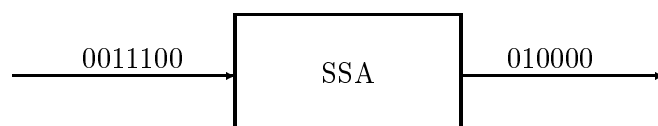


9 Příklady návrhu synchronních sekvenčních automatů

V následujícím textu je uvedeno zadání řady příkladů. Tato zadání obsahují pouze slovní popis problému. Vaším úkolem je navrhnout grafy přechodů, tabulky přechodů a výstupů, zakódovat vnitřní stavy, v některých případech i výstupy, navrhnout realizaci pomocí různých typů klopných obvodů (R-S, J-K, D, T) a různých typů hradel (NAND či NOR), popřípadě pomocí paměti PROM (EPROM) vhodného typu a spočítat maximální možný hodinový kmitočet podle použitých součástek. U některých příkladů bude uvedeno řešení.

1. Navrhněte synchronní sekvenční obvod - automat (dále jen SSO), který bude indikovat konec posloupnosti jedniček na vstupu. Jedná se tedy o automat s jedním vstupem X a s jedním výstupem Y (dvě přípustná vstupní a dvě přípustná výstupní písmena). Výstup Y bude nulový, pouze zároveň s první nulou následující za jedničkou na vstupu bude na výstupu log. 1. Situace je znázorněna na obr. 9.1 (pravé bity vstupují resp. vystupují jako první).



Obr. 9.1 Znázornění zadání příkladu 1

2. Navrhněte SSO se dvěma vstupy a, z a s jedním výstupem b . Nechť na vstup přichází celé dvojkové (binární) číslo A počínaje nultým řádem, z označuje začátek čísla A (je-li $z = 1$, na vstupu je 0. řád čísla A). Na výstupu má být obraz B čísla opačného k A v doplňkovém kódu.

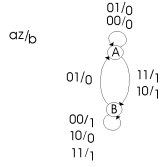
Řešení

Nejprve si musíme uvědomit, jaká funkce se má navrhnout. Víme, že binární číslo převedeme do doplňkového kódu tak, že všechny bity negujeme a přičteme 1 v nejnižším řádu, tzn.:

$$\begin{array}{r} 0010100100 \ A \\ 1101011011 \ \bar{A} \\ + \quad \quad 1 \\ \hline 1101011100 \ B \end{array}$$

Protože nevíme, jak jsou vstupující čísla dlouhá (délka je určena vstupem z), musíme vysledovat závislost mezi A a B . Ta je taková, že se od nejnižších řádů kopírují nuly až do první jedničky. Ta se ještě zkopíruje a všechny další znaky se negují. Tato závislost ještě v návaznosti na začátky jednotlivých čísel (z) je vyjádřena grafem přechodů na obr. 9.2. Z grafu přechodů vytvoříme tabulky přechodů a výstupů (Tab. 9.1) a odtud obvodovou realizaci (dořešte sami podle kap.8).

3. Navrhněte SSO se třemi vstupy a, b, z a dvěma výstupy. Na vstupy a, b přicházejí celá dvojková (binární) čísla A, B počínaje nultým řádem (je-li $z = 1$, přichází na vstupech nejnižší řád obou



Obr. 9.2 Graf přechodů pro řešení příkladu 2

$Q^{t-1} \setminus az$	00	01	10	11	00	01	10	11
A	A	A	B	B	0	0	1	1
B	B	A	B	B	1	0	0	1

Tab. 9.1 Tabulka přechodů a výstupů pro řešení příkladu 2

čísel). Na výstupu má být po průchodu obou čísel (tzn. při vstupu nejnižšího řádu další dvojice čísel, tedy při $z = 1$) písmeno Y_0 , jestliže se A rovnalo B , písmeno Y_1 , jestliže A bylo větší než B a písmeno Y_2 , jestliže A bylo menší než B . (Pomůcka: vyjděte ze tří vnitřních stavů : $A = B, A > B, A < B$)

4. Navrhněte SSO s jedním vstupem a s jedním výstupem, který rozpozná posloupnost sudého počtu jedniček na vstupu. Zároveň s nulou následující za poslední sudou jedničkou nechť je na výstupu 1, jinak 0.

5. Navrhněte SSO s jedním vstupem a s jedním výstupem, který rozpozná posloupnost lichého počtu jedniček na vstupu. Zároveň s nulou následující za poslední lichou jedničkou nechť je na výstupu 1, jinak 0.

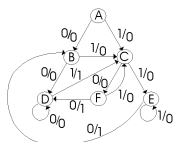
6. Navrhněte SSO se dvěma vstupy a, b a jedním výstupem z . Výstup z je jedničkový až do příchodu posloupnosti vstupů $(0,0)$, $(1,0)$, $(1,1)$, pak se nastaví do 0. Počáteční podmínky jsou $z = 1, (a, b) = (0, 0)$.

