



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta mechatroniky, informatiky
a mezioborových studií



Sekvenční logické systémy a automaty

Prof. Ing. Ondřej Novák, CSc.
ITE



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

Projekt ESF CZ.1.07/2.2.00/28.0050
**Modernizace didaktických metod
a inovace výuky technických předmětů.**

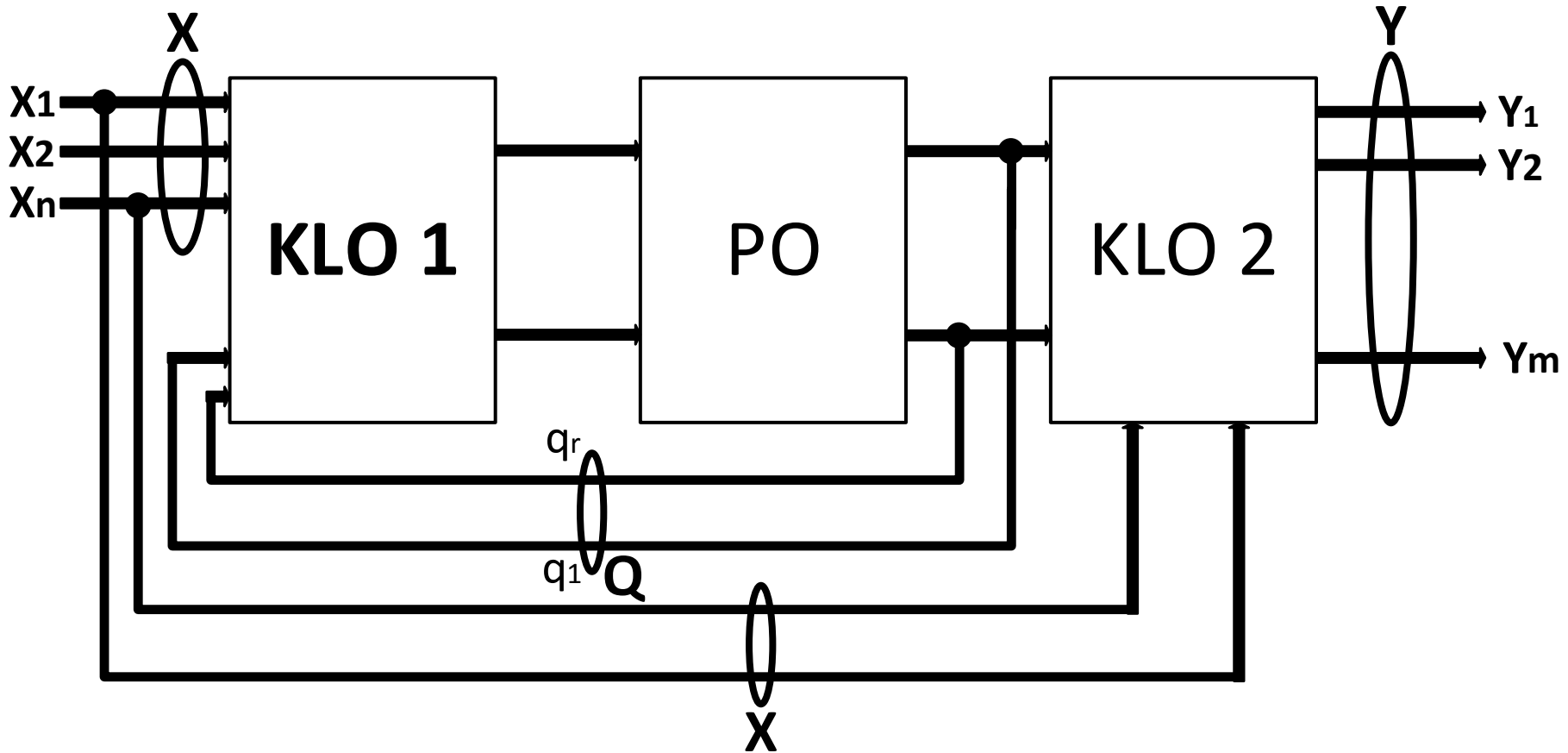
INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Obsah přednášky

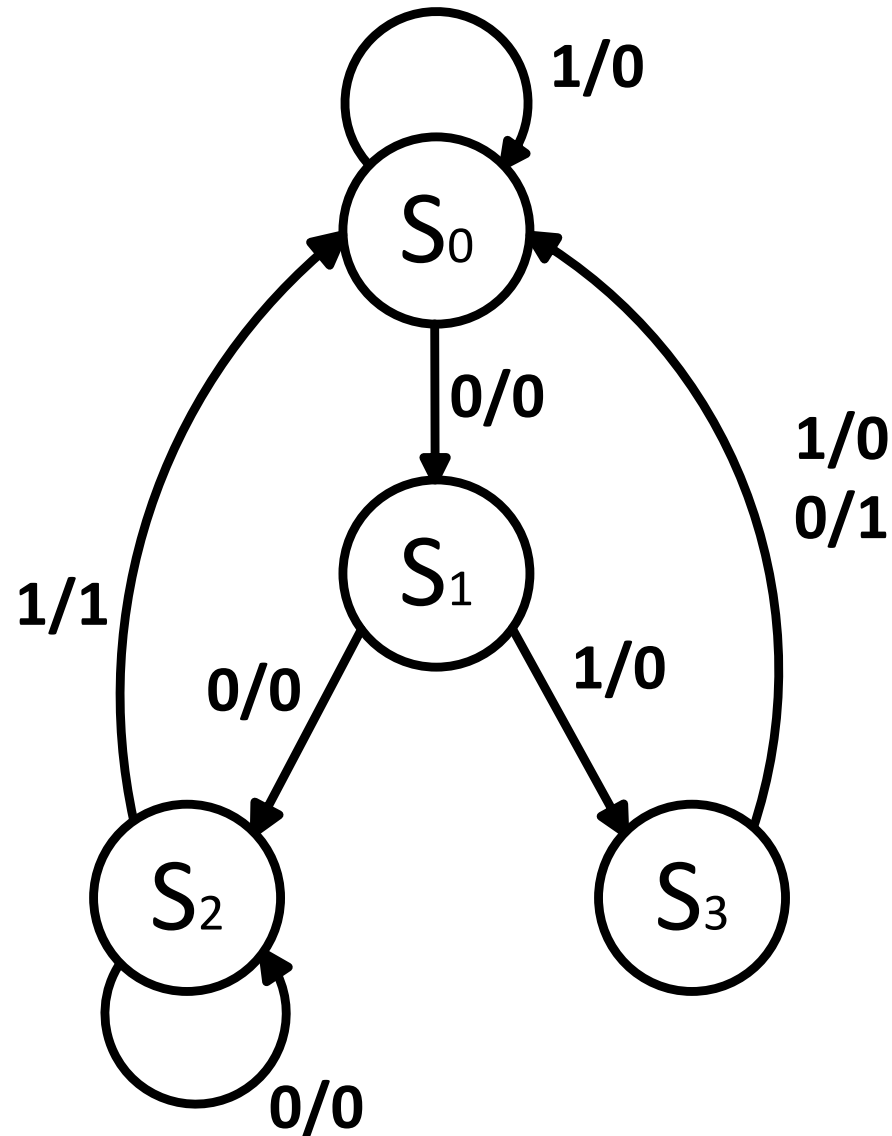
- **Popis logického systému (automatu)**
- **Typy automatů**
- **Návrh stavového automatu**
- **Převody mezi různými typy automatů**

	Typ automatu	Určení automatu	Poznámka
1	Automat kombinačního typu – kombinační logický systém	$A = \langle X, Y, \delta = F \rangle$	Automat má jeden konstantní stav (vnitřní).
2	Medvědův “konečný” automat – automat bez výstupního zařízení	$A = \langle X, Q, \delta \rangle$ $Q^t = \delta(X^t, Q^{t-1})$	Výstupní chování automatu nelze pozorovat.
3	Mooreův automat	$A = \langle X, Y, Q, \delta, \lambda_0 \rangle$ $Q^t = \delta(X^t, Q^{t-1})$ $Y^t = \lambda_0(Q^t)$	Výstupní stav je závislý na vnitřním stavu automatu. Převoditelný na Mealyho.
4	Autonomní automat	$A = \langle Y, Q, \delta, \lambda \rangle$ $Q^t = \delta_0(Q^{t-1})$ $Y^t = \lambda_0(Q^t)$	Konstantní chování z hlediska “vstupů”.
5	Mealyho automat	$A = \langle X, Y, Q, \delta, \lambda \rangle$ $Q^t = \delta(X^t, Q^{t-1})$ $Y^t = \lambda(X^t, Q^{t-1})$	Nejobecnější automat, výstupní stav je závislý na vnitřním stavu a na vstupu, převoditelný na Moora.
6	Stochastický, pravděpodobnostní automat	$A = \langle X, Y, Q, \delta, \lambda \rangle$ $\delta: P_\delta\{Q_j/Q_i, X_1\}$ $\lambda: P_\lambda\{Y_m/Q_i, X_1\}$	Přechodové a výstupní funkce jsou pravděpodobnostmi P_δ a P_λ . Realizace je deterministická.

