Arnošt Kábel, ID: 12345
Pondelok: 14:00

Vzorové riešenie 3. zadania

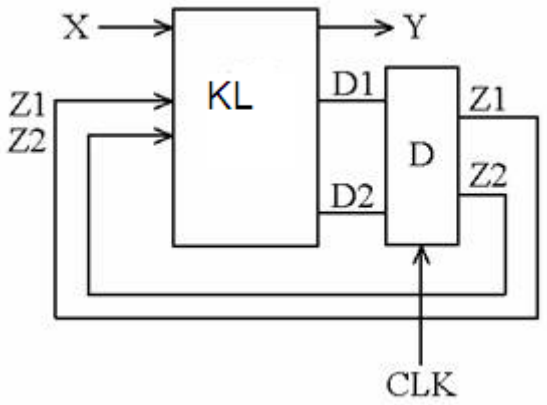
SYNTÉZA SEKVENČNÝCH LOGICKÝCH OBVODOV

Navrhnite synchrónny sekvenčný obvod so vstupom x a výstupom y s nasledujúcim správaním: na výstupe Y bude 1 vždy vtedy, ak sa (zo začiatočného stavu) vo vstupnej postupnosti vyskytne postupnosť **10101** (postupnosti sa môžu prekrývať, v tomto prípade 1010101 je možné chápať ako dve postupnosti).Vlastné riešenie overte progr. prostriedkami ESPRESSO a LogiSim (príp LOG alebo FitBoard).

Úlohy:

1) V pamäťovej časti použite minimálny počet preklápacích obvodov **JK-PO**.
2) Navrhnuté B-funkcie v tvare MDNF overte programom pre ESPRESSO. Pri návrhu B-funkcií klaďte dôraz na skupinovú minimalizáciu funkcií.
3) Optimálne riešenie (treba zhodnotiť, ktoré riešenie je lepšie a prečo) vytvorte obvod s členmi NAND (výhradne NAND, t.j. ani žiadne NOT).
4) Výslednú schému nakreslite v simulátore LogiSim (príp. LOG alebo FitBoard) a overte simuláciou.
5) Riešenie vyhodnoťte (zhodnotenie zadania, postup riešenia, vyjadrenie sa k počtu logických členov).

Upozornenie toto je príklad pre 5 číselnú postupnosť, vy máte 6 číselnú postupnosť.
Vytvárame obvod, ktorý má nasledovnú všeobecnú schému:



- *X – vstupná premenná, môže ich byť viacero.*
- *Y – výstupná premenná, tiež ich môže byť viacero.*
- *Z1, Z2,.. – stavové premenné, pomocou ktorých sú kódované jednotlivé stavy.*
- *D1, D2,… – budiace funkcie.*
- *KL – kombinačná logika (zjednodušene povedané, toto ste robili na 2. zadaní).*
- *D – preklápacie obvody. Pamäťová časť obvodu, vďaka nej obvod vie v akom stave sa nachádza.*
- *CLK - hodinový signál, ktorý synchronizuje preklápacie obvody (a "posúva" obvod do nasledujúceho stavu).*

Arnošt Kábel, ID: 12345
Pondelok: 14:00

Riešenie
Zadaná postupnosť: **10101**
Poznámka:
A) Výstupná funkcia pri automate typu Moore je závislá len od aktuálneho stavu. Pri vytváraní prechodovej tabuľky pre automat je, v prípade typu Moore, len jeden stĺpec pre každý výstup (pretože hodnota závisí len od aktuálneho stavu). Pri automate typu Mealy má každá výstupná premenná taký počet prislúchajúcich stĺpcov, ktorý pokryje všetky možnosti hodnôt vstupných premenných (pretože výstupná hodnota závisí od aktuálneho stavu a hodnôt vstupných premenných).
B) Výstupná funkcia automatu typu Mealy závisí od aktuálneho stavu a od hodnoty vstupných premenných. Pri zakresľovaní prechodového grafu sa pri automate Mealy zvykne uvádzať aj hodnota výstupu na hranách (viď. ukážka).
Dôsledkom je, že automat typu Moore poskytuje výsledok o jeden stav (takt) neskôr ako automat typu Mealy. Prechod do ďalšieho stavu je aj pre automat typu Moore a Mealy závislý od aktuálneho stavu a od hodnoty vstupných premenných.

