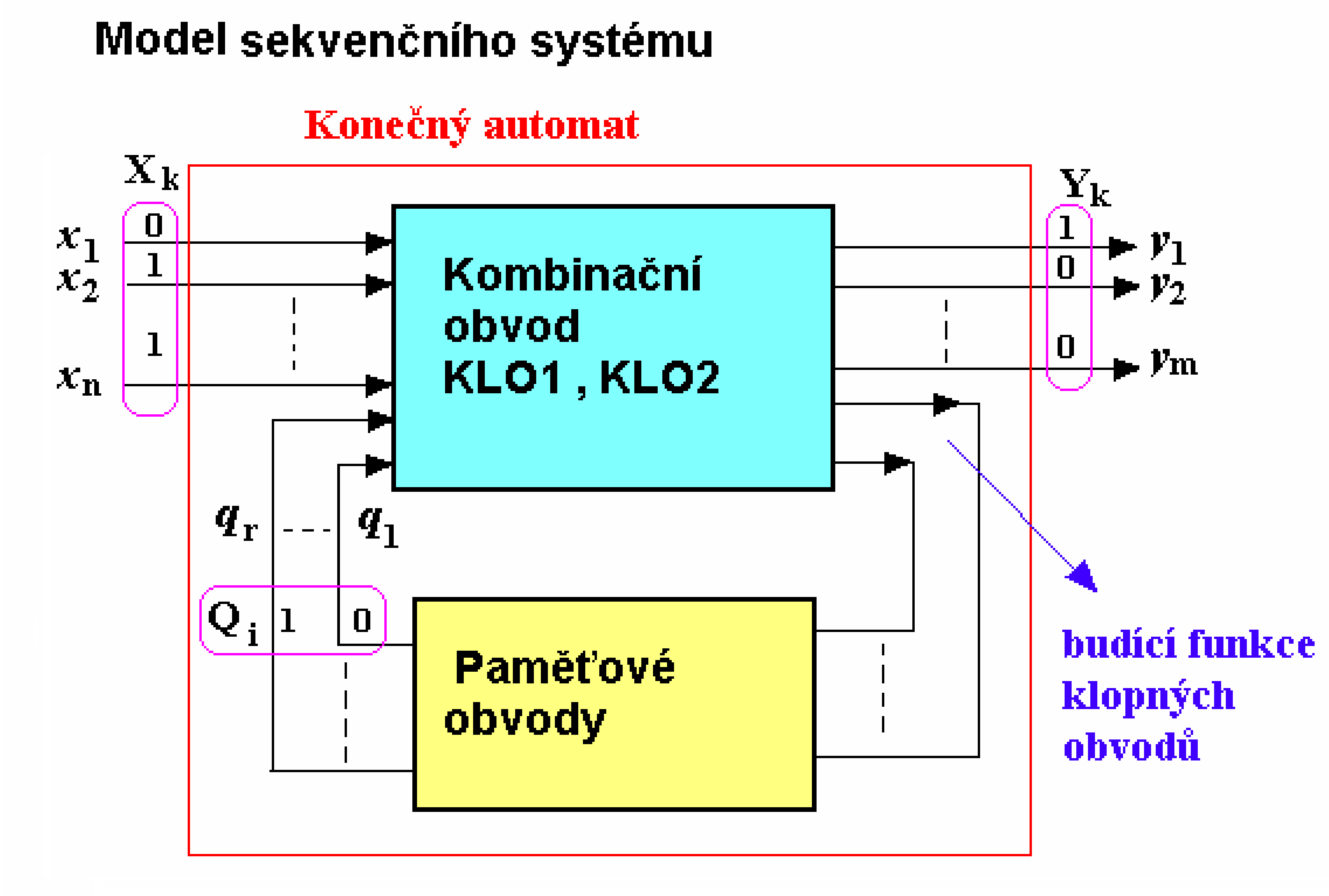


T	Q^{t+1}
1	$\overline{Q^t}$
0	Q^t

aynchronní nastavení a nulování synchronních KO



3. Synchronní obvody – model sekvenčního systému



3. Sekvenční systémy – popis jako KA

Konečný automat (KA) : matematický model SLO

uspořádaná pětice: $(X, Y, Q, \delta, \lambda)$ nebo šestice : $(A, Y, Q, Q_0, \delta, \lambda)$

iniciální automat

X .... množina možných kombinací hodnot vstup. proměnných KA; př: 3 vstup. prom. ⇒ X obs. $2^3 = 8$ kombinací - množina vstupních symbolů

Y .... množina možných kombinací hodnot výstupních proměnných KA - množina výstupních symbolů

Q .... množina vnitřních stavů - kombinací hodnot vnitřních proměnných KA

Q_0 .... počáteční stav (kombinace hodnot vnitřních proměnných KA v počáteč. stavu)

δ .... stavově přechodová funkce :

$\delta : X \times Q \rightarrow Q$ ....definuje příští vnitřní stav KA

λ .... výstupní funkce :

λ: a) $X \times Q \rightarrow Y$ .... typ Mealy

b) $Q \rightarrow Y$ .... typ Moore

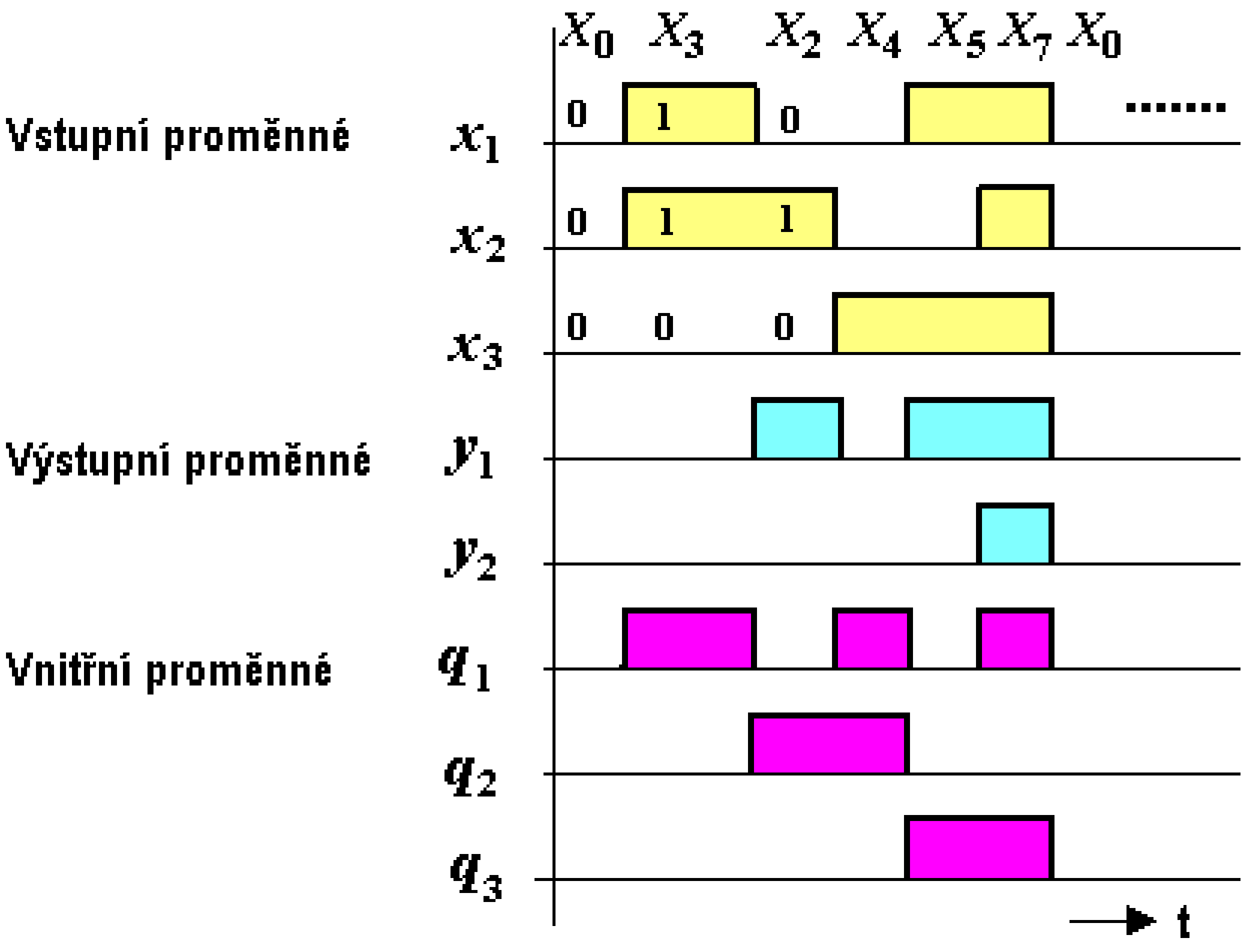
ξ .... vstupní slovo - $X_2 X_0 X_3 X_1$...

η ... výstupní slovo - $Y_0 Y_1 Y_0 Y_3$ .....