Obečné schéma automatu



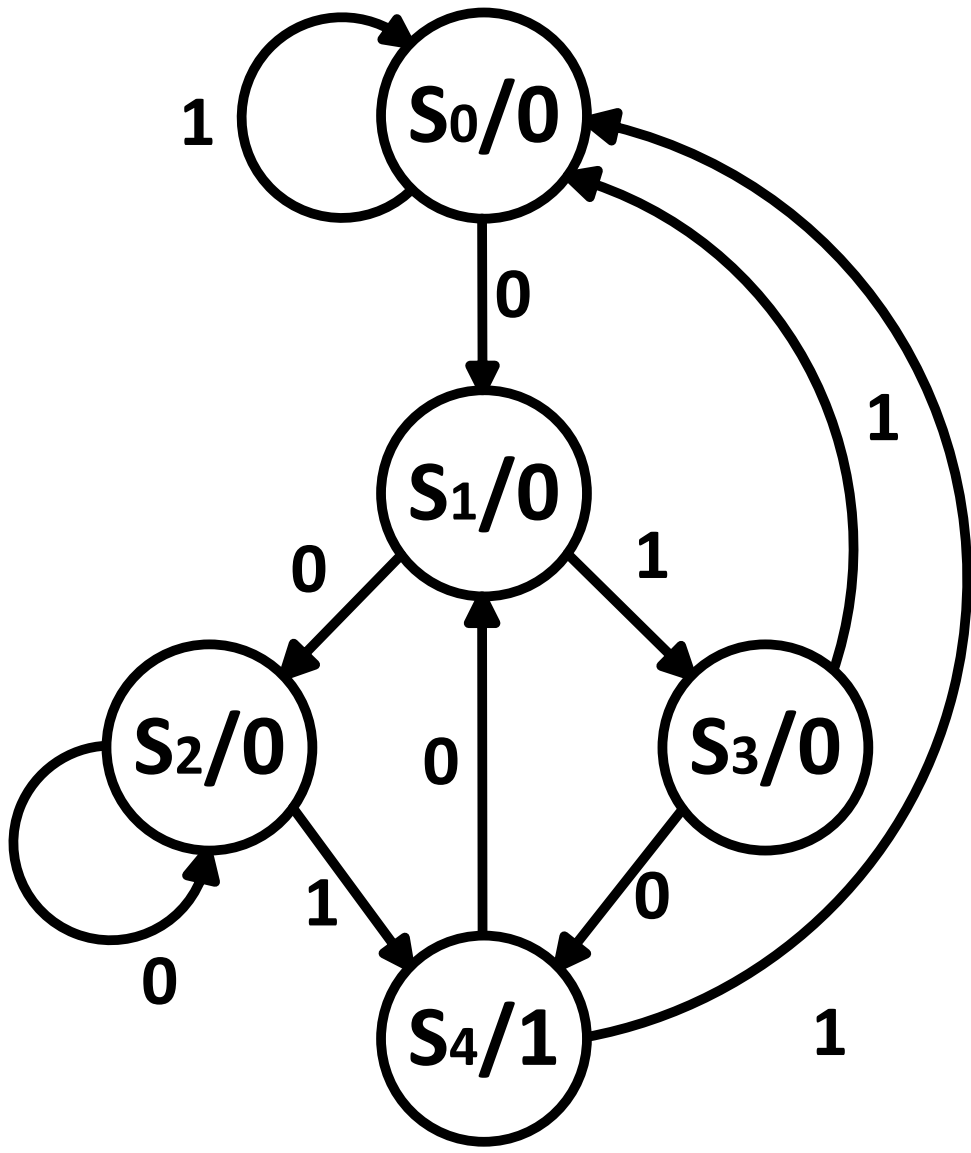
Graf přechodů Mealyho automatu



Tabulka přechodů a výstupů Mealyho automatu

stav Q_t	vstup N	budoucí stav Q_{t+1}	výstup Z
S0	0	S1	0
	1	S0	0
S1	0	S2	0
	1	S3	0
S2	0	S2	0
	1	S0	1
S3	0	S0	0
	1	S0	1

Graf přechodů Mooreova automatu



Tabulka přechodů a výstupů Moorova automatu

	1	0	Z
S₀	S ₀	S ₁	0
S₁	S ₃	S ₂	0
S₂	S ₄	S ₂	0
S₃	S ₀	S ₄	0
S₄	S ₀	S ₁	1

Z: hodnota výstupu

Tabulka přechodů a výstupů automatu typu Moore

Přeměna automatu Moore - Mealy

- **Moore:** $A = \langle X, Y, Q, \delta, \lambda \rangle$
 - Výstup je závislý pouze na vnitřním stavu automatu

Mealy: $A = \langle X, Y, Q, \delta, \lambda' \rangle$

- Výstup je závislý na vnitřním stavu a vstupu automatu

$$\lambda'(X(t), Q(t-1)) = \lambda(\delta(X(t), Q(t-1))) = \lambda Q(t) = Y(t)$$

- Moore - časové zpoždění výstupních signálů oproti Mealyho automatu

Moore

A:

Přechody automatu		Výstup
X/Q	X1 X2	Z
Q1	Q3 Q1	Y3
Q2	Q1 Q2	Y1
Q3	Q2 Q3	Y2

Mealy

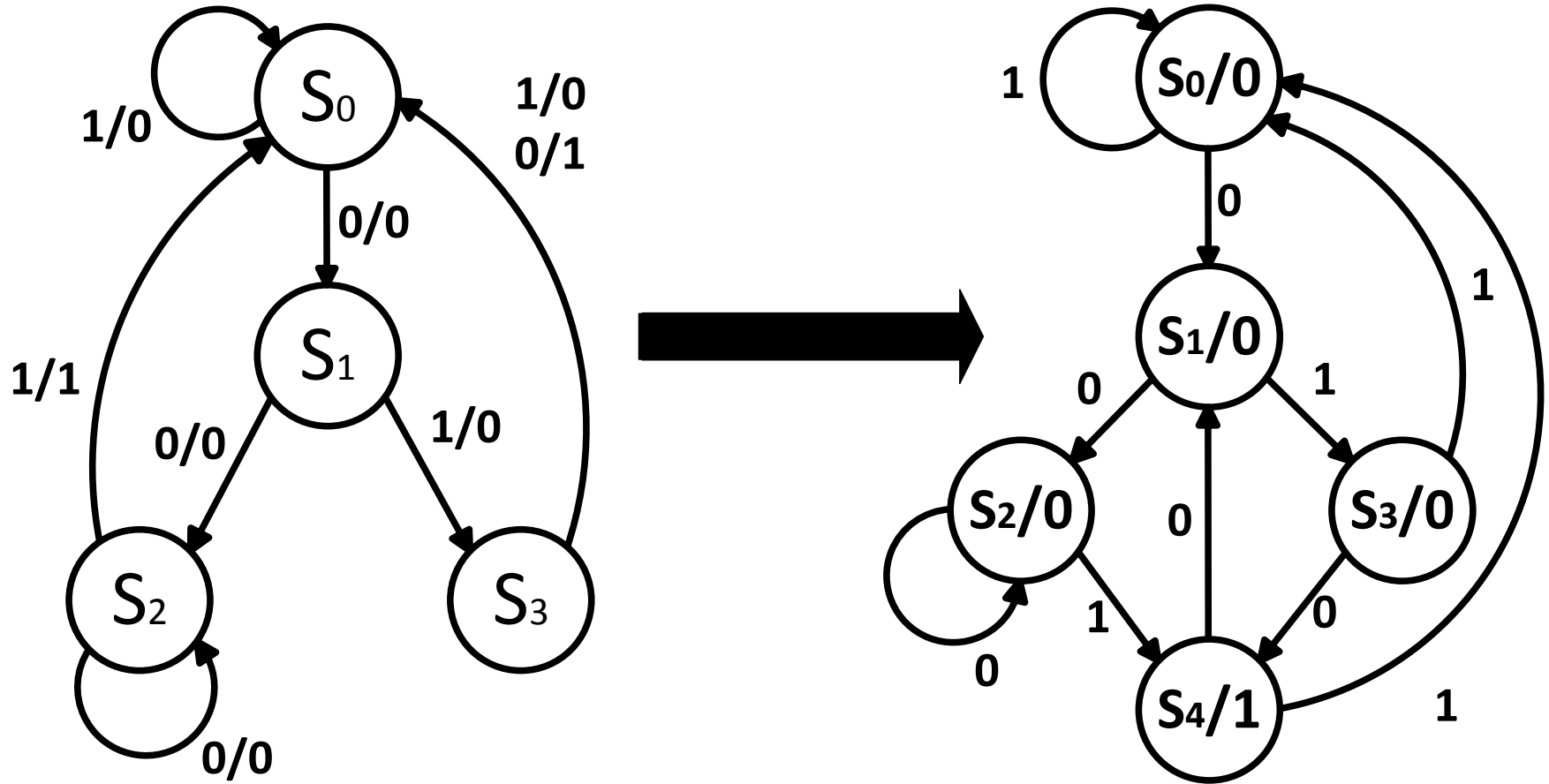
A':