7. Navrhněte SSO s jedním vstupem a s jedním výstupem, který rozpozná následující tři posloupnosti na vstupu $00\underline{1}$, $01\underline{1}$, $10\underline{0}$, které vstupují označeným bitem. Zadané posloupnosti a) se mohou překrývat b) se nepřekrývají. Výstup Y nechť je 1 zároveň s třetím bitem správné posloupnosti, jinak nechť je 0.

Řešení

Graf přechodů pro řešení a) je na obr. 9.3 a odpovídající tabulka přechodů a výstupů v Tab. 9.2. Překrývání znamená, že např. poslední 1 správné posloupnosti 100 může být zároveň první 1 posloupností 001 nebo 011, a s těmito situacemi je nutné počítat při návrhu. Např. v našem případě to znamená, že nevede žádná hrana do startovacího stavu A. Návrh b) je jednodušší - do počátečního stavu se vracíme vždy při detekci správné posloupnosti. Kódování a realizaci pomocí hradel a klopných obvodů dodělejte sami. Je možné minimalizovat počty vnitřních

stavů? Přesvědčte se pomocí implikační tabulky. Realizace pomocí paměti PROM 74188 a klopných obvodů D je na obr. 9.4, kde paměť je obsazena zakódovanou tabulkou přechodů a výstupů (adresu tvoří vstup a výchozí vnitřní stav a výstupem je následný vnitřní stav a výstup, na způsobu kódování vnitřních stavů nezáleží, proto se obvykle volí binární kód). Klopný obvod D pracuje pouze jako zpožďovací člen, jak bude obsazena paměť PROM v případě použití klopných obvodů J-K podle obr. 9.5 ?



Obr. 9.3 Graf přechodů pro řešení příkladu 7

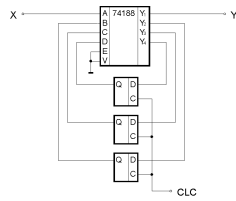
8. Navrhněte SSO s jedním vstupem a s jedním výstupem, který v posloupnosti sériově vstupujících binárních čísel rozpozná 1, 3 nebo 4 vstupující nejnižším řádem. Výstup Y nechť je 1 zároveň s třetím bitem správného čísla, jinak nechť je 0. Počáteční podmínky - na vstupu je nultý řád prvního testovaného čísla.

Řešení

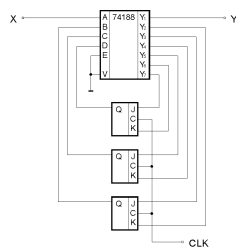
Toto zadání vypadá hodně podobně jako zadání příkladu 7. Řešení je ovšem rozdílné, protože zde je nutné při návrhu dodržet zadanou délku sériově vstupujících čísel. V našem případě to znamená, že musíme počítat do 3. Graf přechodů je na obr. 9.6 a tabulka přechodů a výstupů v Tab. 9.3. Všimněte si, že při tomto návrhu se v grafu přechodů nevyskytuje žádná smyčka kolem jednoho stavu („zapomněli“ bychom počítat do tří) a po třech krocích se vždy vracíme na počátek (do stavu A). Jedná se tedy o automat iniciální, stejně jako v příkladu 7, a na rozdíl od příkladu 2, kde je jedno ve kterém stavu se automat nachází, když začne pracovat. Přesvědčte se o tom.

$Q^{t-1} \setminus x$	0	1	0	1
A	B	C	0	0
B	D	C	0	0
C	F	E	0	0
D	D	C	0	1
E	B	E	1	0
F	D	C	1	0

Tab. 9.2 Tabulka přechodů a výstupů pro řešení příkladu 7a).

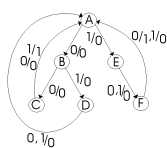


Obr. 9.4 Realizace řešení příkladu 7 pomocí paměti PROM 74188 a D klopných obvodů



Obr. 9.5 Realizace řešení příkladu 7 pomocí paměti PROM 74188 a J-K klopných obvodů

9. Navrhněte SSO s jedním vstupem a s jedním výstupem, který po zjištění pěti za sebou následujících jedniček zůstane po dva další takty v jedničce, jinak je nulový.
10. Navrhněte SSO s jedním vstupem a s jedním výstupem, který bude mít na výstupu jedničku právě tehdy, když v sériově vstupujícím pětibitovém slově byly a) právě dvě jedničky, b) alespoň dvě jedničky, c) tři jedničky s tím, že první nejnižší vstupující bit je jednička.
11. Navrhněte SSO se dvěma vstupy x_1, x_2 a jedním výstupem z . Výstup $z = 1$ pouze tehdy, když $x_1 = 1$ a na vstup x_2 přijde posloupnost 101 (x_1 musí zůstat v jedničce po celou dobu vstupu dané posloupnosti). Návrat výstupu zpět do nuly nastane s příchodem nuly na oba vstupy.
12. Navrhněte SSO se dvěma vstupy a jedním výstupem, který porovnává dvě seriově vstupující slova. Na výstupu nechť je jednička, jestliže se na vstupech zároveň objeví shodné posloupnosti o délce alespoň 5 bitů. Tuto situaci indikujte jedničkou na výstupu zároveň s pátým bitem shodných posloupností. Návrat výstupu do nuly nechť nastane zároveň s první rozdílnou dvojicí bitů.