Zadanie treba realizovať pomocou Moore alebo Mealy (*výber je na vás*).
Prechodová tabuľka pre automat typu Moore

stav	Nový stav x=0	Nový stav x=1	Y	Čo je splnené?
S0	S0	S1	0	Nič
S1	S2	S1	0	“1”
S2	S0	S3	0	“10”
S3	S4	S1	0	“101”
S4	S0	S5	0	“1010”
S5	S4	S1	**1**	“10101”

Prechodová tabuľka pre automat typu Mealy

stav	Nový stav x=0	Nový stav x=1	Y x=0	Y x=1	Čo je splnené?
S0	S0	S1	0	0	Nič
S1	S2	S1	0	0	“1”
S2	S0	S3	0	0	“10”
S3	S4	S1	0	0	“101”
S4	S0	S3	0	**1**	“1010”

Poznámka: Vysvetlenie prechodov medzi jednotlivými stavmi:
S0: začíname postupnosť a zatiaľ nemáme vôbec nič splnené. Ak nám príde iný vstup ako čakáme, tak stále nič nemáme a preto zostávame v tomto stave (S0). Ak nám príde prvá hodnota postupnosti („1“), tak sa posúvame do ďalšieho stavu (S1).
S1: V tomto stave máme prvú hodnotu postupnosti, v našom prípade „1“ (ešte budeme potrebovať 0101). Ak bude na vstupe x=0, tak by sme získali postupnosť „10“, čo je podčasť, ktorú potrebujeme, takže postupujeme do ďalšieho stavu (S2). Ak príde hodnota 1, tak nie je to hodnota, ktorá je potrebná pre správnu postupnosť (teraz máme „11“). Teda je potrebné pozrieť sa, do ktorého stavu sa môžeme vrátiť (je potrebné hľadať stav čo najbližšie k aktuálnemu, vrátane aktuálneho). V stave S1 vieme, že máme spracovanú jednu hodnotu postupnosti („1“), tak si necháme len poslednú „1“. Vidíme, že je totožná s tým, čo máme mať v stave S1, preto doplníme v S1, kde x=1 S1 (opäť budeme mať načítanú prvú hodnotu postupnosti a čakáme na ďalšie hodnoty).