Formy popisu KA :
- graf přechodů
- tabulky pro δ a λ

3. Sekvenční systém – příklad popisu KA

Příklad popisu sekvenčního systému :



Vstupní symboly

	x_1	x_2	x_3
X_0	0	0	0
X_1	1	0	0
X_2	0	1	0
X_3	1	1	0
X_4	0	0	1
X_5	1	0	1
X_6	0	1	1
X_7	1	1	1

Výstupní symboly

	y_1	y_2
Y_0	0	0
Y_1	1	0
Y_2	0	1
Y_3	1	1

3. Sekvenční systém – příklad popisu KA 2

Příklad popisu sekvenčního systému :

Vstupní slovo $\xi =$		X_0	X_3	X_2	X_4	X_5	X_7	X_0
Posloupnost vnitř.stavů	$\boxed{Q_0}$	Q_0	Q_1	Q_2	Q_3	Q_4	Q_5	Q_0
Výstupní slovo $\eta =$ (Odezva)		Y_0	Y_0	Y_1	Y_0	Y_1	Y_3	Y_0

Kód vnitřních stavů :

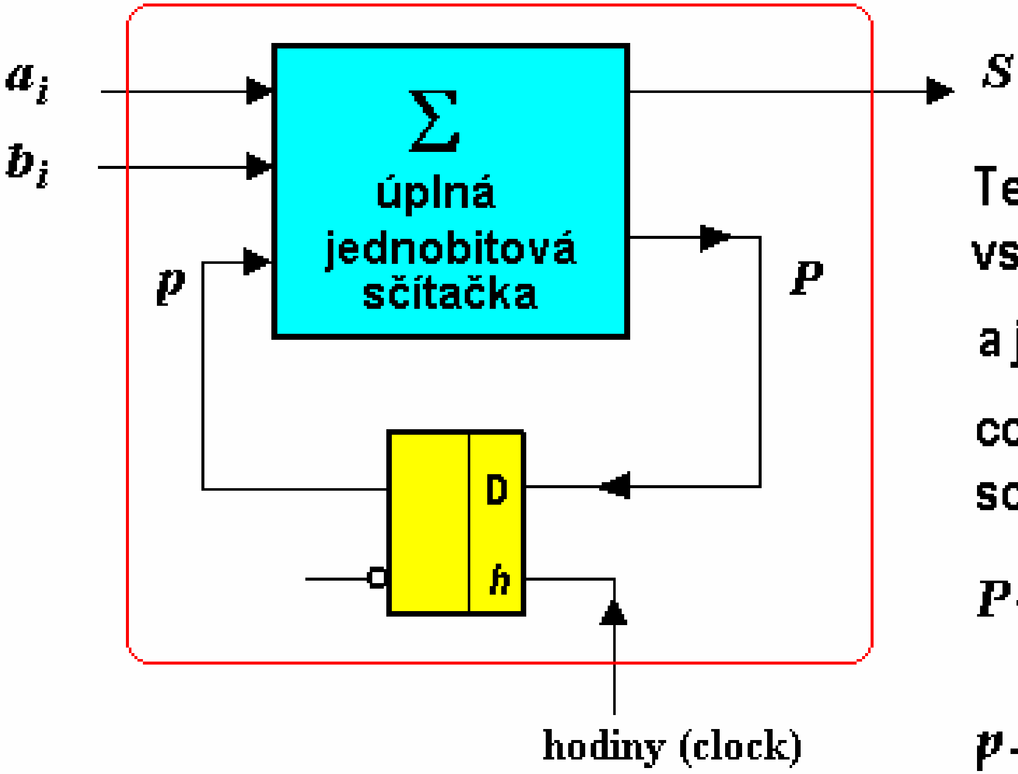
	q_1	q_2	q_3
Q_0	0	0	0
Q_1	1	0	0
Q_2	0	1	0
Q_3	1	1	0
Q_4	0	0	1
Q_5	1	0	1
Q_6	0	1	1
Q_7	1	1	1

Q_0 — počáteční stav ?

3. Sekvenční systém – př. sériová sčítačka

Zadání příkladu pro popis sekv.obvodu jako KA :

Uvažujme synchronní seriovou sčítačku realizovanou jednobitovou úplnou sčítačkou jako kombinační obvod sekvenčního systému a D - klopným obvodem



Tento obvod má dva vstupy a_i, b_i

a jeden výstup S,

což je binární součet bitů a_i, b_i

P – je přenos do vyššího řádu

p – je přenos z nižšího řádu

3. Sekvenční systém – popis sériové sčítačky tabulkou přechodů a výstupů

Množina vstupních symbolů:

a_i	b_i	X
0	0	X_0
1	0	X_1
0	1	X_2
1	1	X_3

Množina výstupních symbolů:

S	Y
0	Y_0
1	Y_1

$q = p$	Q
0	Q_0
1	Q_1

Množina vnitřních stavů : Q_0 Q_1

Tedy při Q_0 není požadován přenos

a při Q_1 je požadován přenos

Tabulka přechodů a tabulka výstupů:

$Q \backslash X$ ($a_i b_i$)	00 X_0	10 X_1	01 X_2	11 X_3	00 X_0	10 X_1	01 X_2	11 X_3
Q_0	Q_0	Q_0	Q_0	Q_1	Y_0	Y_1	Y_1	Y_0
Q_1	Q_0	Q_1	Q_1	Q_1	Y_1	Y_0	Y_0	Y_1

Tabulka přechodů

Funkce δ

Tabulka výstupů pro S

Funkce λ

3. Sekvenční systém – použití tabulky přechodů

Vstupují 2 čísla A, B - osmibitová a budeme hledat odezvu

	A	1	1	0	1	1	0	0	1	
	B	0	1	0	0	1	0	1	1	
Vstupní slovo	ξ	X_1	X_3	X_0	X_1	X_3	X_0	X_2	X_3	posloupnost vstupních symbolů
Poč.stav	Q_0^0	Q_0	Q_1	Q_0	Q_0	Q_1	Q_0	Q_0	Q_1	posloupnost vnitřních stavů
	P	0	1	0	0	1	0	0	1	
Výstup	S	1	0	1	1	0	1	1	0	
Výstupní sl.	η	Y_1	Y_0	Y_1	Y_1	Y_0	Y_1	Y_1	Y_0	posloupnost výstupních symbolů

Poznámka : Vstupní slovo ξ se zobrazuje do výstupního slova η

$(Q_{i,t} \ , \ X_{i,t}) \longrightarrow Q_{j,t+1}$ -- přechodová funkce δ

$(Q_{j,t} \ , \ X_{i,t}) \longrightarrow Y_{i,t}$ -- výstupní funkce λ

3. Sekvenční systém – určení automatu Mealyho

I. Model Mealyho automatu

Je určen uspořádanou pěticí resp. šesticí množin

$$A^N = \langle X, Y, Q, \delta, \lambda \rangle$$ neiniciální typ

$$A^I = \langle X, Y, Q, \delta, \lambda, Q_i^0 \rangle$$ iniciální typ, Q_i^0 je počáteční stav

Přechodová funkce δ je dána jako zobrazení : $[X^t, Q_i^t] \rightarrow$ resp.

jako kartézský součin $X^t * Q_i^t \rightarrow Q_j^t$

nebo jako funkce $Q_j^t = \delta(X^t, Q_i^t)$

Výstupní funkce λ rovněž jako zobrazení : $[X^t, Q_i^t] \rightarrow Y^t$ resp.

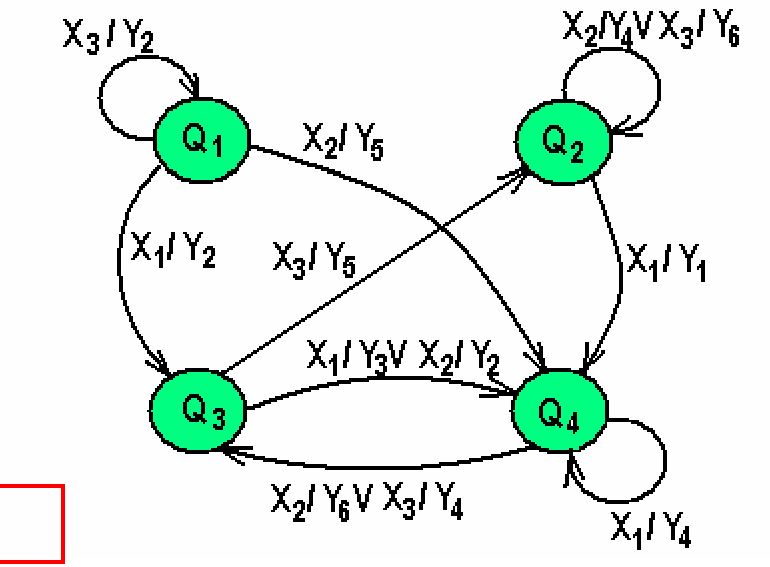
$X^t * Q_i^t \rightarrow Y^t$

nebo jako funkce $Y^t = \lambda(X^t, Q_i^t)$

3. Sekvenční systém – příklad automatu Mealy

A	X_1	X_2	X_3	X_1	X_2	X_3
Q_1	Q_3	Q_4	Q_1	Y_2	Y_5	Y_2
Q_2	Q_4	Q_2	Q_2	Y_1	Y_4	Y_6
Q_3	Q_4	Q_4	Q_2	Y_3	Y_2	Y_5
Q_4	Q_4	Q_3	Q_3	Y_4	Y_6	Y_4

Zápis grafem přechodů :



II. Model Mooreova automatu

Je určen uspořádanou pěticí resp. šesticí množin

$$A^N = \langle X, Y, Q, \delta, \lambda_0 \rangle \quad \text{neiniciální typ}$$

$$A^I = \langle X, Y, Q, \delta, \lambda_0, Q_i^0 \rangle \quad \text{iniciální typ}$$

kde λ_0 je zjednodušená výstupní funkce, která je závislá pouze na vnitřních stavech

3. Sekvenční systém – určení automatu Moore

Přechodová funkce je stejná jako u Mealyho automatu, tedy

$$Q_j^t = \delta(X^t, Q_i^t)$$

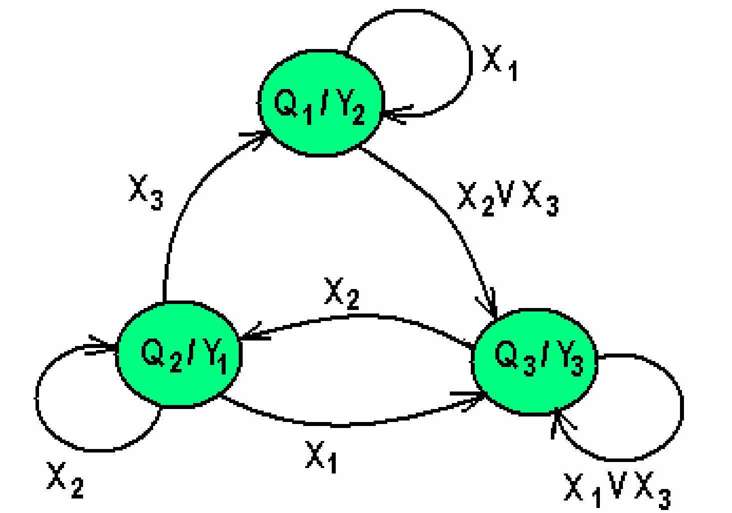
Výstupní funkce λ_0 **funkcí** je tzv. markovací funkcí :

$$Q_j^t \rightarrow Y^t \qquad \text{resp. } Y^t = \lambda_0(Q_j^t)$$

To znamená, že tabulka výstupů se zobrazuje do jednosloupcové tabulky

Příklad zadání úplně určeného Mooreova automatu :

