

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

**VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA
FAKULTA STROJNÍ**



ZÁKLADY AUTOMATIZACE TECHNOLOGICKÝCH PROCESŮ V TEORII

Logické řízení

Ing. Romana Garzinová, Ph.D.
prof. Ing. Zora Jančíková, CSc.
Ing. Ondřej Zimný, Ph.D.

Ostrava 2013

© Ing. Romana Garzinová, Ph.D., prof. Ing. Zora Jančíková, CSc., Ing. Ondřej Zimný, Ph.D.

© Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

ISBN 978-80-248-3044-5



Tento studijní materiál vznikl za finanční podpory Evropského sociálního fondu (ESF) a rozpočtu České republiky v rámci řešení projektu: CZ.1.07/2.2.00/15.0463, MODERNIZACE VÝUKOVÝCH MATERIÁLŮ A DIDAKTICKÝCH METOD

OBSAH

1	LOGICKÉ ŘÍZENÍ.....	3
1.1	Základy logického řízení	4
1.1.1	Logická proměnná a logická funkce	4
1.1.2	Základní logické funkce a operace s nimi	5
1.1.3	Souhrn pravidel Booleovy algebry	6
1.2	Vyjádření logických funkcí	7
1.2.1	Pravdivostní tabulka	7
1.2.2	Logický výraz.....	8
1.2.3	Mapy	9
1.3	Realizace logického řízení	10
1.3.1	Realizace užitím relé.....	11
1.3.2	Realizace užitím logických členů.....	12
1.4	Logické automaty	14
2	PŘEDNÁŠKOVÝ TEXT SE VZTAHUJE K TĚMTO OTÁZKÁM	16
3	POUŽITÁ LITERATURA	17



1 LOGICKÉ ŘÍZENÍ



STRUČNÝ OBSAH PŘEDNÁŠKY:

Základní logické funkce a operace s nimi.

Souhrn pravidel Booleovy algebry.

Vyjádření logických funkcí.

Realizace logického řízení.

Logické automaty.



MOTIVACE:

V automatizovaných procesech řízení je velmi často používané řízení pouze dvou stavů – sepnuto a vypnuto. Toto řízení, které představuje řízení stavů, se označuje jako logické řízení. Takové řízení vychází z nauky o výrocích a je základem číslicových počítačů. V praxi jde o realizaci logické jedničky a logické nuly. Základní problematiku logického řízení si zde vysvětlíme.



CÍL:

Logické řízení jako základ logických automatů a číslicových počítačů.



1.1 ZÁKLADY LOGICKÉHO ŘÍZENÍ

Při vyhodnocování stavů technologického procesu mnohdy dostačuje zjistit, zda nějaká činnost nastala nebo nenastala, např. motor se točí - netočí, ventil je otevřen - zavřen, bylo dosaženo určitého stavu teploty - nebylo, apod. Hodnoty mezi těmito dvěma stavy nás nezajímají. Informace o této skutečnosti nabývá pouze dvou hodnot. Výhodou je, že zpracování takové informace je možno provést jednoduššími a spolehlivějšími prostředky než při zpracování spojitých signálů.

Vstupní členy převádějí vstupní veličiny (zpravidla spojité) na nespojitý výstupní signál, který nabývá pouze dvou hodnot. Jsou to např. kontaktní nebo bezdotykový snímač polohy, kontaktní manometr, kontaktní teploměr, různá tlačítka, spínače apod.

Výstupní členy zpracovávají takovou dvouhodnotovou informaci a působí jako akční členy v navazujících obvodech. Jsou to např. relé, stykače, elektromagnetické spojky, elektromagnety apod.

1.1.1 Logická proměnná a logická funkce

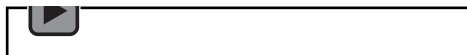
Filozofická disciplína *logika* vychází z nauky o výrocích a vazbách mezi nimi.

Relaci můžeme chápat jako výrokovou funkci $V = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$, tedy oznamovací věta, obsahující proměnné $x_1 \in X_1, x_2 \in X_2, \dots, x_n \in X_n$, která se po dosazení konkrétních hodnot za proměnné $x_1, x_2, \dots, x_n$ může stát výrokem (V).

Výrokem rozumíme jakoukoli větu nebo výraz, o němž má smysl říci, zda je pravdivý či nepravdivý a přiřazujeme hodnoty logické proměnné "1" či "0". Říkáme, že logická proměnná má hodnotu logické nuly nebo logické jedničky.