Přechody automatu		Hodnota výstupu při vstupech X1 a X2	
Q/X	X1 X2	X1	X2
Q1	Q3 Q1	Y2	Y3
Q2	Q1 Q2	Y3	Y1
Q3	Q2 Q3	Y1	Y2

Přeměna automatu Mealy - Moore

- **Uzly grafu, do něhož vstupují hrany ohodnocené stejným výstupním symbolem ponecháme**
- **Každý uzel, který nemá uvedenou vlastnost nahradíme tolika uzly, kolika výstupními symboly jsou ohodnoceny hrany do něho vstupující**
- **Připojíme vstupní a výstupní hrany, uzly ohodnotíme příslušnými výstupními symboly**

Přeměna automatu Mealy - Moore



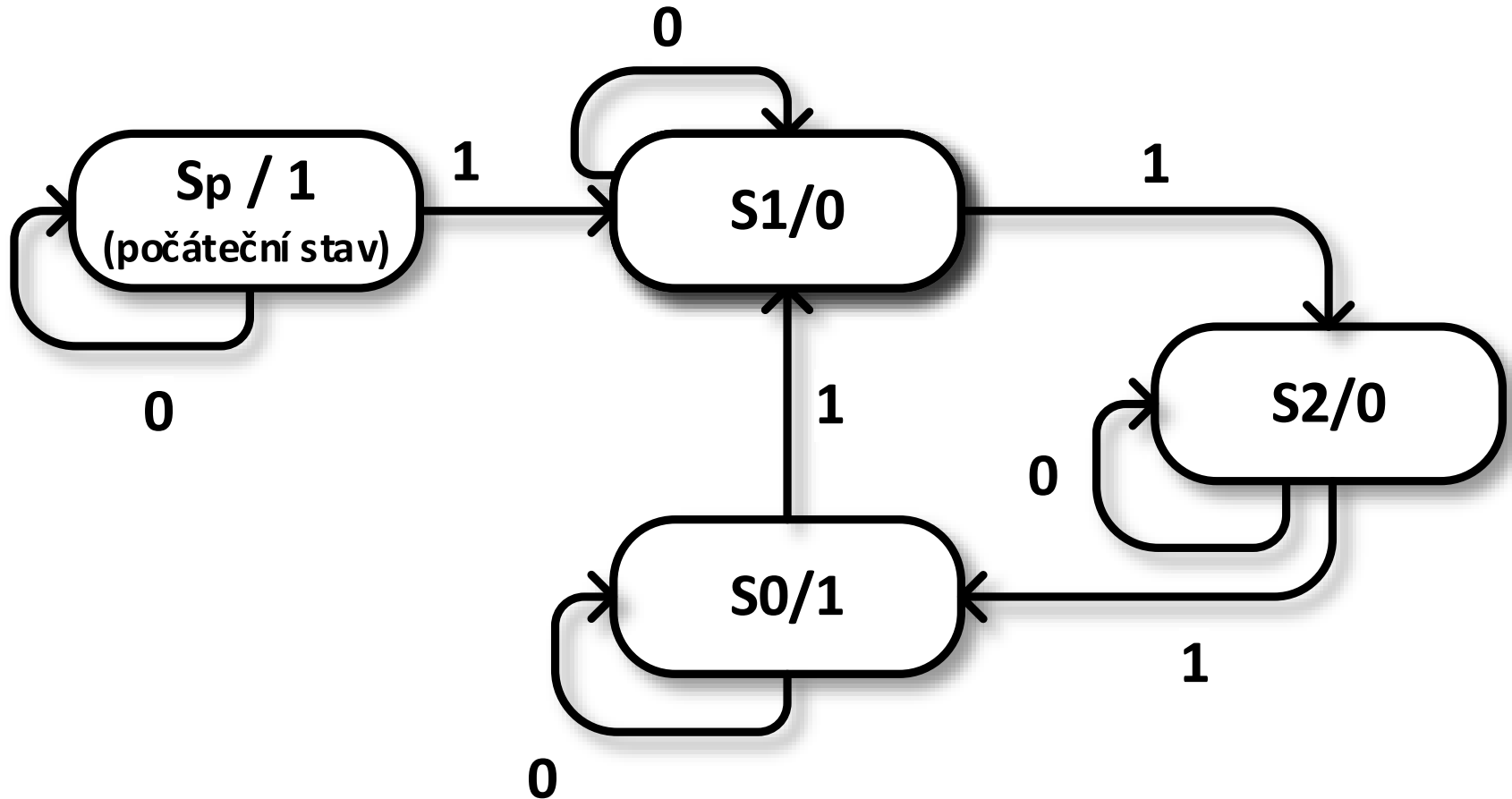
Syntéza sekvenčního obvodu

- **Graf přechodů automatu, volba typu automatu**
- **Tabulka přechodů a výstupů**
- **Redukce stavů**
- **Přiřazení stavů automatu vnitřním proměnným navrhovaného obvodu**
- **Budící tabulka**
- **Návrh obvodu**

Čítač modulo 3

Navrhňte SSA (Sekvenční Stavový Automat) realizující funkci čítače modulo 3. Pokud je hodnota vstupního signálu N (Next) rovna “log1” čítač cyklicky generuje na výstupu Y hodnotu “log1” vždy v okamžiku, kdy je výsledek operace: počet hodinových taktů modulo 3 roven 0. V ostatních případech je na výstupu “log0”.

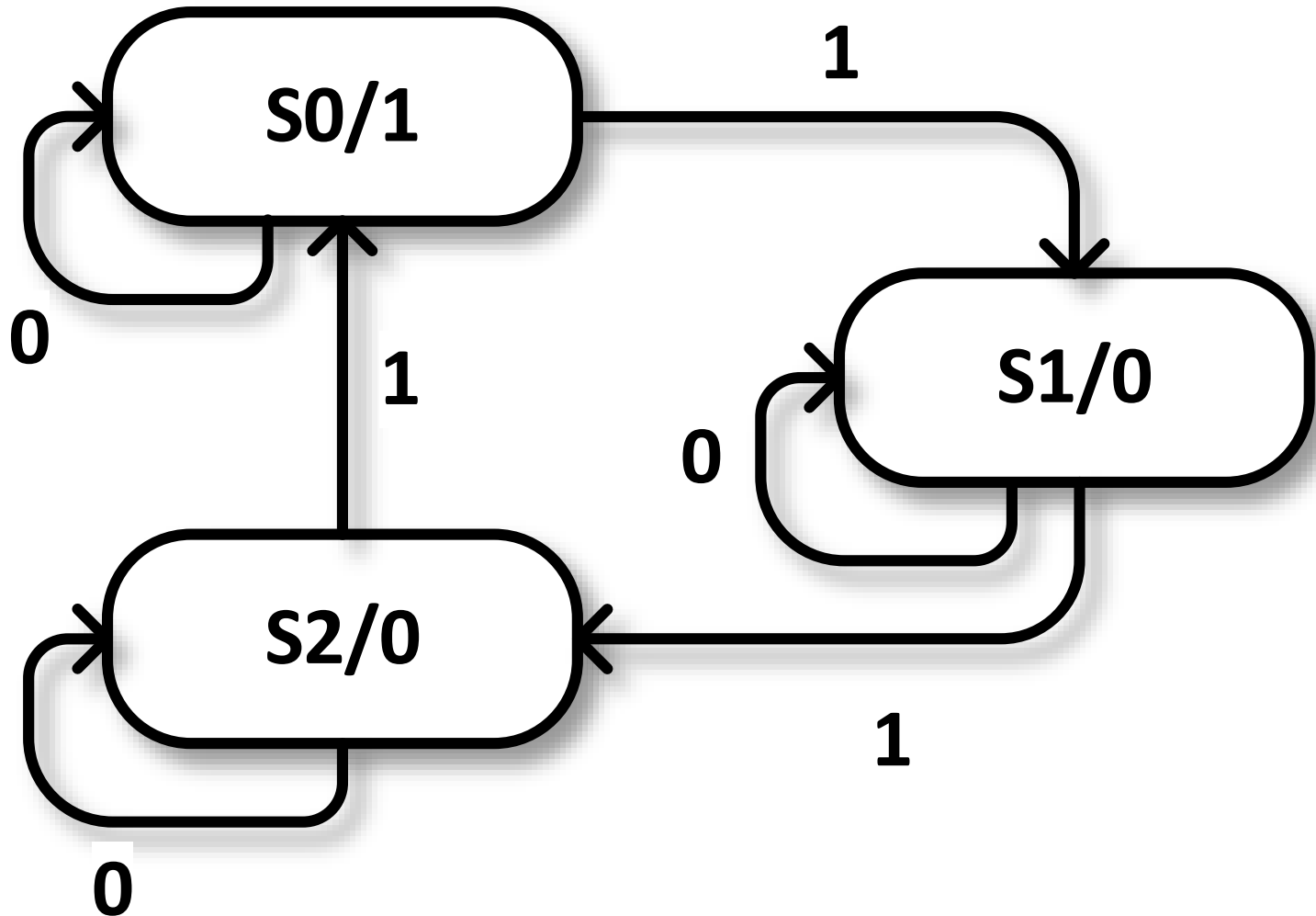
Čítač modulo 3 – graf přechodů



Čítač modulo 3 – tabulka přechodů a výstupů

stav Q_t	vstup N	budoucí stav Q_{t+1}	výstup Y
S_p (počáteční stav)	0	S_p	1
	1	S₁	
S₀	0	S₀	1
	1	S₁	
S₁	0	S₁	0
	1	S₂	
S₂	0	S₂	0
	1	S₀	