A	X_1	X_2	X_3	λ_0
Q_1	Q_1	Q_3	Q_3	Y_2
Q_2	Q_3	Q_2	Q_1	Y_1
Q_3	Q_3	Q_2	Q_3	Y_3



$$\xi = X_2X_3X_1X_3 \ldots \rightarrow Q_3 \mid Q_2Q_1Q_1Q_3 \ldots \rightarrow \eta = Y_1Y_2Y_2Y_3 \ldots$$

3. Sekvenční systém – postup návrhu synchr. a.

1. Provede se analýza zadání funkcí sekvenčního systému, event. se stanoví počet vstupních a výstupních proměnných (pokud to nebylo definováno na počátku).
2. Stanoví se počet vnitřních stavů a sestaví se tabulky přechodů a výstupů, resp. graf přechodů
3. Provede se podle situace redukce počtu vnitřních stavů.
4. Určí se počet vnitřních proměnných (tomu odpovídá počet KO) podle nerovnosti

   $$2^{r-1} < s \leq 2^{r}$$

   Dále se navrhne vhodný kód pro zakódování vnitřních stavů a sestaví se zakódovaná tabulka přechodů.
5. Ze zakódované tabulky přechodů a přechodových funkcí zvoleného paměťového členu (KO) vytvoříme tabulky resp. mapy řídících funkcí těchto klopných obvodů. Z tabulek resp. map se naleznou minimalizované booleovské výrazy (z nich se pak realizuje kombinační logický obvod 1 – KLO 1).

3. Sekvenční systém – postup návrhu synchr. a.

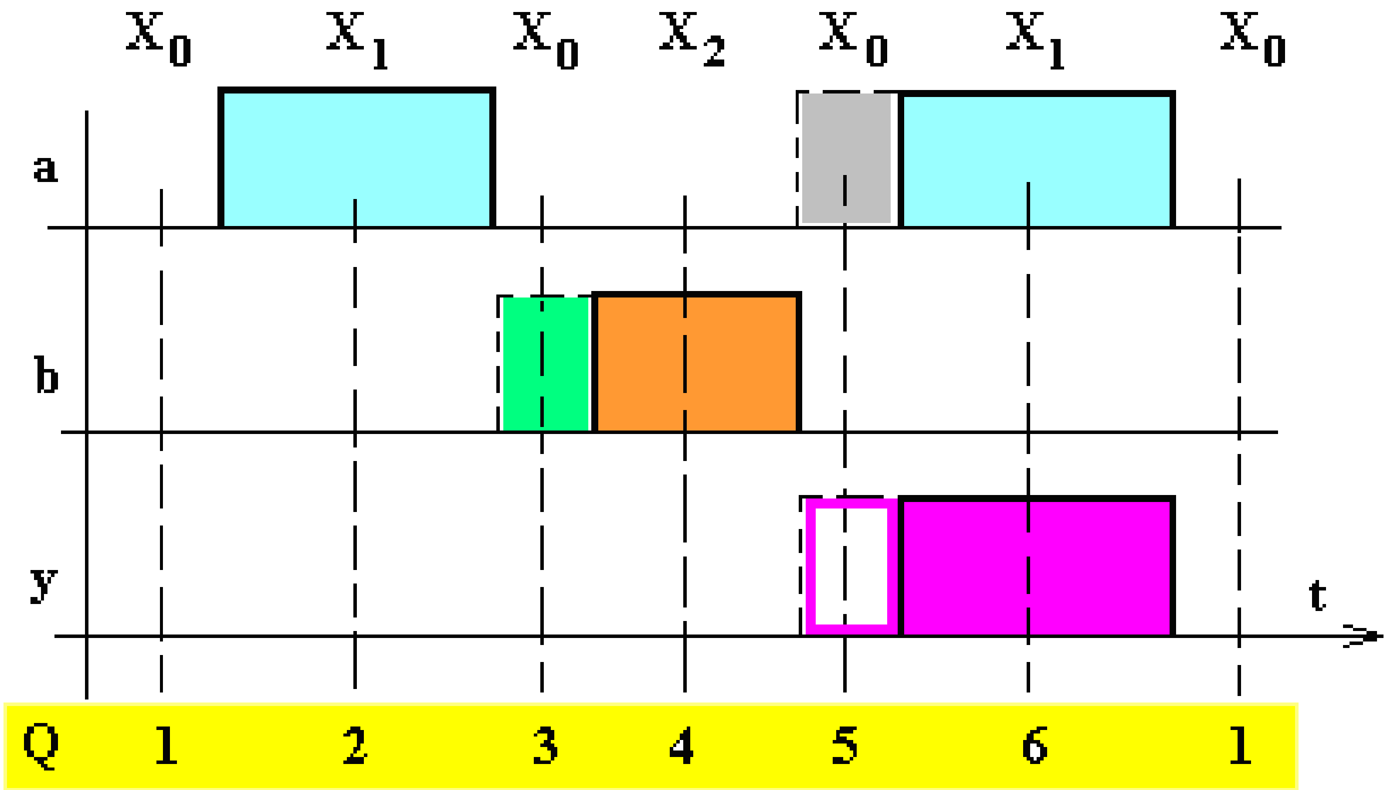
6. Dále ze zakódované tabulky výstupů se naleznou minimalizované booleovské výrazy pro jednotlivé výstupní proměnné (z nich se pak realizuje kombinační logický obvod 2 – KLO 2).
7. Pak již můžeme nakreslit schéma zapojení a provede se výpočet parametrů synchronizačního (hodinového) signálu.
8. Na závěr se musí provést verifikace návrhu simulací – jsou k dispozici různé simulační programy, jako např. OrCAD)

V další části si ukážeme alespoň jednoduché postupy sestrojení tabulky přechodů a tabulky výstupů.

3. Sekvenční systém – sestrojení tabulek

a) Sestrojení tabulky přechodů z časového diagramu

Nechť je dá časový digram vstupních signálů a požadované odezvy na výstupní proměnné



3. Sekvenční systém – sestrojení tabulky

Každé kombinaci stavů na vstupních proměnných odpovídá určitý vstupní symbol X_i a tomu pak je přiřazen vnitřní stav Q = {1, 2, 3, 4, 5, 6}. Po stavu 6 by cyklicky následoval stav 1 atd.

X	*a*	*b*
X_0	0	0
X_1	1	0
X_2	0	1
X_3	1	1

Y	y
Y_0	0
Y_1	1

A	q_1	q_2	q_3
Q_1	0	0	0
Q_2	1	0	0
Q_3	0	1	0
Q_4	1	1	0
Q_5	0	0	1
Q_6	1	0	1
--	0	1	1
--	1	1	1

X3 — nepřístupný vstupní stav
Automat budeme řešit jako Mooreův

3. Sekvenční systém – sestrojení tabulky

Zakódované vnitřní stavy – 6 stavů. Dva kódy jsou nevyužité.
Navrhneme nejprve stabilní vnitřní stavy pro každý přípustný vstupní symbol :

$\delta\,(1\,,\,X0\,)\;=\;1$ $\delta\,(2\,,\,X1\,)\;=\;2$ $\delta\,(3\,,\,X0\,)\;=\;3$

$\delta\,(4\,,\,X2\,)\;=\;4$ $\delta\,(5\,,\,X0\,)\;=\;5$ $\delta\,(6\,,\,X1\,)\;=\;6$

Q X	X_0	X_1	X_2	X_3	Y
1	1	2	1	?	Y_0
2		2		?	
3	3			?	
4			4	?	
5	5			?	
6		6		?	

3. Sekvenční systém – sestrojení tabulky

Dále diskutujeme přechodové funkce v ostatních situacích přicházejících vstupních stavů ve stavu 1:

Přijde-li impuls na proměnné *a*, tj. působí na vstupu písmeno X1, bude přechodová funkce δ (X1, 1) = 2. Tedy automat přejde do stavu 2. Kdyby přišel ale nejdříve impuls na vstupní proměnné *b* můžeme automat ponechat v počátečním stavu 1. Kdyby přišly impulsy na obou proměnných současně, tedy přišel by nepřípustný symbol X3, mohl by opět automat zůstat v počátečním stavu 1 a čekat na příchod správného impulsu.
Z časového diagramu můžeme také stanovit výstupní stav Mooreova automatu, tedy λ(Q0) = Y0 .

Nyní dořešíme další řádky tabulky přechodů, tedy pro současné stavy 2, 3, 4, 5 a 6.