Audio 1.1



0 - výrok neplatí, činnost nenastává, signál neexistuje,

1 - výrok platí, činnost nastává, signál existuje.

Výroky spojujeme logickými spojkami (funktory) a provádíme s nimi různé operace.

Tab. 1. Tabulka základních logických operací

Název operace	Označení operace	Slovní vyjádření
Negace	$\bar{A}$	není pravda, že platí A
Konjunkce (průnik)	$A \wedge B$ $A \cdot B$ (log. součin)	platí A a zároveň platí B
Disjunkce (sjednocení)	$A \vee B$, $A + B$ (log. součet)	platí A nebo platí B
Implikace	$A \Rightarrow B$	když platí A, pak platí B
Ekvivalence	$A \Leftrightarrow B$	A platí právě tehdy, když platí B



Každá logická proměnná může nabývat dvou vzájemně rozlišných stavů neboli hodnot 0 a 1. Pro n logických proměnných mohou být hodnoty 0 a 1 dosazeny 2^n krát neboli získáme 2^n různých stavů n logických proměnných. Vztah mezi logickými proměnnými je určen tzv. logickou funkcí.

Logická funkce je předpis, který přiřazuje kombinacím hodnot jedné nebo více vstupních logických proměnných hodnotu výstupní proměnné. Pro označení vstupních proměnných obvykle užíváme malá písmena ze začátku abecedy (budeme užívat písmena a , b), pro výstupní proměnné malá písmena z konce abecedy (užijeme písmeno y). Funkce lze definovat pro libovolný počet vstupních proměnných.

Zadávání logických funkcí (nejčastěji):

- pravdivostní tabulkou,
- mapou,
- matematickým vyjádřením.

1.1.2 Základní logické funkce a operace s nimi

Nejznámější a v technické praxi nejužívanější logickou algebrou je tzv. Booleova algebra nazvaná po významném irském matematikovi a logikovi Georgu Booleovi (1815 - 1864), která se opírá o tři základní operace:

- negaci,
- logický součin (konjunkci),
- logický součet (disjunkci).

1. Negace, inverse, "non" $y = \bar{a}$

Pravdivostní tabulka:

a	y
0	1
1	0

2. Logický součin, "i", "AND", konjunkce, průnik $y = a \cdot b$

Pravdivostní tabulka:

a	b	y
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1



3. Logický součet, "nebo", "OR", disjunkce, sjednocení $y = a + b$

Pravdivostní tabulka:

a	b	y
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

4. Negovaný logický součin- funkce Shefferova, „NAND“ $y = \overline{a \cdot b}$

Pravdivostní tabulka:

a	b	$a \cdot b$	$y = \overline{a \cdot b}$
0	0	0	1
0	1	0	1
1	0	0	1
1	1	1	0

5. Negovaný logický součet - funkce Pierceova, „NOR“ $y = \overline{a + b}$

Pravdivostní tabulka:

a	b	$a + b$	$y = \overline{a + b}$
0	0	0	1
0	1	1	0
1	0	1	0
1	1	1	0

1.1.3 Souhrn pravidel Booleovy algebry

Pro operace v takto definované Booleově algebře lze odvodit následující základní pravidla zahrnující rovněž její základní axiomy:

1. Zákon agresivnosti a neutrálnosti prvků 0 a 1

$$x + 1 = 1 \qquad x + 0 = x \qquad x \cdot 0 = 0 \qquad x \cdot 1 = x$$

2. Komutativní zákon

$$x + y = y + x \qquad xy = yx$$



3. Asociativní zákon

$$x + (y + z) = (x + y) + z$$

$$x(yz) = (xy)z$$

4. Distributivní zákon

$$x + (yz) = (x + y)(x + z)$$

$$x(y + z) = xy + xz$$

5. Zákony absorpce

$$x + x = x$$

$$xx = x$$

$$x + xy = x$$

$$x(x + y) = x$$

6. Zákony absorpce negace

$$x + \overline{xy} = x + y$$

$$x(\overline{x} + y) = xy$$

$$\overline{x} + xy = \overline{x} + y$$

$$\overline{x}(x + y) = \overline{xy}$$

7. Zákon dvojité negace

$$\overline{\overline{x}} = x$$

8. Zákon vyloučení třetího

$$x + \overline{x} = 1$$

$$x\overline{x} = 0$$

9. De Morganovo pravidlo (pravidla o vytvoření negace)

$$\overline{x + y + z} = \overline{x} \cdot \overline{y} \cdot \overline{z}$$

$$\overline{x \cdot y \cdot z} = \overline{x} + \overline{y} + \overline{z}$$

Negace součtu proměnných je rovna součinu negovaných proměnných.