Čítač modulo 3 – redukovaný graf přechodů



Redukce stavů

- **Stavy (řádky) je možno redukovat, jestliže alespoň dva mají při stejných vstupních podmínkách stejný následující stav a výstup**

Čítač modulo 3 – redukovaná tabulka přechodů a výstupů

stav Q_t	vstup N	budoucí stav Q_{t+1}	výstup Y
S0	0	S0	1
	1	S1	
S1	0	S1	0
	1	S2	
S2	0	S2	0
	1	S0	

Čítač modulo 3 – přiřazení vnitřních proměnných jednotlivým stavům

stav Q_t	Vnitřní proměnné	
	A	B
S0	0	0
S1	0	1
S2	1	0

Čítač modulo 3 – tabulka přechodů s přiřazenými stavy

stav			vstup	budoucí stav			výstup
Q_t	A	B	N	Q_{t+1}	A	B	Y
S0	0	0	0	S0	0	0	1
			1	S1	0	1	
S1	0	1	0	S1	0	1	0
			1	S2	1	0	
S2	1	0	0	S2	1	0	0
			1	S0	0	0	

Budící tabulka klopných obvodů

Současný stav	Následující stav	D klopný obvod	JK klopný obvod		T klopný obvod
Q_t	Q_{t+1}	D	J	K	T
0	0	0	0	X	0
0	1	1	1	X	1
1	0	0	X	1	1
1	1	1	X	0	0

Výběr klopných obvodů

- Možné využití D, T, JK klopných obvodů
 - D – vhodné pro klasifikaci vstupní posloupnosti
 - T, JK – vhodné pro čítání vstupní události
 - Použití JK zvyšuje počet použitých kombinačních funkcí

Čítač modulo 3 – budící tabulka a logické výrazy pro D klopné obvody

stav			vstup	budoucí stav			buzení vstupů klopných obvodů		výstup
Q _t	A	B	N	Q _{t+1}	A	B	D _A	D _B	Y
S0	0	0	0	S0	0	0	0	0	1
			1	S1	0	1	0	1	
S1	0	1	0	S1	0	1	0	1	0
			1	S2	1	0	1	0	
S2	1	0	0	S2	1	0	1	0	0
			1	S0	0	0	0	0	

- Výrazy vyčtené přímo z tabulky:

$$D_A = \bar{A}BN + A\bar{B}\bar{N}$$

$$D_B = \bar{A}\bar{B}N + \bar{A}B\bar{N}$$

$$Y = \bar{A}\bar{B}$$

Čítač modulo 3 – budící tabulka a logické výrazy pro JK klopné obvody

stav			vstup	budoucí stav			buzení vstupů klopných obvodů				výstup
Q _t	A	B	N	Q _{t+1}	A	B	J _A	K _A	J _B	K _B	Y
S0	0	0	0	S0	0	0	0	X	0	X	1
			1	S1	0	1	0	X	1	X	
S1	0	1	0	S1	0	1	0	X	X	0	0
			1	S2	1	0	1	X	X	1	
S2	1	0	0	S2	1	0	X	0	0	X	0
			1	S0	0	0	X	1	0	X	

$$J_A = \bar{A}BN$$

$$J_B = \bar{A}\bar{B}N$$

$$Y = \bar{A}\bar{B}$$

$$K_A = N$$

$$K_B = N$$

Čítač modulo 3 – budící tabulka a logické výrazy pro T klopné obvody

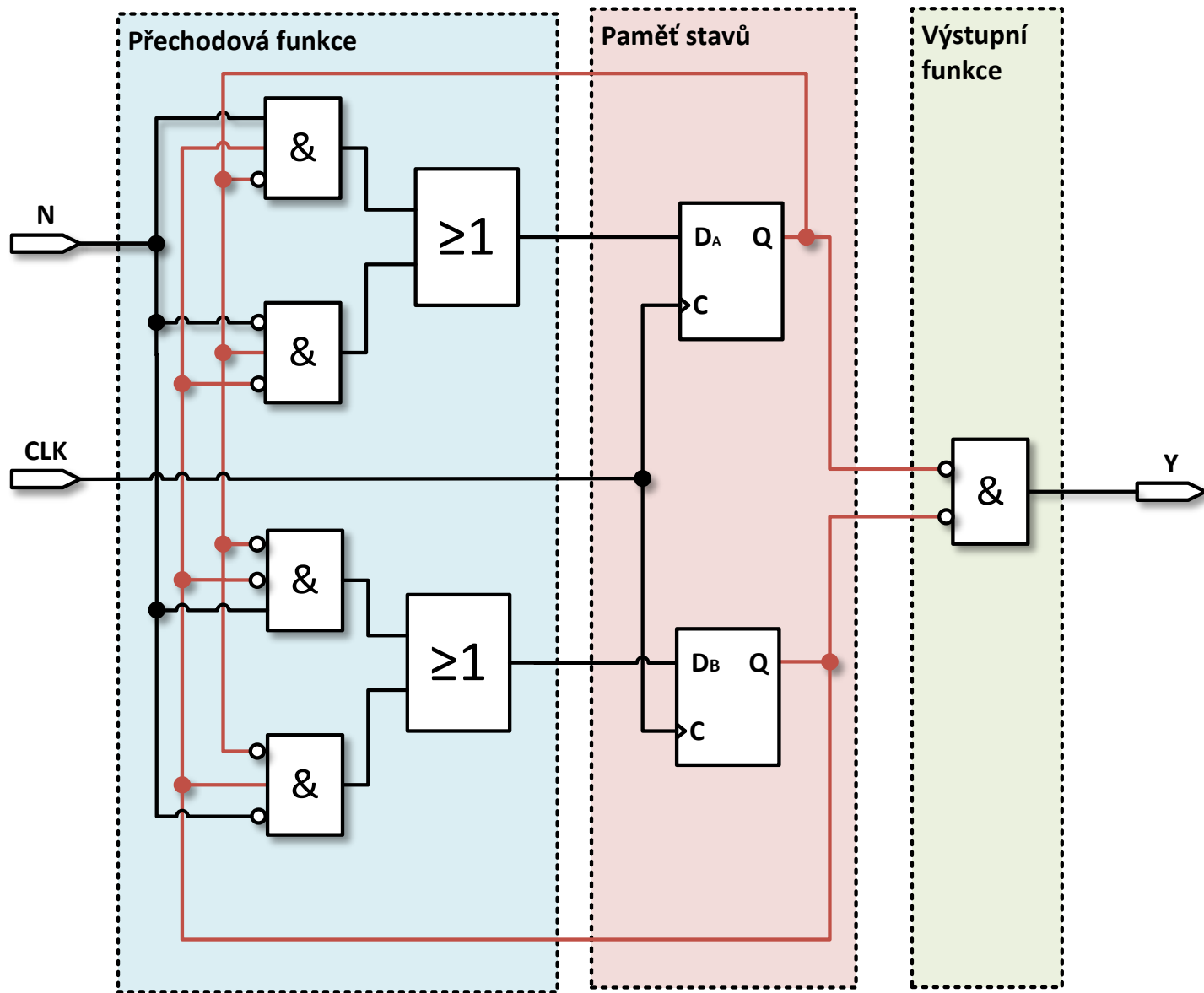
stav			vstup	budoucí stav			buzení vstupů klopných obvodů		výstup
Q _t	A	B	N	Q _{t+1}	A	B	T _A	T _B	Y
S0	0	0	0	S0	0	0	0	0	1
			1	S1	0	1	0	1	
S1	0	1	0	S1	0	1	0	0	0
			1	S2	1	0	1	1	
S2	1	0	0	S2	1	0	0	0	0
			1	S0	0	0	1	0	