3. Sekvenční systém – sestrojení tabulky Mooreova automatu

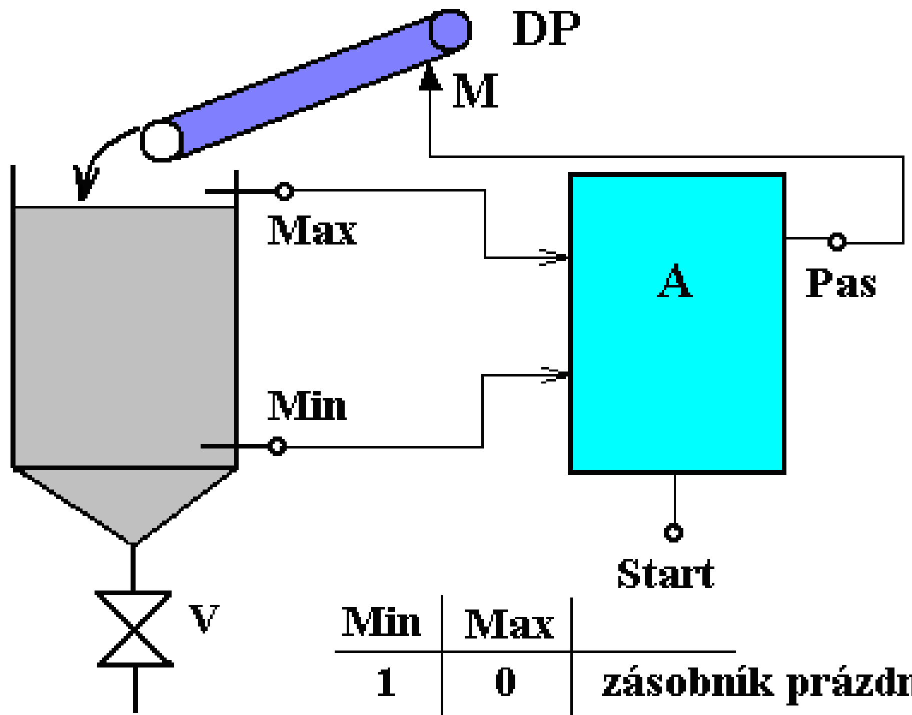
Q / X	X_0	X_1	X_2	X_3	Y	K
1	1	2	1	? 1	Y_0	K_0
2	3	2	- (4)	(7)	Y_0	K_0
3	3	- (2)	4	(7)	Y_0	K_0
4	5	- (6)	4	(7)	Y_0	K_0
5	5	6	- (4)	(7)	Y_0	K_0
6	1	6	- (1)	(7)	Y_1	K_0
(7)	1	(7)	(7)	(7)	Y_0	K_1

δ | λ

3. Sekvenční systém – tabulka z vývojového diagramu

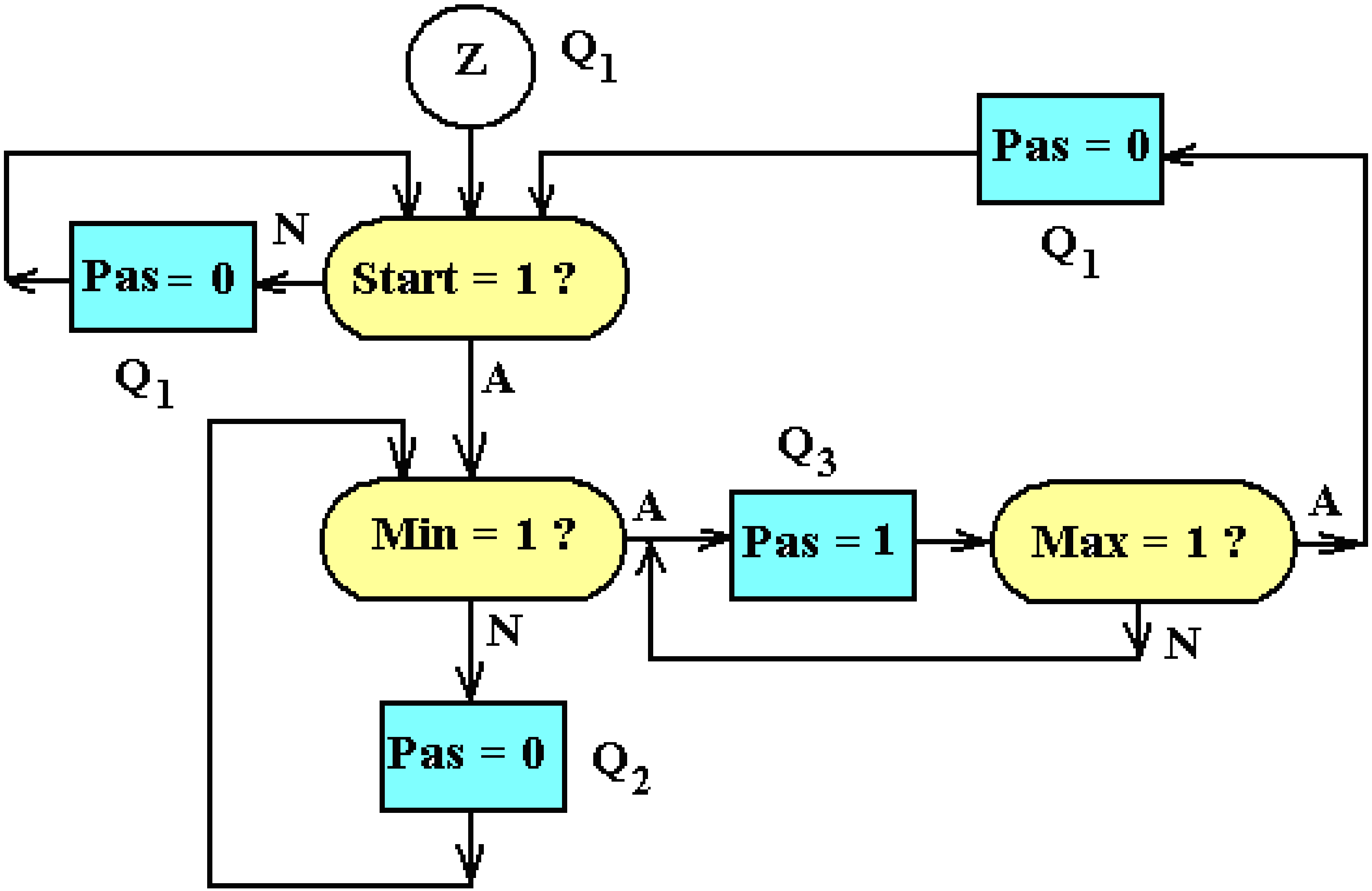
b) Sestrojení tabulky přechodů, resp.grafu přechodů z vývojového diagramu

Úloha: Je třeba dosypávat zásobník sypkým materiálem



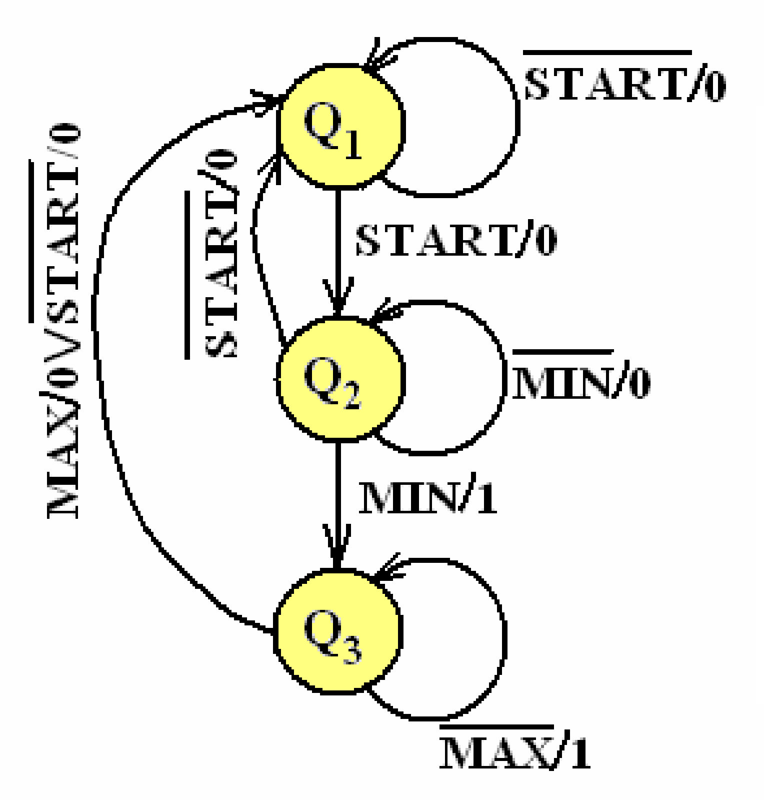
Min	Max	
1	0	zásobník prázdný
0	0	- " - poloplný
0	1	- " - plný
1	1	zakázaný stav

3. Sekvenční systém – tabulka z vývojového diagramu



3. Sekvenční systém – tabulka z vývojov. diagr.

Automat bude mít 3 vnitřní stavy, jak je to naznačeno ve vývojovém diagramu. Na základě tohoto přiřazení jsme sestavili graf přechodů a poté tabulku přechodů.



	START=0	START = 1			
A	MIN, MAX x x	0 0	1 0	1 1	0 1
Q_1	$Q_1/0$	$Q_2/0$	$Q_2/0$	—	$Q_2/0$
Q_2	$Q_1/0$	$Q_2/0$	$Q_3/1$	—	$Q_2/0$
Q_3	$Q_1/0$	$Q_3/1$	$Q_3/1$	—	$Q_1/0$

3. Sekvenční systém – sestrojení grafu přechodů

Příklad sestavení grafu přechodů detektoru znaků

Pro daný detektor znaků je výhodnější sestrojovat graf přechodů. Měli bychom nevrhnout tedy graf přechodů automatu, který bude detekovat např. přicházející lichá čísla *x* v rozmezí $2 < x < 14$ v přímém binárním kódu sériově na vstup *a* Mealyho automatu. Přijde-li tedy na vstup sériově číslo 3 (nebo 5, 7, 9, 11, 13) bude s příchozím 4.bitem na výstupu *y* generována jedničková hodnota. V ostatních případech bude na výstupu *y* nula. Čísla vstupují do automatu počínaje bitem s nejnižší váhou (nultým bitem).