Negace součinu proměnných je rovna součtu negovaných proměnných.

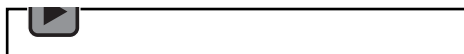
DeMorganovo pravidlo platí pro libovolný počet logických proměnných.

1.2 VYJÁDŘENÍ LOGICKÝCH FUNKCÍ

Základní grafické vyjádření logických funkcí je možno pomocí pravdivostní tabulky, logickým výrazem nebo pomocí logické mapy.



Audio 1.2



Tyto formy zápisu se užívají pro úvodní operace zápisu a zpracování logických funkcí, logických výrazů tak, abychom získali konečnou formu výrazu vhodnou pro jeho realizaci v logickém řízení. Tato forma je v dalším zpravidla minimalizována, tj. hledáme takový tvar logického výrazu, aby bylo pro jeho realizaci možno použít minimálního počtu prvků.

1.2.1 Pravdivostní tabulka

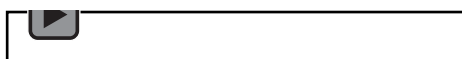
Velikost pravdivostní tabulky je určena počtem nezávislých proměnných n . Pro n proměnných bude mít 2^n řádků a $n+1$ sloupců. Levá strana tabulky popisuje všechny



kombinace nezávislých proměnných (zpravidla $a, b, c, \dots$) řazených vzestupně od 0 po 1 a pravá strana závislou proměnnou (zpravidla y).



Audio 1.3



Definujme např. logickou funkci tří proměnných $y = f(a, b, c)$. Nechť je tato funkce popsána pravdivostní tabulkou tab. 6.1. Někdy pro orientaci uvádíme v pravdivostní tabulce i stavový index s .

Tab. 2. Pravdivostní tabulka zadané funkce

s	a	b	c	y
0	0	0	0	1
1	0	0	1	0
2	0	1	0	0
3	0	1	1	0
4	1	0	0	1
5	1	0	1	1
6	1	1	0	0
7	1	1	1	0

Touto pravdivostní tabulkou je příslušná logická funkce y plně zadána.

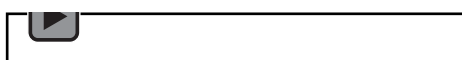
1.2.2 Logický výraz

Užívají se dva základními tvary zápisu logické funkce logickým výrazem:

- úplná disjunktivní normální forma (ÚDNF), tedy součet součinů,
- úplná konjunktivní normální forma (ÚKNF), tedy součin součtů.



Audio 1.4



Přepis do tvaru součtu součinů (ÚDNF) provedeme tak, že vyhledáváme ty kombinace vstupních proměnných, pro které má výstupní proměnná hodnotu 1. Pro každou takto nalezenou kombinaci napíšeme takový součin vstupních proměnných, resp. jejich negací, aby tento součin měl právě hodnotu 1. Znamená to, že v případě, že vstupní proměnná má v daném řádku hodnotu 1, zapíšeme tuto proměnnou přímo, pokud má vstupní proměnná hodnotu 0, zapíšeme do výrazu negaci této vstupní proměnné. Součet takto vytvořených součinů je logickým výrazem dané logické funkce.

Přepíšeme logickou funkci zadanou tabulkou 2. do logického výrazu ve tvaru ÚDNF.

$$y = \overline{a}\overline{b}c + \overline{a}b\overline{c} + a\overline{b}\overline{c} \quad (1)$$

Při přepisu do tvaru součinu součtů (ÚKNF) naopak vyhledáváme ty řádky, kde je hodnota funkce $y = 0$ a do jednotlivých součtů zapisujeme podmínky odpovídající nulové hodnotě tohoto součtu. Tedy naopak proti minulému postupu musíme zapsat přímou proměnnou v



případě, že tato proměnná má v daném řádku hodnotu 0 a negaci této proměnné, jestliže má tato proměnná hodnotu 1. Součinem těchto podmínek dostaneme výslednou výraz určující podmínky nulové hodnoty této funkce. Pro funkci zadanou tabulkou 1:

$$y = (a + b + \bar{c}).(a + \bar{b} + c).(a + \bar{b} + \bar{c}).(\bar{a} + \bar{b} + c).(\bar{a} + \bar{b} + \bar{c}) \quad (2)$$

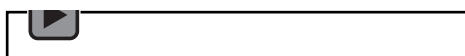
Oba výrazy (1) i (2) vyjadřují tutéž logickou funkci.