Obr. 9.6 Graf přechodů pro řešení příkladu 8

$Q^{t-1} \setminus x$	0	1	0	1
A	B	E	0	0
B	C	D	0	0
C	A	A	0	1
D	A	A	0	0
E	F	F	0	0
F	A	A	1	0

Tab. 9.3 Tabulka přechodů a výstupů pro řešení příkladu 8

13. Navrhněte SSO, který bude pracovat jako binární čítač od 0 do 15. Jinými slovy navrhněte binární čítač M16 (čty modulo šestnáct) v binárním kódu.

Řešení

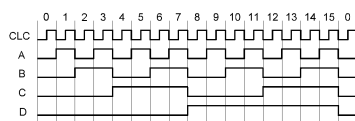
Synchronní čítače jsou zvláštním případem sekvenčních automatů. Nemají vstupní proměnnou, jen jedno vstupní písmeno (logickou 1). Výchozí stav se mění na následný vždy s příchodem aktivního hodinového signálu. Tabulka přechodů je již zakódovaná - kód je určen v zadání (v našem případě binární). Dále je třeba zdůraznit, že synchronní automat, a tedy i čítač (zde je to zvláště důležité) se vyznačuje tím, že všechny klopné obvody jsou řízeny stejným hodinovým kmitočtem, tzn. že data na výstupech klopných obvodů jsou platná ve stejnou dobu. Při řešení vyjdeme z časového diagramu (obr. 9.7) a tabulky přechodů (Tab. 9.4).

Z tabulky přechodů získáme Karnaughovy mapy, obr. 9.8 (zde jsme použili vyjádření změn stavů pomocí $0\ 1$ a $0\ 1\ x$), tedy z map lze nalézt řešení pro různé klopné obvody. Řešení pro KO typu J-K je následující:

$$\begin{array}{ll}
 J_A = 1 & K_A = 1 \\
 J_B = A & K_B = A \\
 J_C = A.B & K_C = A.B \\
 J_D = A.B.C & K_D = A.B.C
 \end{array}$$

Q^{t-1}				Q^t			
D	C	B	A	D	C	B	A
0	0	0	0	0	0	0	1
0	0	0	1	0	0	1	0
0	0	1	0	0	0	1	1
0	0	1	1	0	1	0	0
0	1	0	0	0	1	0	1
0	1	0	1	0	1	1	0
0	1	1	0	0	1	1	1
0	1	1	1	1	0	0	0
1	0	0	0	1	0	0	1
1	0	0	1	1	0	1	0
1	0	1	0	1	0	1	1
1	0	1	1	1	1	0	0
1	1	0	0	1	1	0	1
1	1	0	1	1	1	1	0
1	1	1	0	1	1	1	1
1	1	1	1	0	0	0	0

Tab. 9.4 Tabulka přechodů (i výstupů) pro binární čítač M16



Obr. 9.7 Časový diagram pro příklad 13 (binární čítač M16)

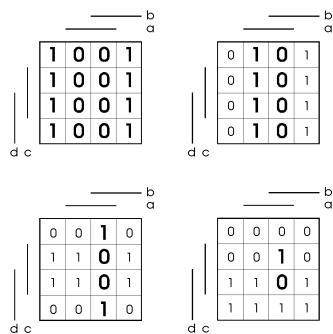
Podobné výsledky bychom získali i pro čítače $M2^n$ (tzv. úplné čítače). Podle způsobu realizace pomocí hradel se výsledné řešení nazývá buď čítač se sériovým přenosem (viz obr. 9.9 kresleno plnou čarou) nebo čítač s paralelním přenosem (obr. 9.9 budící funkce pro klopný obvod D kreslena čárkovaně). Zhodnoťte výhody a nevýhody obou zapojení.

14. Navrhněte SSO realizující funkci reverzibilního čítače M12 (modulo 12) v kódu $n + 3$. (Reverzibilní čítač znamená, že podle hodnoty vstupní proměnné čítá buď nahoru nebo dolů. Jestliže není nic dalšího zadáno, můžeme si zvolit např. pro vstup $X = 0$ čítání nahoru: 0, 1, 2,... a pro $X = 1$ čítání dolů: 12, 11, 10,...; samozřejmě v zadaném kódu.)