$$T_A = \bar{A}BN + A\bar{B}N$$

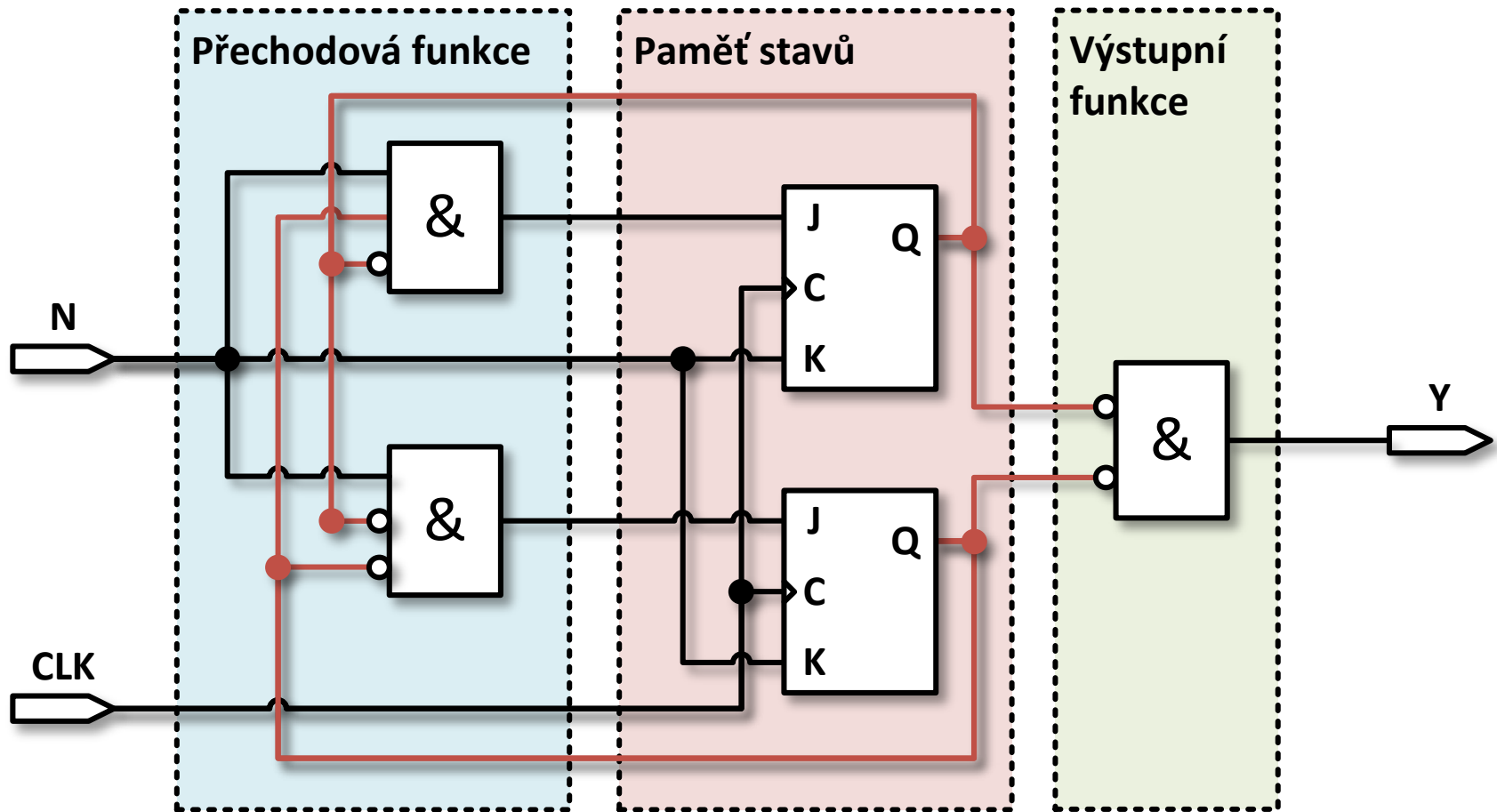
$$T_B = \bar{A}\bar{B}N + \bar{A}BN$$

$$Y = \bar{A}\bar{B}$$

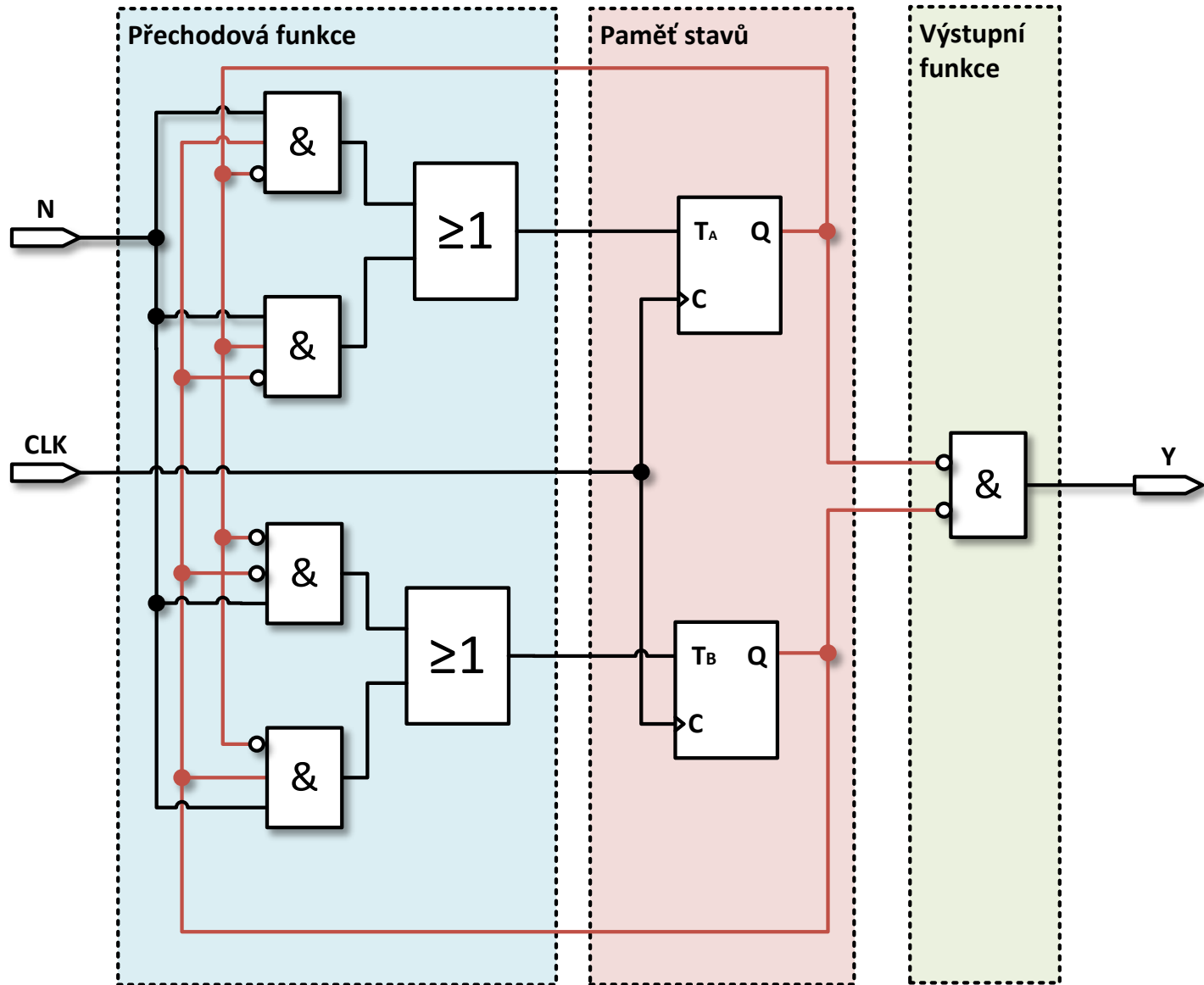
Čítač modulo 3 – zapojení s D klopnými obvody