1.2.3 Mapy

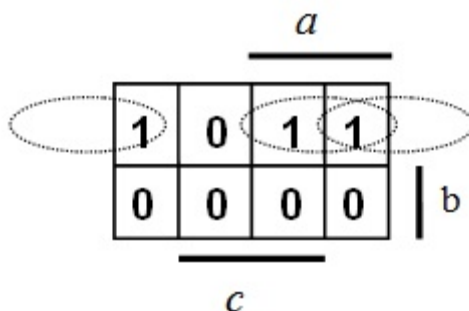
Mapa je tvořena obdélníkem nebo čtvercem rozděleným na políčka, přičemž každému políčku odpovídá jedna kombinace vstupních proměnných. Do políčka pak zapisujeme hodnotu logické funkce odpovídající této kombinaci vstupních veličin. Z řady různých možných druhů map patří mezi nejznámější mapa Karnaughova (čti Karnafova), která je definována tak, že při změně logické hodnoty pouze jedné vstupní proměnné sousedí políčko odpovídající této nové kombinaci vstupních veličin s políčkem výchozím.



Audio 1.5



Příklad možného tvaru Karnaughovy mapy funkce podle tab. 1 je na obr. 1. Třem vstupním proměnným přísluší osm hodnot logické funkce, tedy mapa musí mít osm polí. Zvolíme tvar dva řádky po čtyřech sloupcích. Na okrajích jsou označeny ty řádky, resp. sloupce, které odpovídají hodnotě příslušné vstupní proměnné rovné logické jedničce. Pak zapisujeme logickou 1 do polí, které odpovídají příslušné kombinaci vstupních proměnných.



Obr. 1 Karnaughova mapa logické funkce z tab. 1

Zbývá upozornit, že základní vlastnost takto definované mapy, tj. při změně jediné vstupní veličiny, dochází k přechodu do sousedního políčka, je zachována i pro okrajové prvky mapy, tedy např. Mezi prvky v horních rozích tabulky jak je naznačeno krajními elipsami.

Obecná pravidla pro minimalizace pomocí mapy jsou:

1. Jedničky uzavíráme pomocí smyček, které obsahují několik sousedních políček. Čím větší smyčky tvoříme, tím budou algebraické výrazy jednodušší. Počet polí ve smyčce musí být roven mocnině 2 (tzn. počet políček může být 1, 2, 4, 8, 16).
2. Smyčky musí obsahovat všechny jedničky uvedené v mapě.
3. Smyčky se mohou vzájemně prolínat.
4. Za každou smyčku zapíšeme pouze jeden výraz.
5. Výrazy za jednotlivé smyčky sečteme.



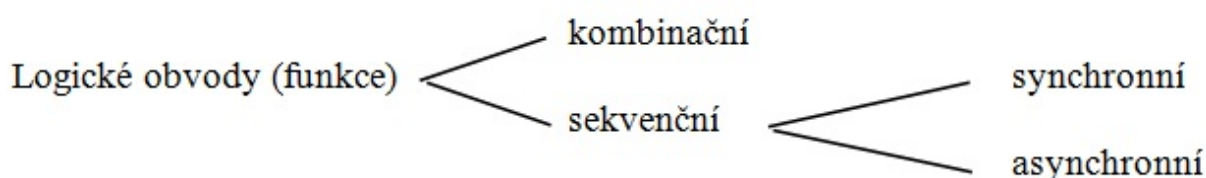
Obsahuje-li smyčka dvě jedničky, nazýváme ji dvojsmyčkou. Každá dvojsmyčka obsahující dvě sousední jedničky nám vylučuje jednu z logických proměnných. V mapě můžeme uzavřít tzv. čtyřsmyčku která nám umožní vyloučit další proměnnou. Vytvoření čtyřsmyčky eliminuje vliv další proměnné.