Přicházející čísla :

3	-	0011
5	-	0101
7	-	0111
9	-	1001
11	-	1011
13	-	1101

3. Sekvenční systém – sestrojení grafu přechodů

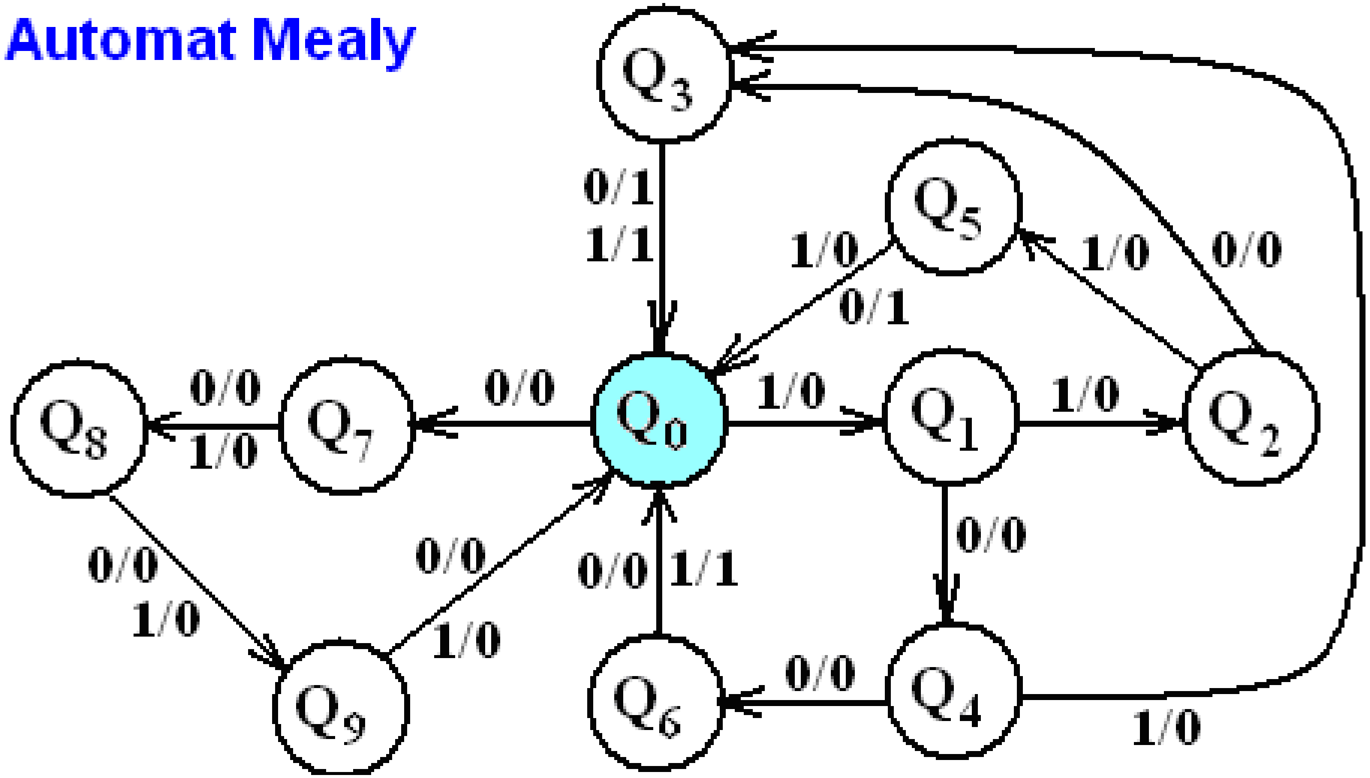
Sestavovaný graf přechodů Mealyho automatu :

Počáteční vnitřní stav bude Q0 a bude např. při číslici 3 přicházet nultý bit, tj. a = 1 a na výstupu *y* bude 0 a automat přejde do stavu Q1. S příchozím dalším 2. bitem, který je rovněž 1, přejde automat do stavu Q2 a *y* =0. S třetím bitem *a* = 0 přejde automat do stavu Q3 a výstup je stále *y* = 0. Teprve se 4. bitem *a* = 0 bude na výstupu generována hodnota *y* = 1 a automat přechází do počátečního stavu Q0. Nyní může přicházet další číslice.

Toto je potřeba udělat pro všechny indikované číslice a i pro takové, tj. sudé i další do možného zápisu 16 binárních čísel.

3. Sekvenční systém – sestrojení grafu přechodů

Automat Mealy



Z tohoto grafu přechodů je možno získat potřebnou tabulku přechodů, která je nutná pro návrh struktury automatu.

3. Sekvenční systém – funkce přechodů KO

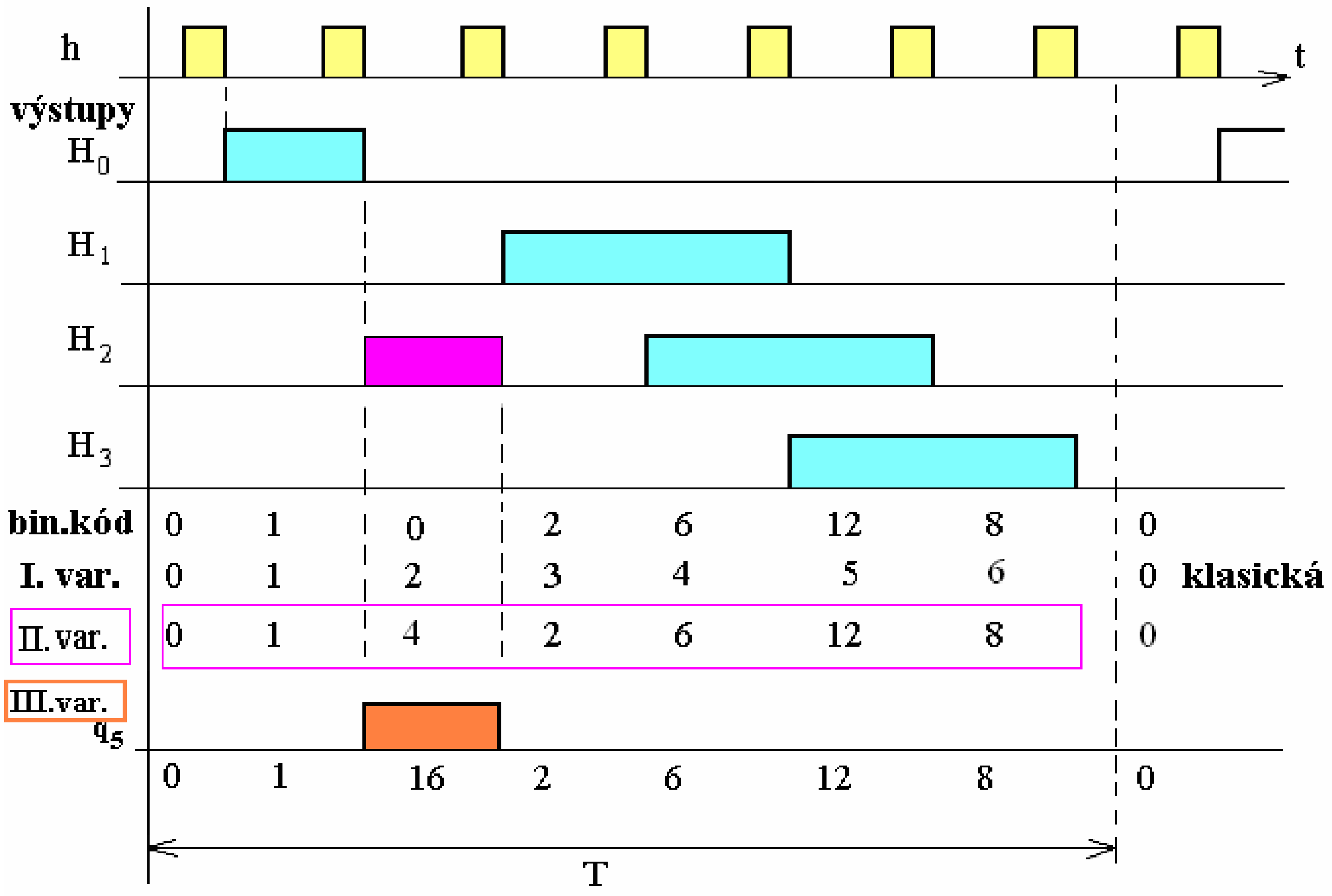
Tabulky přechodů klopných obvodů :

Požadovaný přechod	RS R	RS S	JK J	JK K	D	T	Zjednodušená symbolika
0 → 0	0	--	0	--	0	0	0
0 → 1	1	0	1	--	1	1	1 (silná)
1 → 0	0	1	--	1	0	1	0 (silná)
1 → 1	--	0	--	0	1	0	1

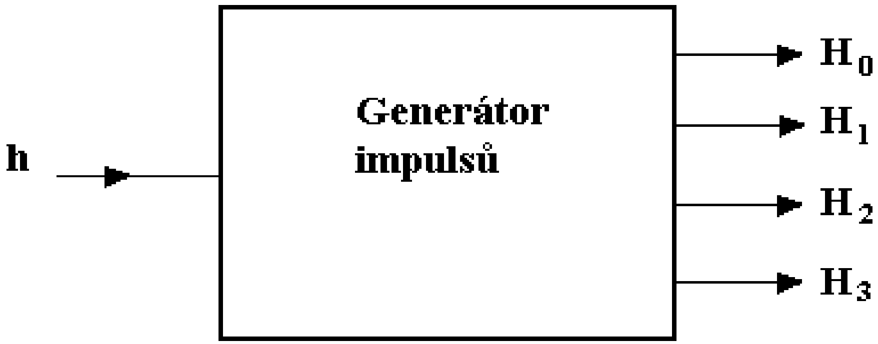
Typ KO	Musí pokrýt	Může pokrýt	Nesmí pokrýt
D	všechny 1, 1	--	žádné 0, 0
T	Všechny 0, 1	--	žádné 0, 1
RS	S: všechny 1 R: všechny 0	1 0	žádné 0, 0 žádné 1, 1
JK	J: všechny 1 K: všechny 0	1, 0 0, 1	0 1

3. Sekvenční systém – Příklad návrhu

Návrh synchronního sekvenčního systému zadaného časovými průběhy signálů (generátor impulsů).