Čítač modulo 3 – zapojení s JK klopnými obvody



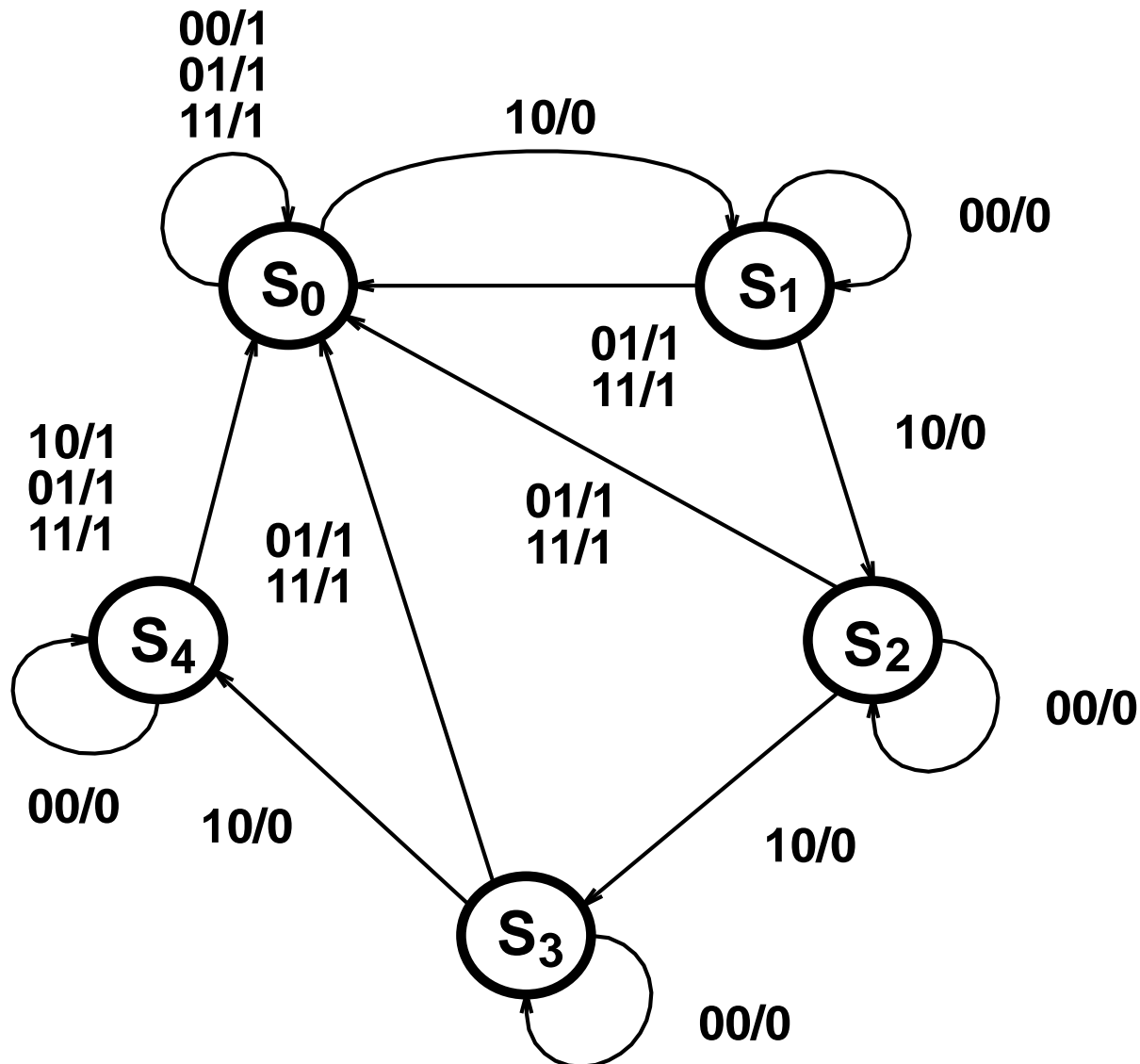
Čítač modulo 3 – zapojení s T klopnými obvody



Čítač modulo 5

Navrhňte SSA (Sekvenční Stavový Automat) realizující funkci čítače modulo 5. Pokud je hodnota vstupního signálu N (Next) rovna “log1” a zároveň je hodnota vstupního signálu R (Reset) rovna “log0” čítač cyklicky generuje na výstupu Y hodnotu “log1” vždy v okamžiku, kdy je výsledek operace: počet hodinových taktů modulo 5 roven 0. V ostatních případech je na výstupu “log0”. Pokud je hodnota vstupního signálu R rovna “log1” automat se s dalším taktém navrací co výchozího stavu

Čítač modulo 5 – graf přechodů



Čítač modulo 5 – tabulka přechodů a výstupů

stav Q_t	vstupy NR	budoucí stav Q_{t+1}	výstup
S0	0X	S0	1
	10	S1	0
	11	S0	1
S1	00	S1	0
	X1	S0	1
	10	S2	0
S2	00	S2	0
	X1	S0	1
	10	S3	0
S3	00	S3	0
	X1	S0	1
	10	S4	0
S4	00	S4	0
	X1	S0	1
	10	S0	1

Čítač modulo 5 – přiřazení vnitřních proměnných jednotlivým stavům

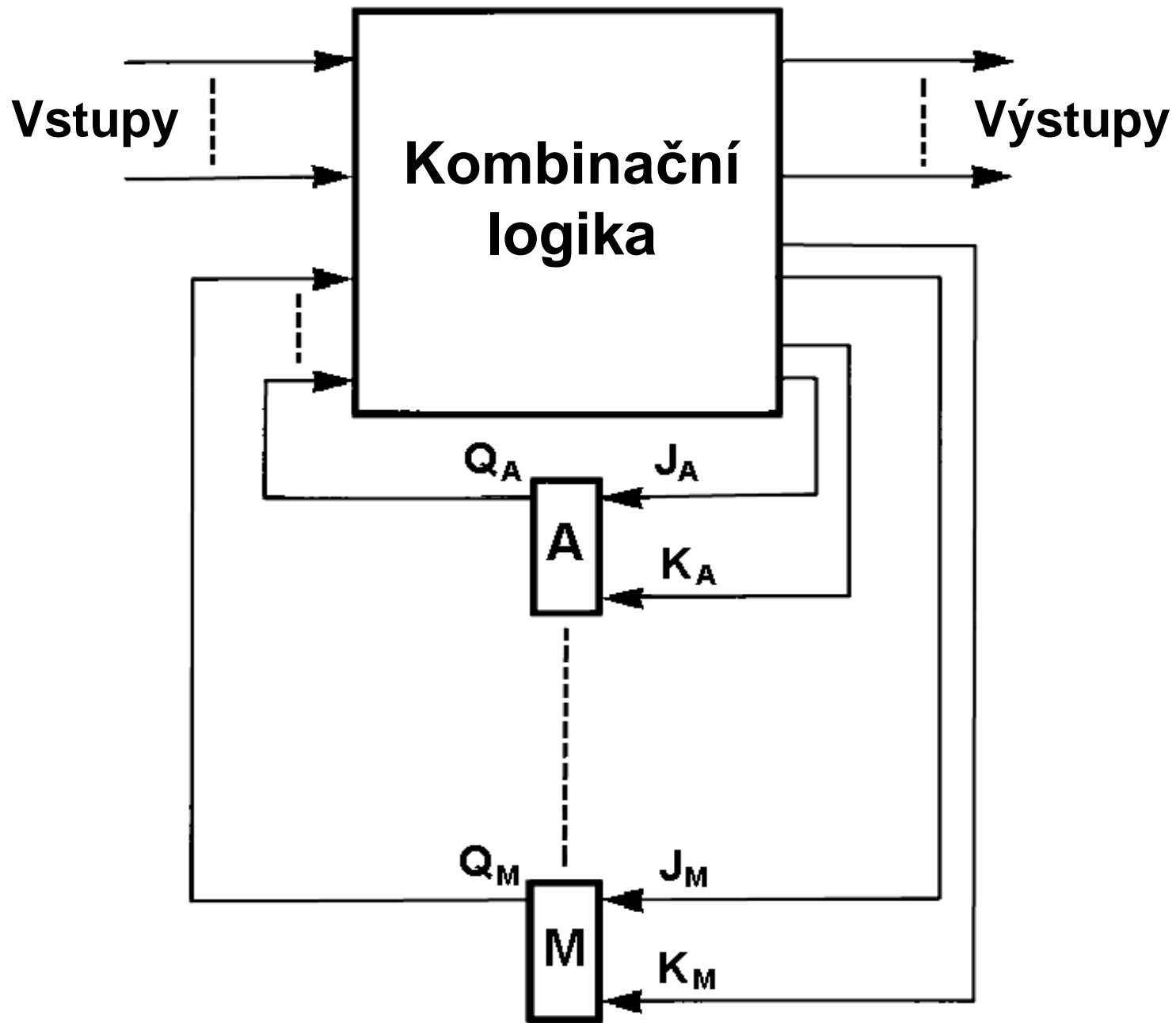
stav Q_t	Vnitřní proměnné		
	A	B	C
S0	0	0	0
S1	0	0	1
S2	0	1	0
S3	0	1	1
S4	1	0	0

Tabulka přechodů s přiřazenými stavy

Q_t	Q_t (ABC)	vstupy NR	Q_{t+1}	Q_{t+1} (ABC)	výstup Y
S0	000	0X	S0	000	1
		10	S1	001	0
		11	S0	000	1
S1	001	00	S1	001	0
		X1	S0	000	1
		10	S2	010	0
S2	010	00	S2	010	0
		X1	S0	000	1
		10	S3	011	0
S3	011	00	S3	011	0
		X1	S0	000	1
		10	S4	100	0
S4	100	00	S4	100	0
		X1	S0	000	1
		10	S0	000	1

Budící tabulka klopných obvodů

Současný stav	Následující stav	D klopný obvod	JK klopný obvod		T klopný obvod
Q_t	Q_{t+1}	D	J	K	T
0	0	0	0	X	0
0	1	1	1	X	1
1	0	0	X	1	1
1	1	1	X	0	0