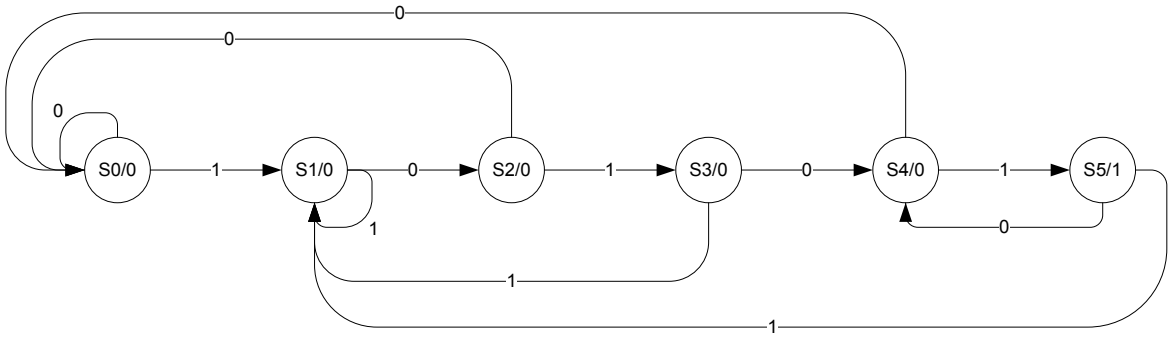
Arnošt Kábel, ID: 12345
Pondelok: 14:00

S2:V tomto stave už máme verifikovanú postupnosť „10“. Ak je x=1, tak by sme mali postupnosť „101“, čo je to čo hľadáme zo vstupnej postupnosti, teda ideme do stavu S3. Ak nám príde x=0, tak by sme mali „100“, čo je pre nás nepoužiteľné, z hľadiska kontroly postupnosti. Keď si vezmeme len „00“ (najnovšie dve hodnoty, tak si overíme, či môžeme ísť do predchádzajúceho stavu), tak vidíme, že je to rozdielne s tým čo máme v S2 („10“), teda nepôjdeme do tohto stavu. Keď opäť skrátime načítanú postupnosť na „0“ (poslednú načítanú hodnotu), keď ju porovnáme s tým, čo vieme v stave S1 („1“), opäť sa nám nezhodujú hodnoty a presúvame sa už do stavu S0 (t.j. žiadnu podčasť načítanej postupnosti nevieme použiť a musíme začať od začiatku).
S3: V tomto stave máme „101“, ak je x=0, tak získame postupnosť „1010“ a môžeme sa presunúť do ďalšieho stavu S4. Ak máme x=1, tak by sme získali postupnosť „1011“, čo nie je správne. Opäť skrátime postupnosť o jej najstaršiu hodnotu a získame „011“, to sa nerovná hodnote v S3 („101“). Znovu skrátime postupnosť na „11“, čo sa znovu nerovná hodnote S2 („10“). Nezostáva nám nič iné a skrátime postupnosť na „1“, čo vidíme, že je totožné s S1 („1“), takže sa môžeme presunúť do tohto stavu.
S4: V tomto stave máme „1010“, ak je x=1, tak získame postupnosť „10101“ a môžeme sa presunúť do posledného stavu S5 (v ňom máme načítanú celú postupnosť). Ak je x=0, tak získame „10100“. Ako v predchádzajúcich stavoch začneme odoberať najstaršie hodnoty a porovnávať so stavmi, kde sa vieme presunúť: 0100<>S4, 100<>S3, 00<>S2, 0<>S1, teda nevieme použiť žiadnu časť postupnosti a musíme sa presunúť na začiatok (S0).
Pre automat Mealy nastáva v tomto stave zmena, keďže máme v S4=“1010“ a x=1, tak máme splnenú postupnosť a je pre nás zbytočné používať stav, v ktorom by sme si pamätali dlhšiu postupnosť (keďže túto už máme celú načítanú). Pozeráme preto, do ktorého stavu sa vieme vrátiť, opäť pomocou skracovania postupnosti: 0101<>S4, 101=S3, teda presúvať sa budeme do S3.
S5: potrebný len pre Moore. Postupnosť máme načítanú a zisťujeme, čo teraz. Ak je x=1, tak máme „101011“ a skracujeme: 01011<>S5, 1011<>S4, 011<>S3, 11<>S2, 1=S1, teda v tomto prípade pôjdeme do S1. Ak je x=0, tak získame „101010“ a skracujeme: 01010<>S5, 1010=S4, teda pôjdeme do stavu S4. Opäť stav S6 by bol zbytočný, lebo si nepotrebujeme pamätať tak dlhú postupnosť.
Doplnenie výstupnej hodnoty:
Moore: z definície vyplýva, že výstupné hodnoty závisia len od aktuálneho stavu. Pozrieme sa, v ktorom stave splňame celú zadanú postupnosť (S5=10101) a v ňom upravíme výstupnú hodnotu na „1“, všade inde doplníme hodnotu „0“.
Mealy: z definície vyplýva, že výstupné hodnoty závisia len od aktuálneho stavu a hodnoty vstupných premenných. Preto pozeráme kombináciu postupnosť (ktorú v danom stave už máme spracovanú) a hodnotu x. Vidíme, že celá postupnosť je načítaná v stave S4 a x=1, teda pre Y v S4 a x=1 zapíšeme „1“, keďže v žiadnom inom prípade nie je splnená postupnosť, tak inde doplníme hodnotu „0“.

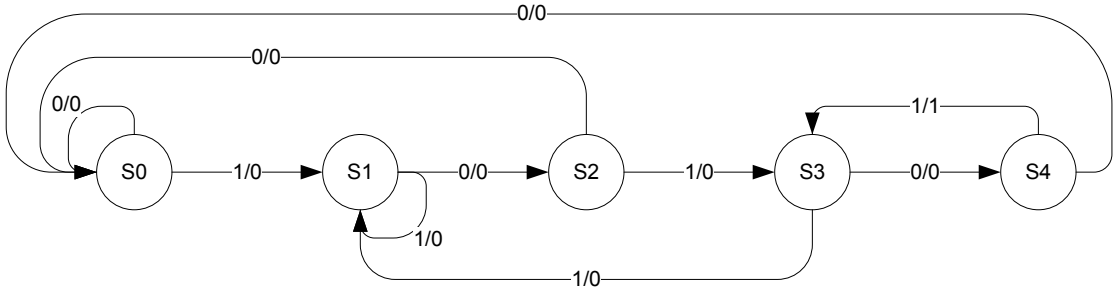
Zostrojíme prechodový graf stavového automat typu Moore/Mealy

Prechodový graf typu Moore (hodnota hrany reprezentuje hodnotu vstupnej premennej):

Arnošt Kábel, ID: 12345
Pondelok: 14:00



Prechodový graf typu Mealy (hodnota hrany reprezentuje hodnotu vstupnej premennej/hodnotu výstupnej premennej).