3. Příklad návrhu synchronního obvodu



I. Varianta řešení -- tabulka přechodů, zakódovaná tabulka přechodů

Volba kódu - mapa přiřazení

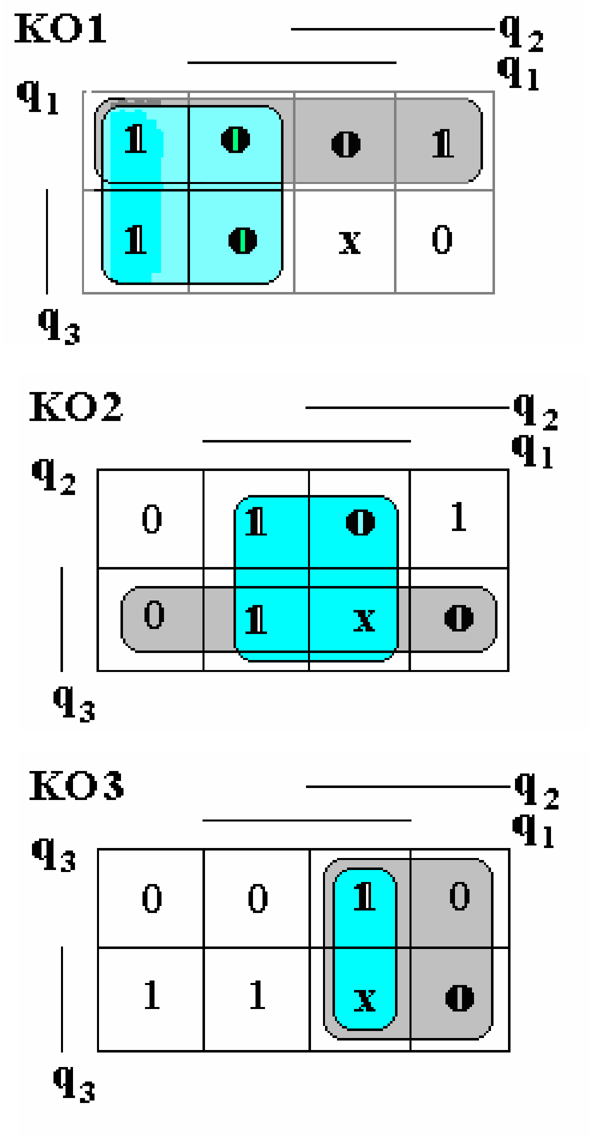
			q_1	q_2
	0	1	3	2
q_3	4	5	x	6

Q_t	Q_{t+1}	Výstupy H_3	H_2	H_1	H_0
0	1	0	0	0	0
1	2	0	0	0	1
2	3	0	0	0	0
3	4	0	0	1	0
4	5	0	1	1	0
5	6	1	1	0	0
6	0	1	0	0	0

3. Příklad návrhu synchr. systému

Zakódovaná tabulka přechodů a mapy řídících, resp budících funkcí KO – JK MS

	q3 q2 q1	q3 q2 q1	H3 H2 H1H0
0	0 0 0	0 0 1	0 0 0 0
1	0 0 1	0 1 0	0 0 0 1
2	0 1 0	0 1 1	0 0 0 0
3	0 1 1	1 0 0	0 0 1 0
4	1 0 0	1 0 1	0 1 1 0
5	1 0 1	1 1 0	1 1 0 0
6	1 1 0	0 0 0	1 0 0 0



3. Příklad návrhu synchr. systému

Minimalizované funkce vstupů J, K

$$J_1 = \overline{q}_3 + \overline{q}_2 \qquad K_1 = 1$$

$$J_2 = q_1 \qquad K_2 = q_1 + q_3$$

$$J_3 = q_1\, q_2 \qquad K_3 = q_2$$

Mapy výstupních funkcí a minimalizované výstupní funkce :

H_0				
	0	1	0	0
q_3	0	0	x	0

H_1				
	0	0	1	0
q_3	1	0	x	0

H_2				
	0	0	0	0
q_3	1	1	x	0

H_3				
	0	0	0	0
q_3	0	1	x	1

$$H_0 = q_1\, \overline{q}_2\, \overline{q}_3$$

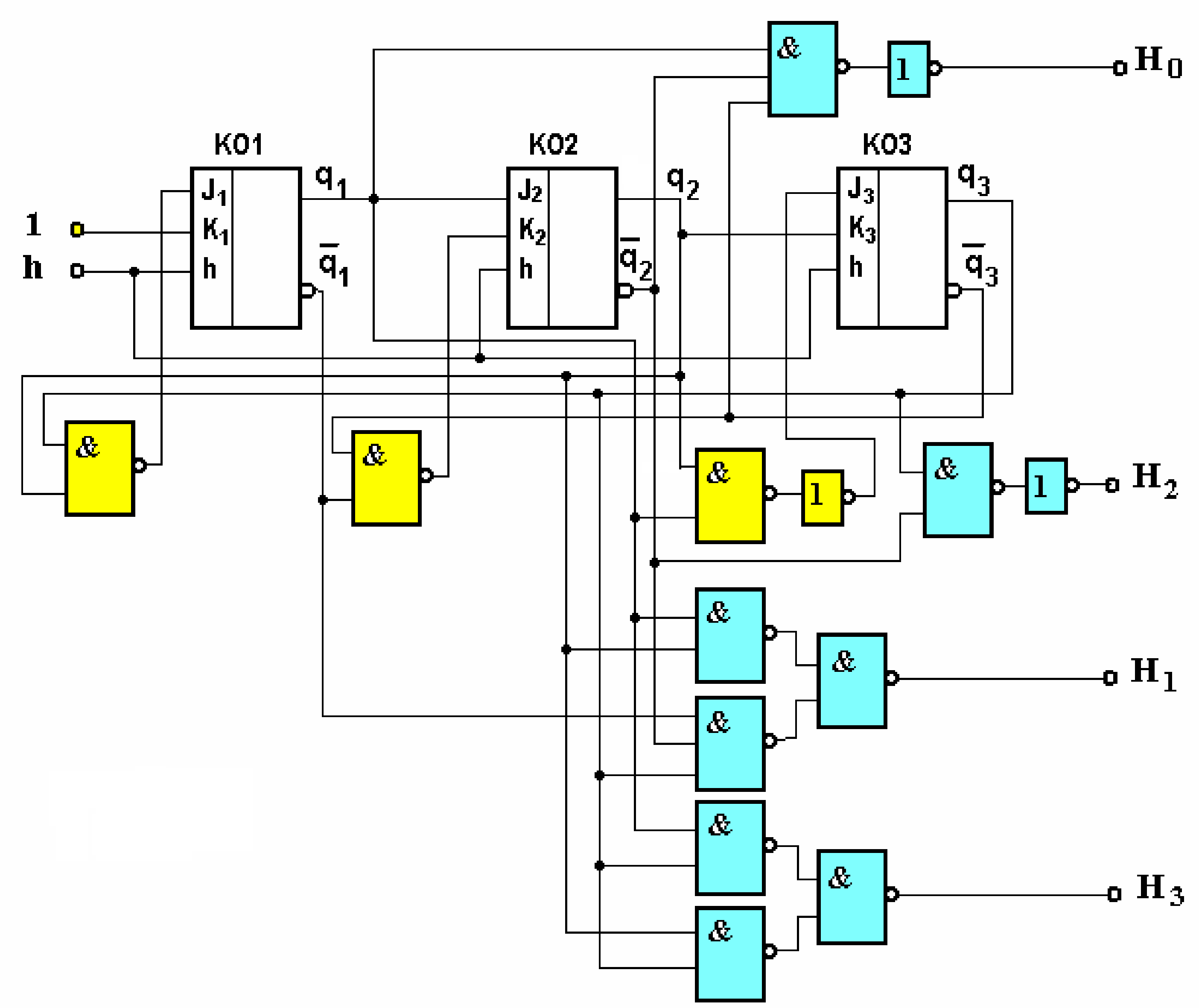
$$H_1 = q_1 q_2 + \overline{q}_1\, \overline{q}_2\, q_3$$

$$H_2 = \overline{q}_2\, q_3$$

$$H3 = q1\, q3 + q2\, q3$$

3. Příklad návrhu synchronního obvodu

Výsledné schéma zapojení I.varianty:



3. Příklad návrhu synchronního obvodu

Řešení II. Varianty – se 4 KO

	q4 q3 q2 q1	q4 q3 q2 q1	H3 H2 H1H0
0	0 0 0 0	0 0 0 1	0 0 0 0
1	0 0 0 1	0 1 0 0	0 0 0 1
4	0 1 0 0	0 0 1 0	0 0 0 0
2	0 0 1 0	0 1 1 0	0 0 1 0
6	0 1 1 0	1 1 0 0	0 1 1 0
12	1 1 0 0	1 0 0 0	1 1 0 0
8	1 0 0 0	0 0 0 0	1 0 0 0

V této variantě budou výstupní funkce následující:
H0 = q1 H1 = q2 H3 = q4 a musí se řešit jen H2 mapou

3. Příklad návrhu synchronního obvodu

Mapy budících funkcí 4 KO – II.var.