J_A	NR	ABC							
		000	001	011	010	110	111	101	100
00	0	0	0	0	X	X	X	X	
01	0	0	0	0	X	X	X	X	
11	0	0	0	0	X	X	X	X	
10	0	0	1	0	X	X	X	X	

$J_A = BCN\bar{R}$

K_A	NR	ABC							
		000	001	011	010	110	111	101	100
00	X	X	X	X	X	X	X	0	
01	X	X	X	X	X	X	X	1	
11	X	X	X	X	X	X	X	1	
10	X	X	X	X	X	X	X	1	

$K_A = N + R$

J_B	NR	ABC							
		000	001	011	010	110	111	101	100
00	0	0	X	X	X	X	X	0	
01	0	0	X	X	X	X	X	0	
11	0	0	X	X	X	X	X	0	
10	0	1	X	X	X	X	X	0	

$J_B = CN\bar{R}$

K_B	NR	ABC							
		000	001	011	010	110	111	101	100
00	X	X	0	0	X	X	X	X	
01	X	X	1	1	X	X	X	X	
11	X	X	1	1	X	X	X	X	
10	X	X	1	0	X	X	X	X	

$K_B = R + CN$

J_C	NR	ABC							
		000	001	011	010	110	111	101	100
00	0	X	X	0	X	X	X	0	
01	0	X	X	0	X	X	X	0	
11	0	X	X	0	X	X	X	0	
10	1	X	X	1	X	X	X	0	

$J_C = \bar{A}N\bar{R}$

K_C	NR	ABC							
		000	001	011	010	110	111	101	100
00	X	0	0	X	X	X	X	X	
01	X	1	1	X	X	X	X	X	
11	X	1	1	X	X	X	X	X	
10	X	1	1	X	X	X	X	X	

$K_C = N + R = K_A$

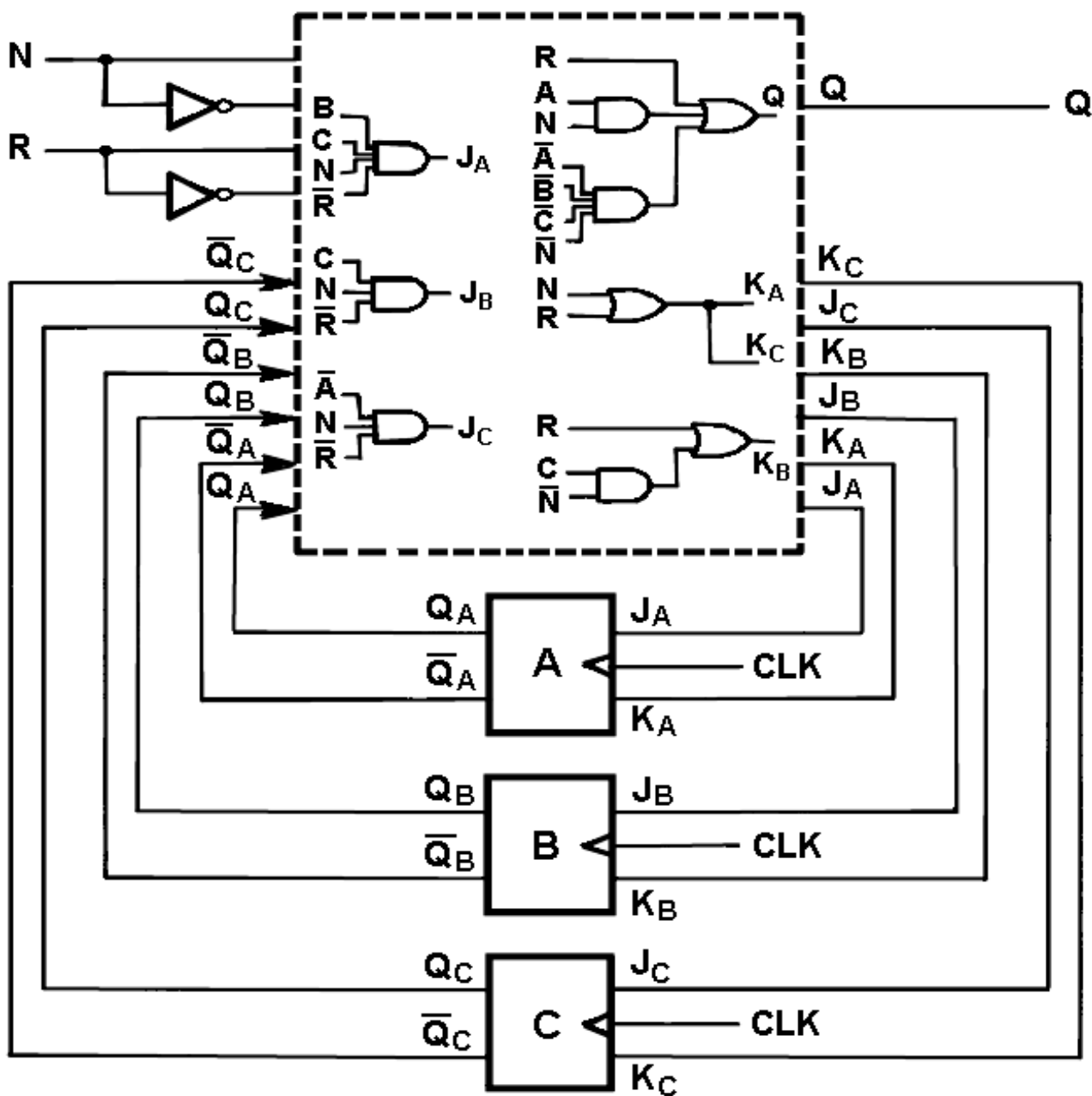
Karnaughova mapa vstupních signálů klopných obvodů čítače mod 5

Další krok - sestavení mapy pro výstupní funkci

Q		ABC							
		000	001	011	010	110	111	101	100
NR	00	1	0	0	0	X	X	X	0
	01	1	1	1	1	X	X	X	1
	11	1	1	1	1	X	X	X	1
	10	0	0	0	0	X	X	X	1

$$Q = R + AN + \bar{A}\bar{B}\bar{C}\bar{N}$$

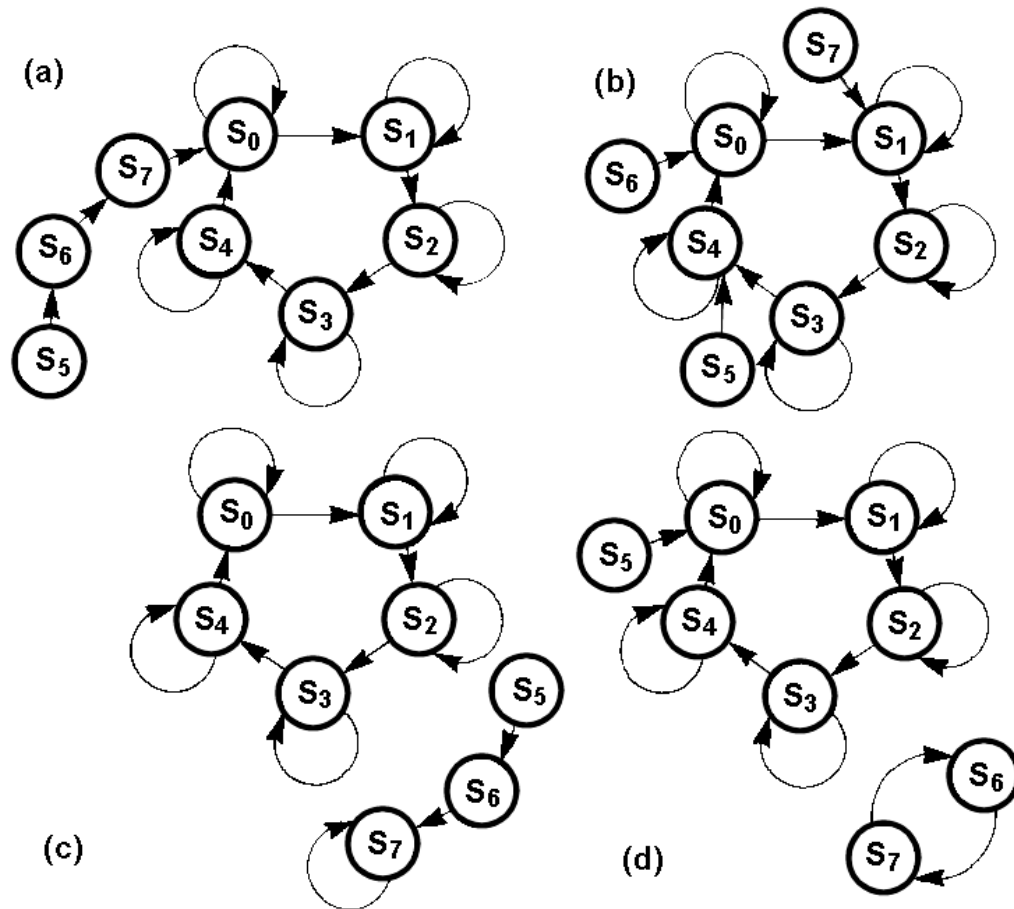
Karnaughova mapa výstupní funkce čítače mod 5