1.3 REALIZACE LOGICKÉHO ŘÍZENÍ

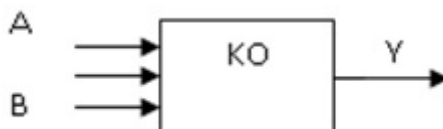
Logické funkce používáme k řízení technologických procesů. Jedná se jak o systémy zcela jednoduché, např. dvoutlačítkové ovládání motoru, až po vrchol současného logického řízení - číslicový počítač, který veškeré funkce, včetně matematických operací s čísly, provádí užitím základních logických funkcí.

Logické funkce jsou realizovány logickými obvody. Ty mohou mít různou technickou podstatu, lze je realizovat mechanicky (např. dveřní zámek tvoří funkci logického součinu), pneumaticky, elektricky. V současné době převládá realizace elektronickými polovodičovými obvody, tzv. integrovanými obvody, které mají na jedné křemíkové destičce - substrátu - integrovány elektronické obvody realizující tyto logické funkce. Nejsložitějším z těchto obvodů je mikroprocesor - srdce všech moderních počítačů. Nejrozsáhlejší jsou polovodičové paměti.

Logické obvody dělíme podle následujícího schématu:



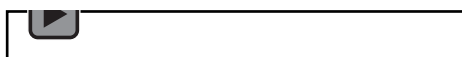
Kombinační logické obvody - hodnota výstupních veličin závisí jen na kombinaci vstupních veličin.



Obr. 2 Schéma kombinačního logického obvodu



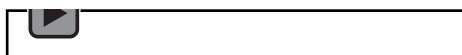
Audio 1.6

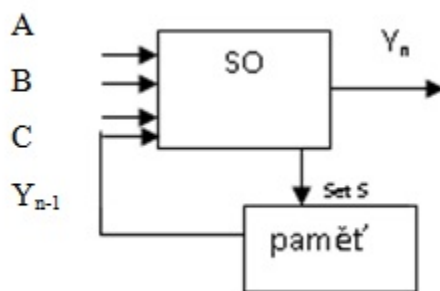


Sekvenční logické obvody - hodnota výstupních veličin závisí jednak na kombinaci vstupních veličin a dále na předchozím stavu (např. logické automaty pro řízení výrobních linek, automatické pračky apod.). Tyto obvody musí vždy obsahovat vnitřní proměnné (paměti).



Audio 1.7





Obr. 3 Schéma sekvenčního logického obvodu

Synchronní - všechny změny v logickém obvodu probíhají současně. Změny jsou řízeny synchronizačními impulsy.

Asynchronní - stav obvodu se mění ihned po změně vstupu, práce obvodu není synchronizována.

Pro realizaci sekvenčních obvodů se užívá stejných kombinačních prvků jako pro obvody kombinační. Informace o předchozím stavu systému se získávají zavedením výstupních veličin na vstupy zpracovávajících členů současně se vstupními veličinami.

Při realizaci vycházíme zpravidla z minimalizovaného tvaru logické funkce.

1.3.1 Realizace užitím relé

Relé je přístroj obsahující elektromagnet, který ovládá spínání kontaktů. Kontakty jsou dvojího druhu, tzv. pracovní (spínací), které jsou sepnuty tehdy, je-li cívka relé pod proudem, a dále klidové (rozpínací), které jsou sepnuty v bezproudém stavu cívky a po připojení proudu se rozepnou.

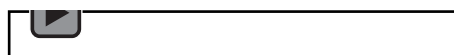
Klidové a pracovní kontakty mají i různé ovládací prvky, jako jsou tlačítka, koncové spínače apod.

Při realizaci logické funkce je

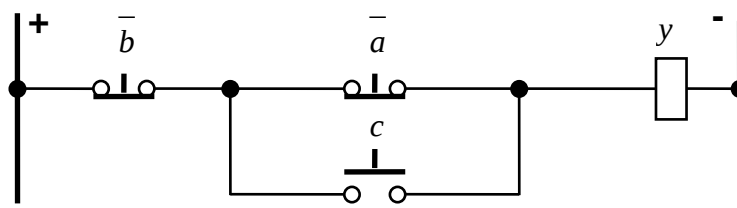
- pracovní kontakt vyjádřením přímého vstupu funkce,
- klidový kontakt vyjádřením negace vstupu funkce,
- sériové zapojení kontaktů realizuje logický součin,
- paralelní zapojení kontaktů realizuje logický součet.