KO1 — q_1, q_2; q_1; q_4 q_3

1	0	x	0
0	x	x	0
0	x	x	x
0	x	x	x

KO2 — q_1, q_2; q_2; q_4 q_3

0	0	x	1
1	x	x	0
0	x	x	x
0	x	x	x

KO3 — q_1, q_2; q_3; q_4 q_3

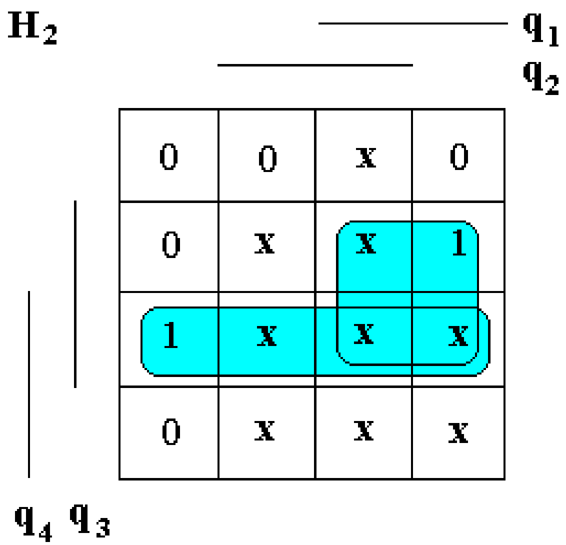
0	1	x	1
0	x	x	1
0	x	x	x
0	x	x	x

KO4 — q_1, q_2; q_4; q_4 q_3

0	0	x	0
0	x	x	1
1	x	x	x
0	x	x	x

3. Příklad návrhu synchronního obvodu

Výstupní funkce H2 a budící funkce



$$J_1 = \overline{q}_1 . \overline{q}_3 . \overline{q}_4 \qquad K_1 = 1$$

$$J_2 = q_3 . \overline{q}_4 \qquad K_2 = q_3$$

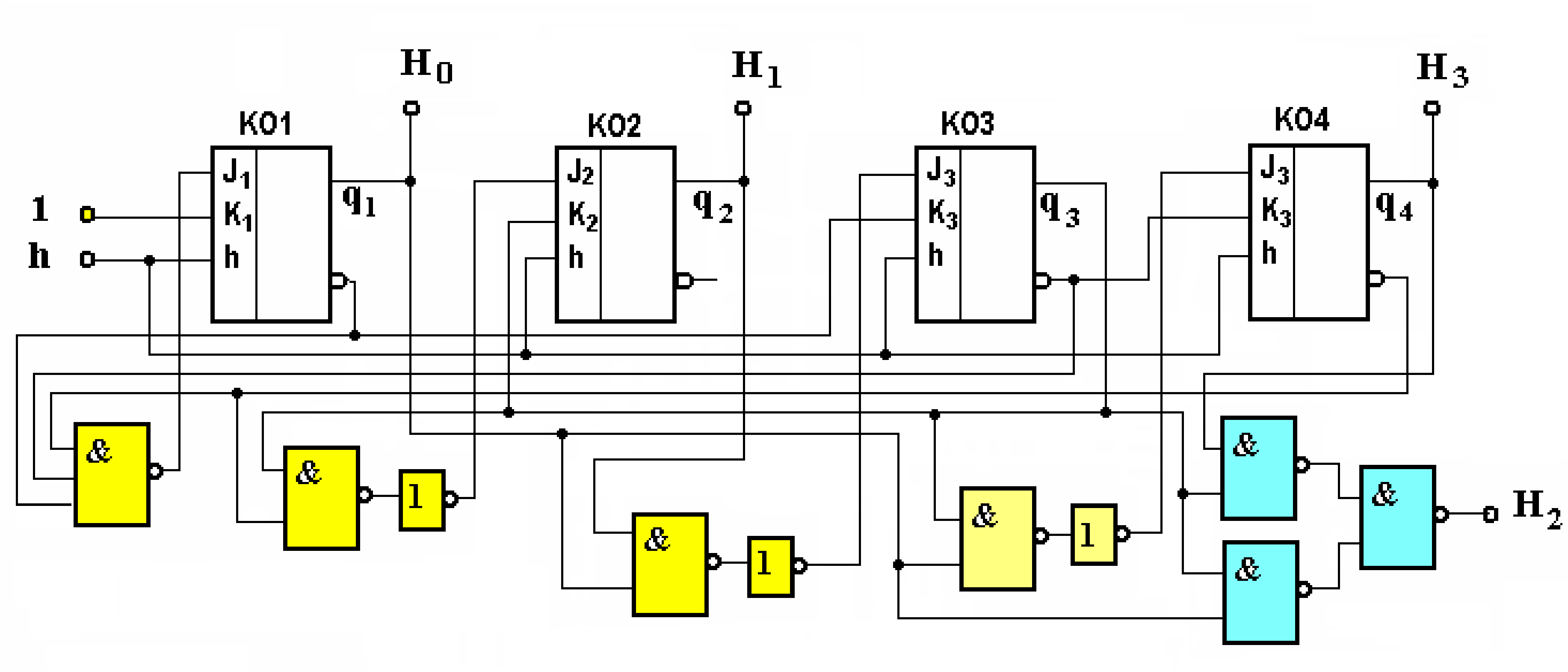
$$J_3 = q_1 + q_2 \qquad K_3 = \overline{q}_1$$

$$J_4 = q_1 . q_3 \qquad K_4 = \overline{q}_3$$

$$H_0 = q_1 \qquad H_1 = q_2 \qquad H_2 = q_1 . q_3 + q_3 . q_4 \qquad H_3 = q_4$$

3. Příklad návrhu synchronního obvodu

Schéma zapojení II. varianty



3. Příklad návrhu synchronního obvodu

III. Varianta - tabulka přechodů a zakódování vnitřních stavů

Q_t	Q_{t+1}	H_3 H_2 H_1 H_0
0	1	0 0 0 0
1	16	0 0 0 1
16	2	0 0 0 0
2	6	0 0 1 0
6	12	0 1 1 0
12	8	1 1 0 0
8	0	1 0 0 0

q_1

q_2

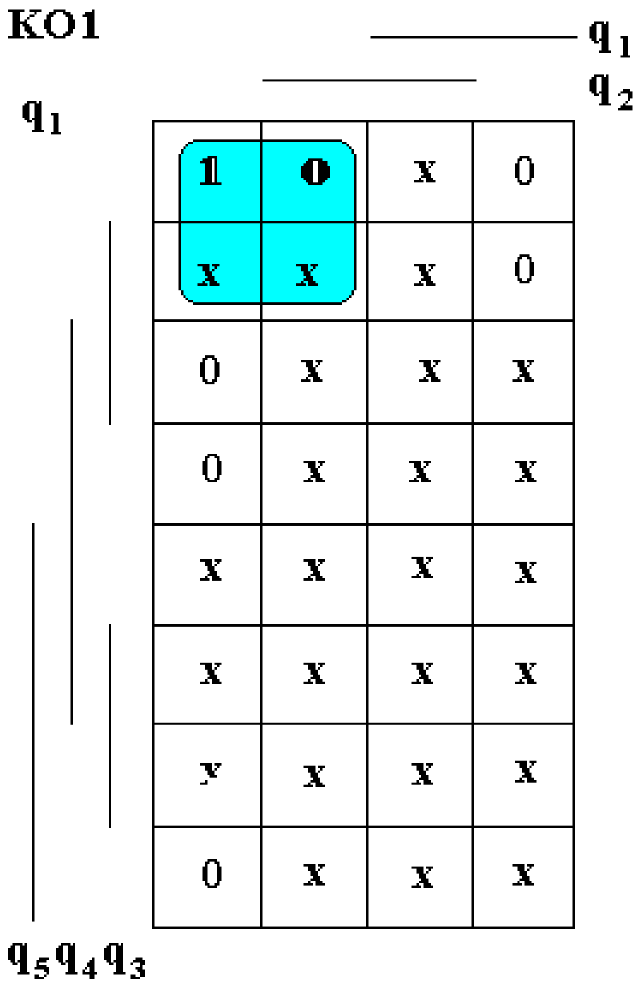
0	1	x	2
x	x	x	6
12	x	x	x
8	x	x	x
x	x	x	x
x	x	x	x
x	x	x	x
16	x	x	x

$q_5 q_4 q_3$

3. Příklad návrhu synchronního obvodu

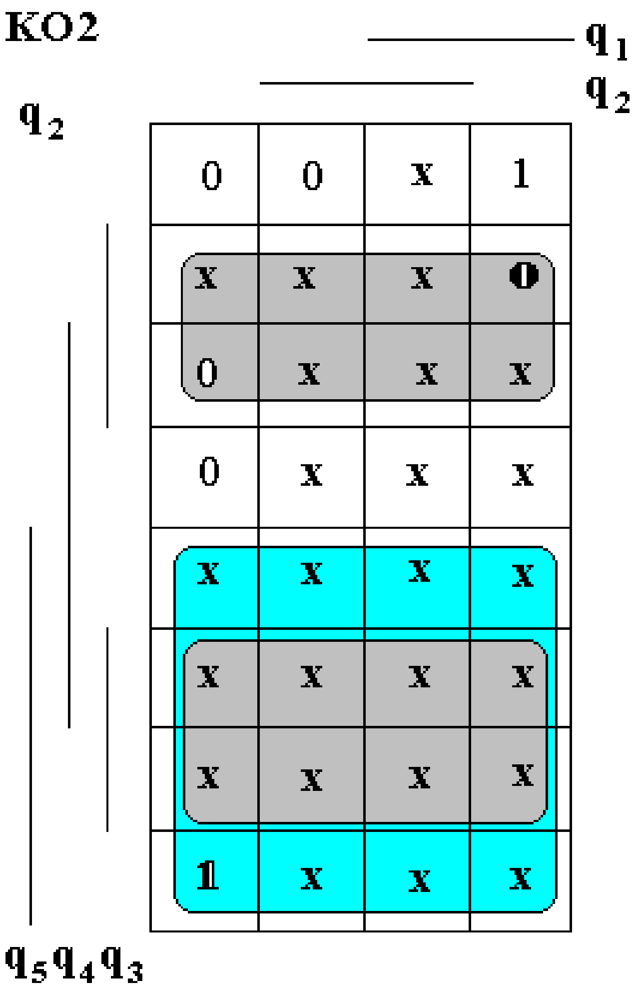
III. varianta – zakódovaná tabulka přechodů