Obvodové schéma čítače mod 5

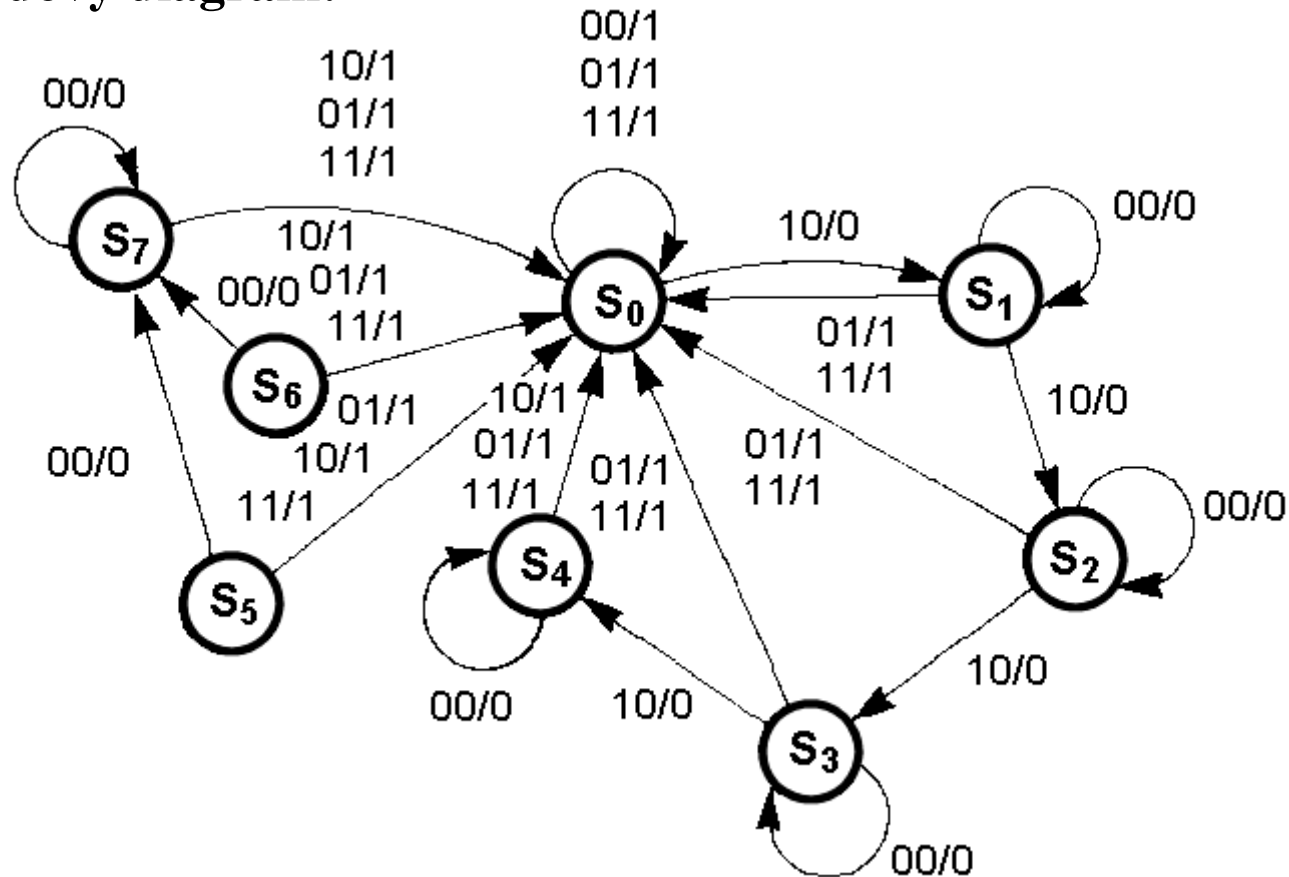
Problém s nevyužitými stavy

- Při zapnutí může být automat uveden do libovolného stavu
- Příklady chování navrženého čítače s nerespektováním nevyužitých stavů:



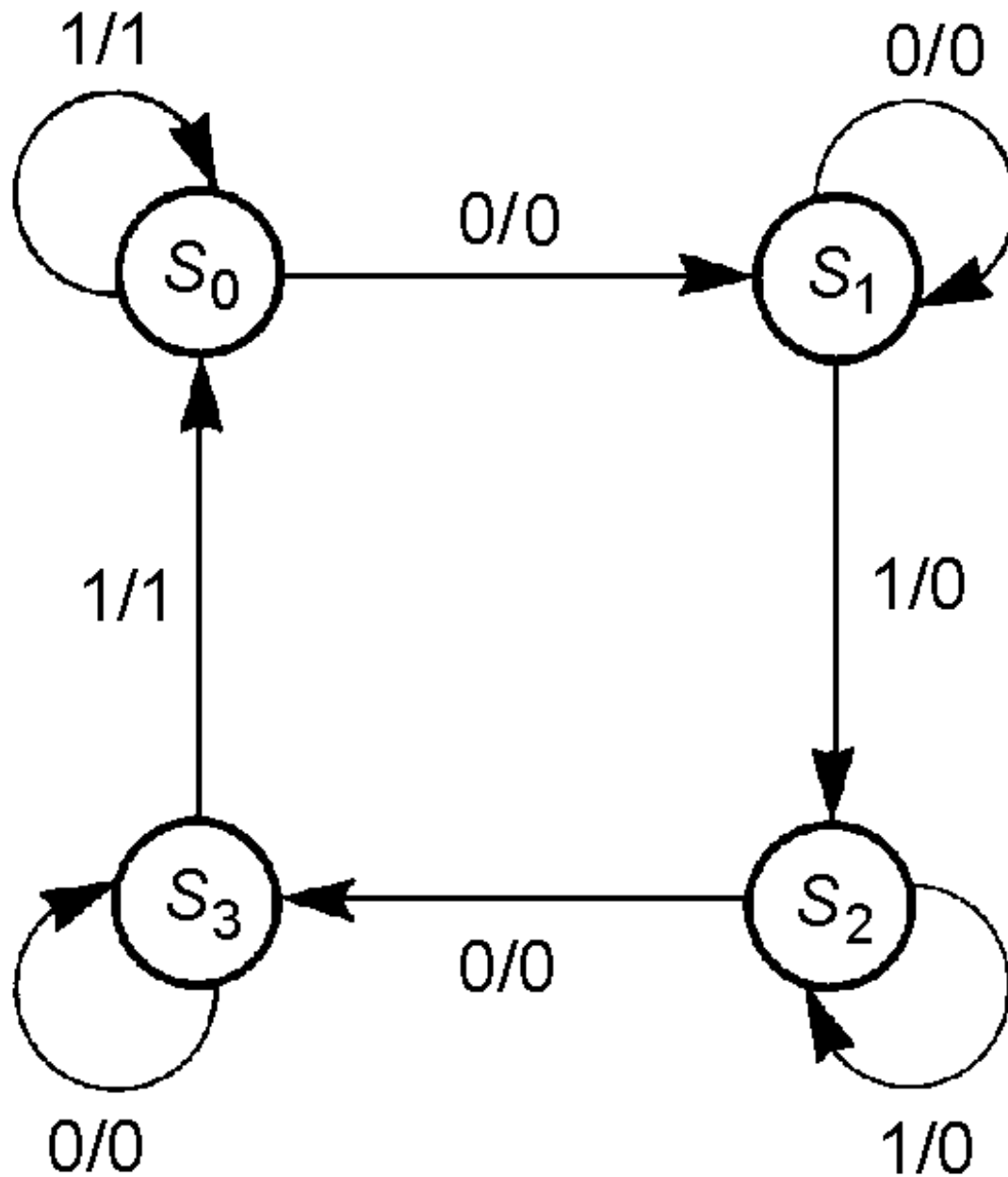
Odstranění problému nevyužitých stavů

- Podržení resetovacího signálu po zapnutí (R,C)
- nebo kontrola předchozího návrhu, případná modifikace
- navržený čítač má při respektování všech stavů následující přechodový diagram:



Návrh asynchronních sekvenčních systémů

- **Nutno zajistit, aby při přechodu do nějakého stavu byl tento stabilní (změna vstupu, která způsobila přechod, nezpůsobí další přechod)**
- **Nutno odstranit hazardy, které by mohly způsobit nežádoucí změnu stavu**
- **Používat jen u jednoduchých zapojení, kde se dá intuitivně vyhnout nežádoucím jevům**





Děkuji za pozornost

Tento materiál vznikl v rámci projektu ESF CZ.1.07/2.2.00/28.0050
Modernizace didaktických metod a inovace výuky technických předmětů,
který je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem ČR.