Audio 1.8

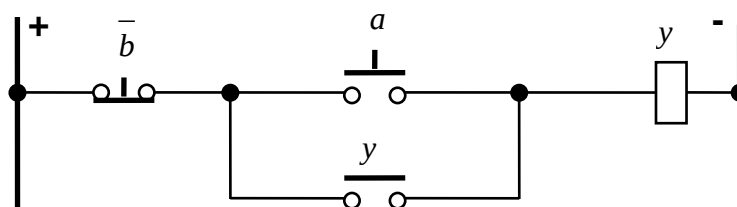


Příklad realizace příkladu logické funkce podle vztahu (3) je na obr. 4.



Obr. 4 Realizace funkce $y = b(\bar{a} + c)$ pomocí relé (3)

Jako příklad nejjednoduššího sekvenčního obvodu uveďme na obr. 5 ovládání motoru dvěma tlačítky pomocí stykače, což je relé vybavené silnoproudými kontakty pro spínání motoru (nekresleno) a dále pomocnými ovládacími kontakty. Stiskem tlačítka *a* sepne stykač *y*. Tím sepne i pomocný kontakt *y*, který přemostí tlačítko *a*, takže i po puštění tlačítka zůstává stykač přitažen. Kontakt *y* je vnitřní proměnnou sekvenčního obvodu. Stiskem rozpínacího tlačítka *b* se obvod rozezne, stykač odpadne a motor se zastaví.



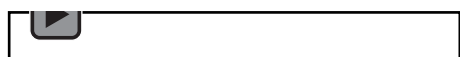
Obr. 5 Sekvenční logický obvod ovládání motoru

1.3.2 Realizace užitím logických členů

V současné době jsou k dispozici elektronické prvky, tzv. logické integrované obvody. Na křemíkové destičce, tzv. čipu, jsou vytvořeny polovodičové obvody realizující různé logické funkce. Propojením vývodů těchto základních obvodů lze vytvořit složitější funkce. Jestliže chceme použít integrované obvody realizující negované logické součiny, upravíme logický výraz do tvaru vyjadřující funkci pomocí negovaných logických součinů. Výsledný tvar je pak návodem pro realizaci obvodu.



Audio 1.9



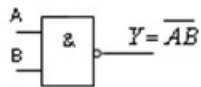
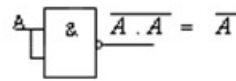
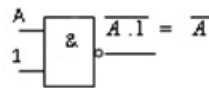
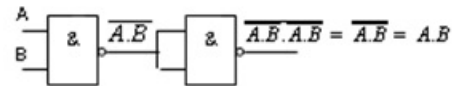
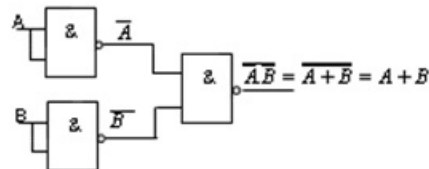
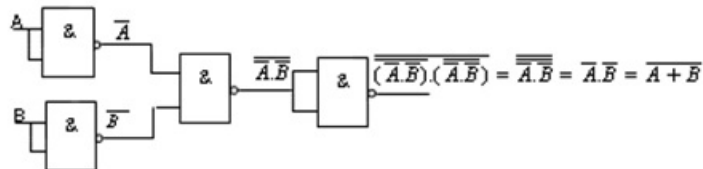
Schématický znak funkce negovaného logického součinu je obdélník se znakem &, kolečko na výstupu je znakem negace.

Realizace základních logických funkcí hradly NAND

Podle de Morganových zákonů je možno převést všechny logické funkce na funkce typu NAND, proto se používají nejčastěji. Jsou základem logických obvodů.