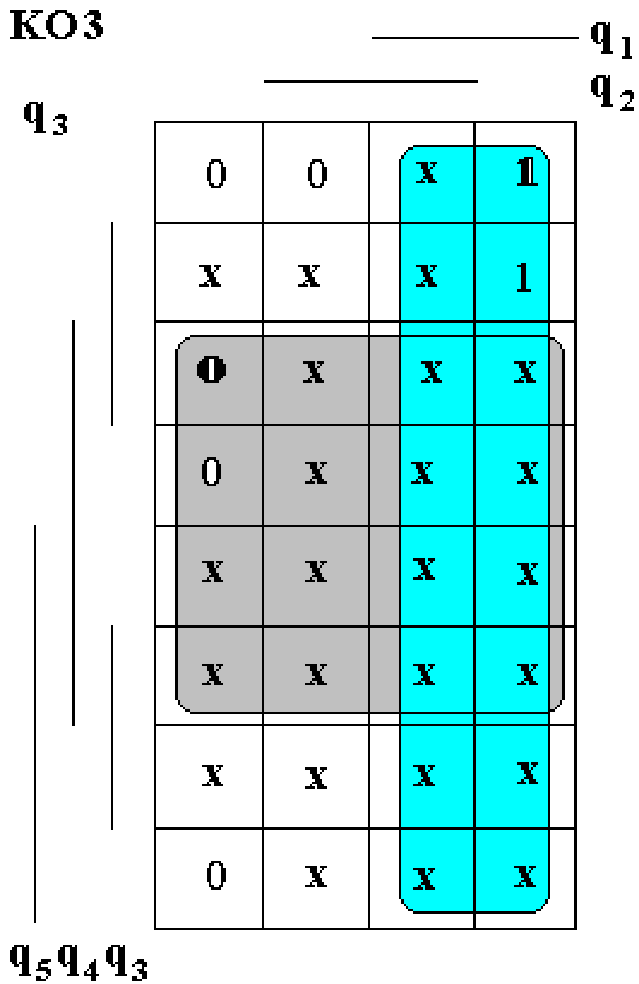
$q_5q_4q_3q_2q_1$	$q_5q_4q_3q_2q_1$	$H_0\,H_1\,H_2\,H_3$
0 0 0 0 0	0 0 0 0 1	0 0 0 0
0 0 0 0 1	1 0 0 0 0	1 0 0 0
1 0 0 0 0	0 0 0 1 0	0 0 0 0
0 0 0 1 0	0 0 1 1 0	0 1 0 0
0 0 1 1 0	0 1 1 0 0	0 1 1 0
0 1 1 0 0	0 1 0 0 0	0 0 1 1
0 1 0 0 0	0 0 0 0 0	0 0 0 1



3. Příklad návrhu synchronního obvodu

Mapy budících funkcí – III. varianta





3. Příklad návrhu synchronního obvodu

Budící funkce – III. varianta

KO4

q_1 q_2 q_4 $q_5q_4q_3$

0	0	x	0
x	x	x	1
1	x	x	x
0	x	x	x
x	x	x	x
x	x	x	x
x	x	x	x
0	x	x	x

KO5

q_1 q_2 q_5 $q_5q_4q_3$

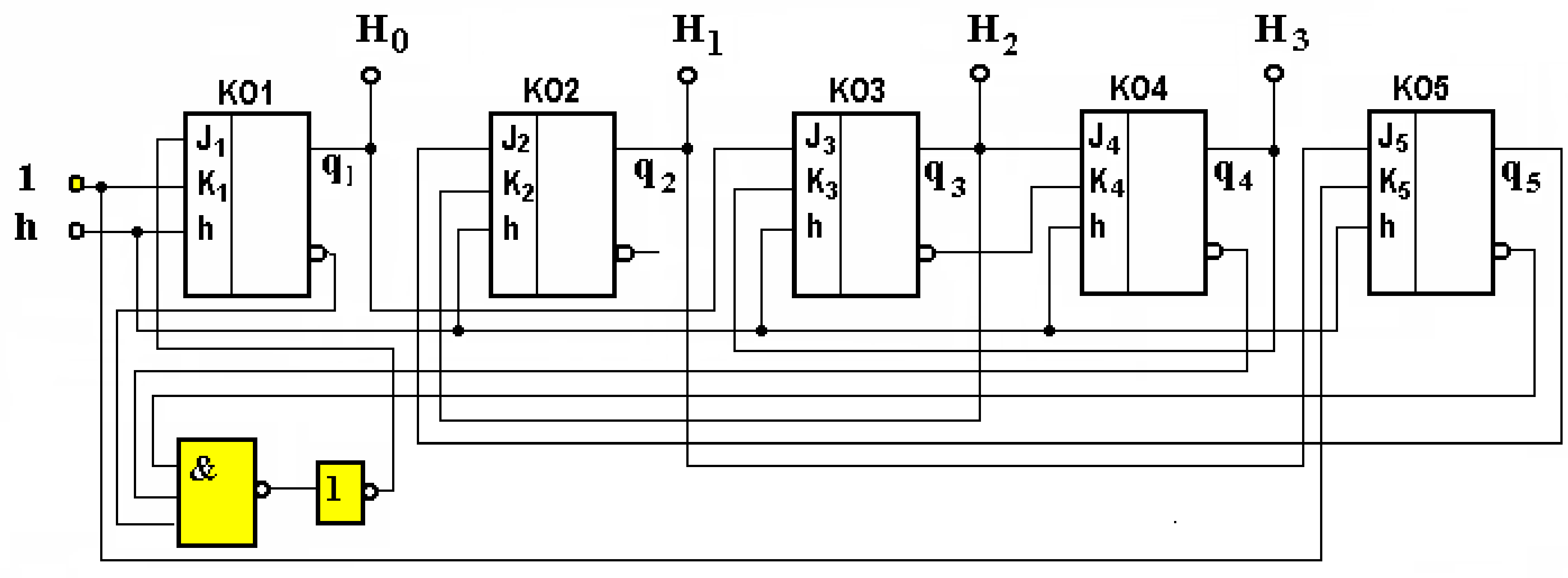
0	1	x	0
x	x	x	0
0	x	x	x
0	x	x	x
x	x	x	x
x	x	x	x
x	x	x	x
0	x	x	x

3. Příklad návrhu synchronního obvodu

Schéma zapojení – III. Varianta

$J_1 = \bar{q}_1 . \bar{q}_4 . \bar{q}_5$ $\quad J_2 = q_5$ $\quad J_3 = q_1$ $\quad J_4 = q_3$ $\quad J_5 = q_2$

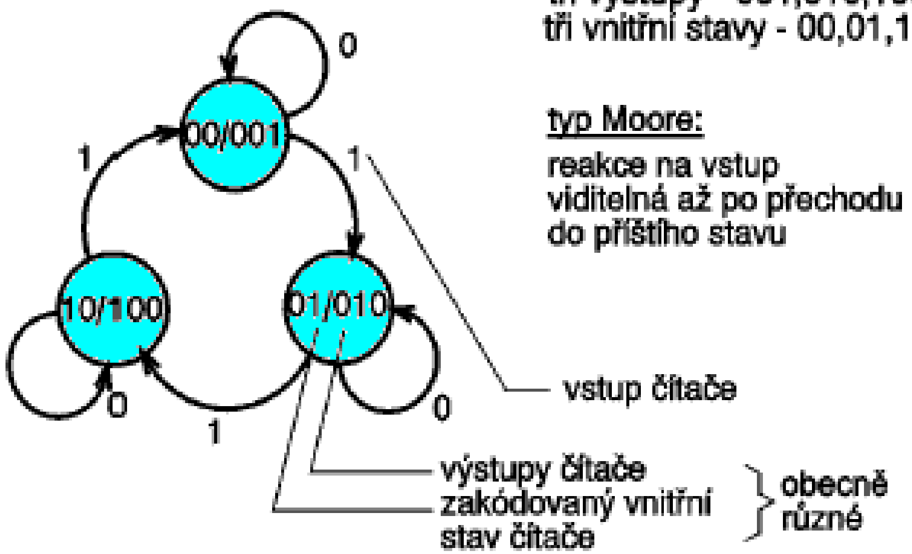
$K_1 = 1$ $\quad K_2 = q_3$ $\quad K_3 = q_4$ $\quad K_4 = \bar{q}_3$ $\quad K_5 = 1$



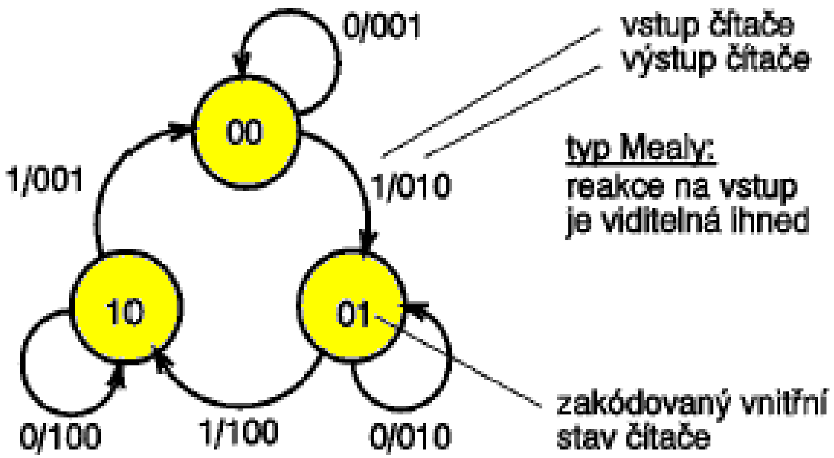
3. Příklad čítače modulo 3

Čítač modulo 3 :

tři výstupy - 001,010,100 ⇒ tři výstupní proměnné
tři vnitřní stavy - 00,01,10 ⇒ dva klopné obvody



typ Moore:
reakce na vstup
viditelná až po přechodu
do příštího stavu



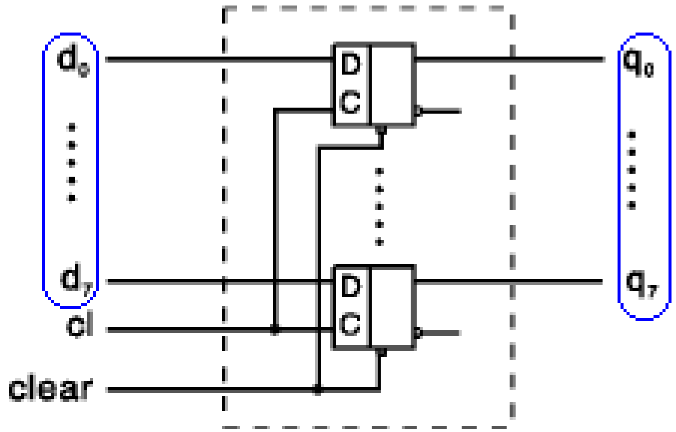
typ Mealy:
reakce na vstup
je viditelná ihned

Poznámka:

Výstup obou čítačů je v kódu 1 ze 3.
Obvykle však bývá kódován dvojkově (00,01,10).
Pak lze v našem případě u typu Moore ztotožnit
vnitřní a výstupní proměnné.

3. Příklad registrů

a) paralelní registry (dočasná paměť)



b) seriové registry (převodníky)

-serioparalelní: seriový vstup
paralelní výstup
-paralelněseriové: paralelní vstup
seriový výstup