Poznámka: Ďalej už bude ilustračný príklad riešený pomocou automatu typu Mealy. Pomocou automatu Moore by to bolo veľmi podobné.

Kódovanie stavov

Poznámka: Zvolenie kódovania stavov má vplyv na veľkosť kombinačnej logiky. Stavy kódujeme pomocou stavových premenných. Platí, že počet_stavov<=2^{počet_stavových_premenných}. V tomto prípade máme 5 stavov, teda potrebujeme 3 stavové premenné. Na prednáške budete mať vysvetlený optimálny spôsob kódovania stavov, môžete ho použiť. Tu je zvolené náhodné kódovanie, ktoré nie je podľa tých odporúčaní.

	z2		z3	
z1	S0	S2	S3	S1
	S4	X	X	X

Stav	$z_1z_2z_3$
S0	000
S1	001
S2	010
S3	011
S4	100

Prechodová tabuľka pre automat Mealy po dosadení zakódovaných stavov

	Nový stav		Y	
stav	x=0	x=1	x=0	x=1
000	000	001	0	0
001	010	001	0	0
010	000	011	0	0
011	100	001	0	0

Arnošt Kábel, ID: 12345
Pondelok: 14:00

100	000	011	0	**1**

Budiace funkcie pre D preklápacie obvody (D-PO) a výstupná funkcia

Poznámka: Budiace funkcie nám pomáhajú určiť do akého stavu sa presunieme. Keďže nasledujúci stav (aj pre Mealy aj pre Moore) závisí od aktuálneho stavu (stav určujú stavové premenné) a vstupnej premennej, tak tieto hodnoty budeme potrebovať do Karnaughových máp jednotlivých budiacich funkcií.

Postup vypĺňania pre zlúčenú Karnaughovu mapu D1, D2 a D3: Nájdeme pozíciu pre stav S0 (z1=0, z2=0, z3=0), nájdeme dve políčka, ktoré sa líšia len podľa hodnoty vstupu (premennej x). Po pozretí do prechodovej tabuľky zistíme, že keď je x=0, tak z S0 ideme do S0 (000), teda do políčka v Karnaughovej mape, kde je S0 a x=0 napíšeme „000“ (S0 – stavu kam ideme), podobným spôsobom doplníme do druhého políčka „001“ (S1). Podobným spôsobom dopĺňame hodnoty pre funkciu Y, len si všímame stĺpce v prechodovej tabuľke, ktoré prislúchajú k funkcii Y.

z3

z2

		000	000	100	010
z1		000	XXX	XXX	XXX
		011	XXX	XXX	XXX
X		001	011	001	001

D1,D2,D3

z3

z2

		0	0	1	0
z1		0	X	X	X
		0	X	X	X
X		0	0	0	0

$D1$

z3

z2

		0	0	0	1
z1		0	X	X	X
		1	X	X	X
X		0	1	0	0

$D2$

z3

z2

		0	0	0	0
z1		0	X	X	X
		1	X	X	X
X		1	1	1	1

$D3$

z3

z2

Arnošt Kábel, ID: 12345
Pondelok: 14:00

	0	0	0	0
z1	0	X	X	X
	1	X	X	X
X	0	0	0	0

$$Y = z1.X$$

Budiace funkcie pre JK preklápacie obvody (JK-PO)