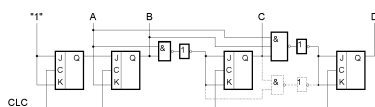
15. Navrhněte SSO, který pracuje jako čítač M7 v kódu vyjádřeném prepisem následujících desítkových čísel do binárního kódu :

0 → 1 → 3 → 8 → 11 → 12 → 4 → 0.

16. Navrhněte synchronní čítač M10 v binárním kódu.



Obr. 9.8 Karnaughovy mapy pro řešení příkladu 13 (v pořadí A,B,C,D zleva doprava odshora dolů)

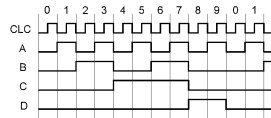


Obr. 9.9 Realizace řešení příkladu 13 pomocí hradel NAND a J-K klopných obvodů

Řešení

Jedná se o návrh tzv. neúplného čítače. Vyjdeme z návrhu nejbližšího vyššího úplného čítače a zkrátíme jeho periodu podle zadání. V našem případě se jedná o čítač ve známém kódu (lze říci místo čítač M10 v binárním kódu čítač v kódu BCD), můžeme tedy vyjít z časového diagramu na obr. 9.10 a navrhnout celý čítač stejným postupem jako v příkladu 13 (nalézt budící funkce pro všechny čtyři klopné obvody). Tento postup však můžeme v našem případě výrazně zkrátit, právě proto, že již máme navržený nejbližší úplný čítač ve stejném kódu. Všimneme si pouze rozdílů mezi čítači M16 a M10 (hledáme buď v časových diagramech nebo v tabulkách). Čítač M10 přechází ze stavu 9 do 0 (z 1001 do 0000), na rozdíl od přechodu čítače M16 z 9 do 10 (z 1001 do 1010). Rozdíly jsou v proměnných B a D, tedy stačí změnit budící funkce pro klopné obvody s výstupy B a D.

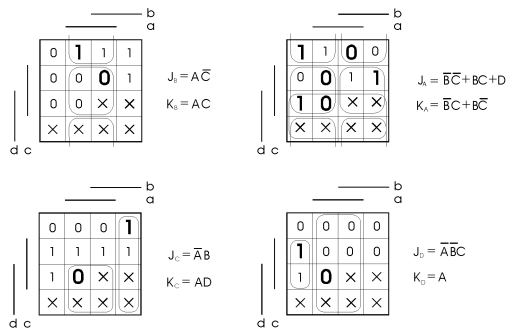
17. Navrhněte synchronní čítač M10 v Grayově kódu.



Obr. 9.10 Časový diagram pro příklad 16 (binární čítač M10)

Řešení

Vyjdeme z tabulky pro Grayův kód (Tab. 2.2) s tím, že ze stavu 9 se vracíme zpět do 0 (čítač M10). Karnaughovy mapy jsou na obr. 9.11.

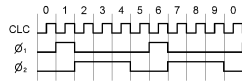


Obr. 9.11 Mapy a výrazy pro J-K klopné obvody pro řešení příkladu 17

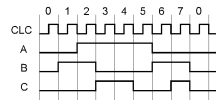
18. Navrhněte synchronní čítač M10 v kódu 2 z 5 (viz Tab. 5.1).
19. Navrhněte SSO, který bude na výstupech generovat průběhy A, B podle časového diagramu na obr. 9.12.
20. Navrhněte SSO, který bude generovat průběhy A, B, C podle časového diagramu na obr. 9.13.

Řešení

Zde nebude uvedeno celé řešení, jen předběžný návrh a upozornění na možné problémy. V zadání se v časovém diagramu vyskytují shodné kombinace hodnot A, B, C - jednak ve stavech

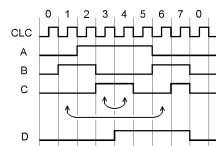


Obr. 9.12 Časový diagram pro zadání příkladu 19



Obr. 9.13 Časový diagram pro zadání příkladu 20

3 a 4, a jednak ve stavech 1 a 6. Tyto stavy musíme rozlišit zavedením další vnitřní proměnné (D), která tyto stavy rozliší, jinak by vznikl nedeterministický automat (dva různé přechody pro stejné výchozí podmínky). Na obr. 9.14 je uvedena jedna z možností zavedení další vnitřní proměnné. Jiné možné řešení by bylo navrhnout úplný čítač M8 (to už umíme podle příkladu 13) a kombinační obvod (dekodér), který bude binární výstupy čítače převádět na požadované průběhy A, B, C podle zadání. Zhodnoťte výhody a nevýhody obou zapojení (z hlediska složitosti i rychlosti).



Obr. 9.14 Časový diagram pro řešení příkladu 20