Pri zostavení budiacich funkcií sa vychádza z nižšie uvedenej tabuľky. Ku každej stavovej premennej z D preklápacích obvodov korešponduje stavová premenná pre JK preklápacie obvody (*z* z D-PO, *Z* z JK-PO).
Vysvetlenie dopĺňania hodnôt do Karnaughovej mapy (KM): pre budiaciu funkciu J1 prislúcha stavová premenná Z1 (z1 z D-PO). Tam, kde je KM pokrytá Z1=1, tam doplníme hodnotu „X“. V miestach, kde je KM pokrytá Z1=0, tak tam prepíšeme hodnotu z KM pre D1. Pre budiacu funkciu K1 postupujeme analogicky podľa tabuľky, t.j. Z1=0, tam doplníme do KM hodnotu „X“. Pozor (!), pri Z1=1 prepisujeme z KM pre D1 invertovanú hodnotu (ak bola v KM pre D1 „0“, tak do KM pre K1 napíšeme „1“). Podobným spôsobom postupujeme s budiacimi funkciami J2, K2, J3, K3, ale už si všímame Z2, resp. Z3 (sú prepojené číselnými indexami).

z->Z	J	K
0->0	0	X
0->1	1	X
1->**0**	X	**1**
1->**1**	X	**0**

		Z2	Z3	
	0	0	1	0
Z1	X	X	X	X
	X	X	X	X
X	0	0	0	0

$$J1 = \bar{X}.Z2.Z3$$

		Z2	Z3	
	X	X	X	X
Z1	1	X	X	X
	1	X	X	X
X	X	X	X	X

$$K1 = 1$$

		Z2	Z3	
	0	X	X	1
Z1	0	X	X	X
	1	X	X	X
X	0	X	X	0

$$J2 = X.Z1 + \bar{X}.Z3$$

Arnošt Kábel, ID: 12345
Pondelok: 14:00

X \ Z1 \ Z2			
X	1	1	X
X	X	X	X
X	X	X	X
X	0	1	X

$K2 = \bar{X} + Z3$

X \ Z1 \ Z2			
0	0	X	X
0	X	X	X
1	X	X	X
1	1	X	X

$J3 = X$

X \ Z1 \ Z2			
X	X	1	1
X	X	X	X
X	X	X	X
X	X	0	0

$K3 = \bar{X}$

Espresso

Poznámka: rovnakým spôsobom ako pri 2. zadaní (vstup a výstup vyzerá rovnako ako pri 2. zadaní). Riešenia sú totožné. Môže byť aj: sú ekvivalentné (obvod je rovnako veľký, má rovnaký počet vstupov)/ mnou navrhnuté riešenie je lepšie pretože .../mnou navrhnuté riešenie bolo horšie pretože...

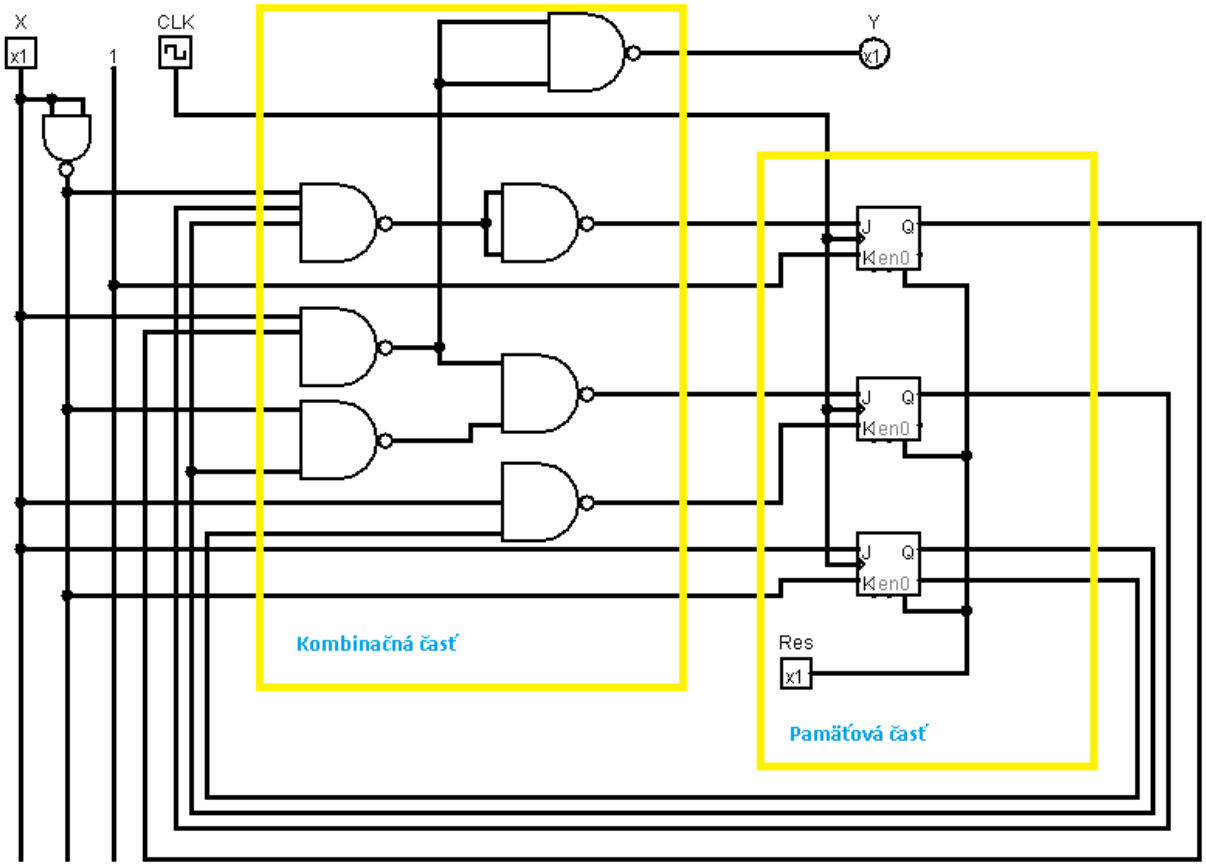
Prepis na NAND s využitím Shefferovej operácie:

$J1 = \bar{X}.Z2.Z3 = ((X \uparrow) \uparrow Z2 \uparrow Z3) \uparrow ((X \uparrow) \uparrow Z2 \uparrow Z3)$
$K1 = 1$
$J2 = X.Z1 + \bar{X}.Z3 = (X \uparrow Z1) \uparrow ((X \uparrow) \uparrow Z3)$
$K2 = \bar{X} + Z3 = X \uparrow (Z3 \uparrow)$
$J3 = X$
$K3 = \bar{X} = X \uparrow$
$Y = X.Z1 = (X \uparrow Z1) \uparrow (X \uparrow Z1)$

Vyjadrenie k počtu logických členov obvodu: 8 členov NAND(*Pozor na rozvetvenia, napr. X.Z1, zároveň nie je potrebné počítať NAND na negovanie stavových premenných, keďže aj ich negovanú hodnotu nám generuje preklápací obvod).* a 3 preklápacie obvody JK (*každá stavová premenná potrebuje jeden).*
Vyjadrenie k počtu vstupov do logických členov obvodu: 29 (17 v kombinačnej časti a 12 v pamäťovej časti). *Je potrebné pripočítať aj hodinový a resetovací signál na každý preklápací obvod JK (t.j. 2.3=6 v tomto prípade).*

Schéma:

Arnošt Kábel, ID: 12345
Pondelok: 14:00



Poznámka: Otestujte si túto schému pre správne zobrazenie postupnosti 10101. Prepínané stavy vidíte v JK preklápacích obvodoch, keď si ich spojíte, tak získate stav, v ktorom sa nachádzate. Pre prejdenie celej periódy je potrebné dvakrát kliknúť na CLK (aby ste urobili aj nábežnú aj dobežnú hranu hodinového signálu).

Zhodnotenie

Stručne popísať zadanie úlohy postup riešenia a spôsob overenia riešenia, vyjadrenie k funkčnosti obvodu.

Na miesto odovzdania sa odovzdáva

- dokument (vo formáte docx alebo pdf),
- vstupný súbor pre Espresso (postačuje napísať v hlavnej dokumentácii),
- výstupný súbor z Espressa (postačuje napísať v hlavnej dokumentácii),
- súbor s obvodom pre overenie riešenia simuláciou.

Upozornenie

Odovzdaný dokument musí obsahovať **len** nasledovné informácie:

- identifikáciu autora riešenia,
- nadpis,
- text zadania,
- zadanú postupnosť,
- prechodovú tabuľku a graf typu Mealy alebo Moore,

Arnošt Kábel, ID: 12345
Pondelok: 14:00

- Karnaughove mapy pre budiace funkcie D-PO, Y,
- Karnaughove mapy pre budiace funkcie JK-PO,
- DNF formu pre budiace funkcie JK-PO a Y,
- celý postup úpravy na Shefferovú funkciu s použitím ↑ (NAND),
- zhodnotenie.