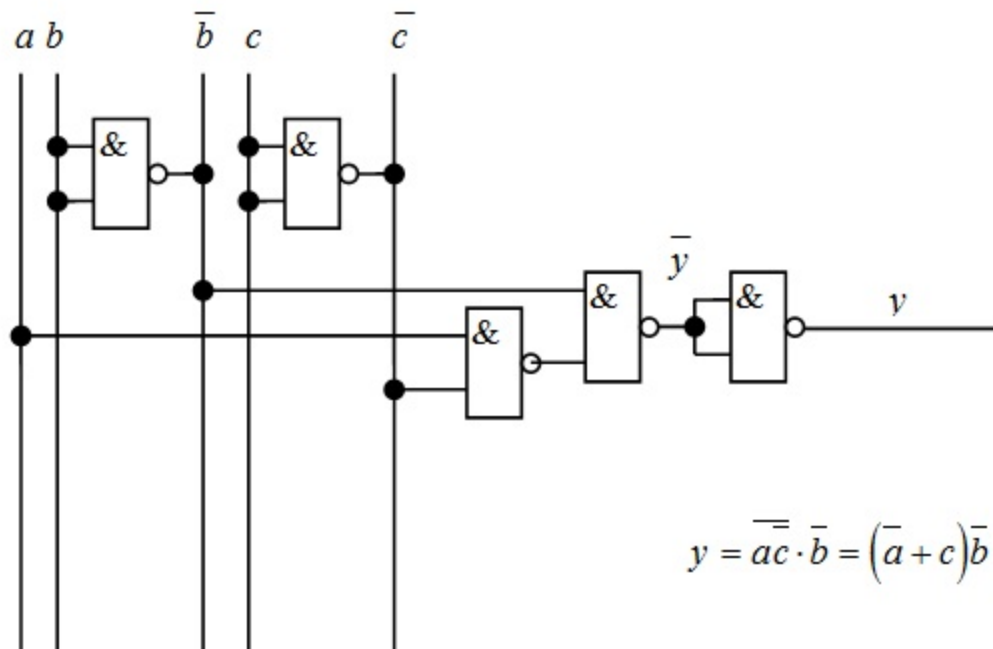
NAND (MH 7400)- základní člen řady číslicových integrovaných obvodů TTL- je to čtveřice dvojvstupových hradel NAND. Integrované obvody pracují s pozitivní logikou tzn., že $H = 2,2 - 5V$ (logická 1) a $L = 0 - 0,8V$ (logická nula).



NAND**NOT****AND****OR****NOR**

Obr. 6 Realizace logických funkcí NAND, NOT, AND, OR, NOR pomocí hradel typu NAND

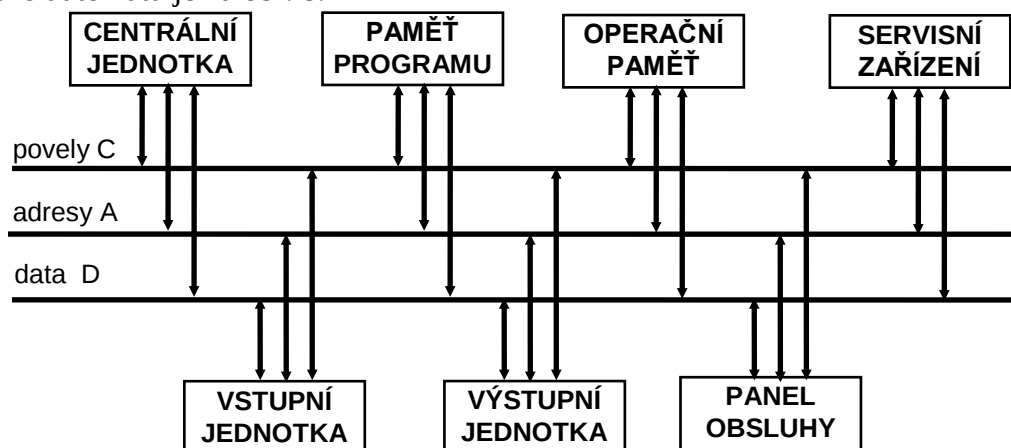
Jako příklad použijeme předposlední tvar výrazu (4). Negaci signálu vytvoříme tak, že na oba vstupy členu realizujícího negovaný logický součin přivedeme stejný signál (viz pravdivostní tabulka tohoto členu).

Obr. 7 Realizace funkce $y = \overline{b}(\overline{a + c})$ negovanými logickými součiny

1.4 LOGICKÉ AUTOMATY

Realizace logické funkce jednoduchými prvky jako jsou např. kontakty, integrované obvody realizující základní logické funkce apod. má nevýhodu v tom, že funkce je zadána vodivým propojením těchto prvků např. drátovými spoji. Při změně logické funkce musíme tyto spoje rovněž změnit, což je pracné a přináší nebezpečí možných omylů.

Zejména složitější logické řízení se proto realizuje pomocí tzv. *logických automatů*, což jsou jednoúčelové počítače přizpůsobené právě pro zpracování logických funkcí. Základní schéma logického automatu je na obr. 8.

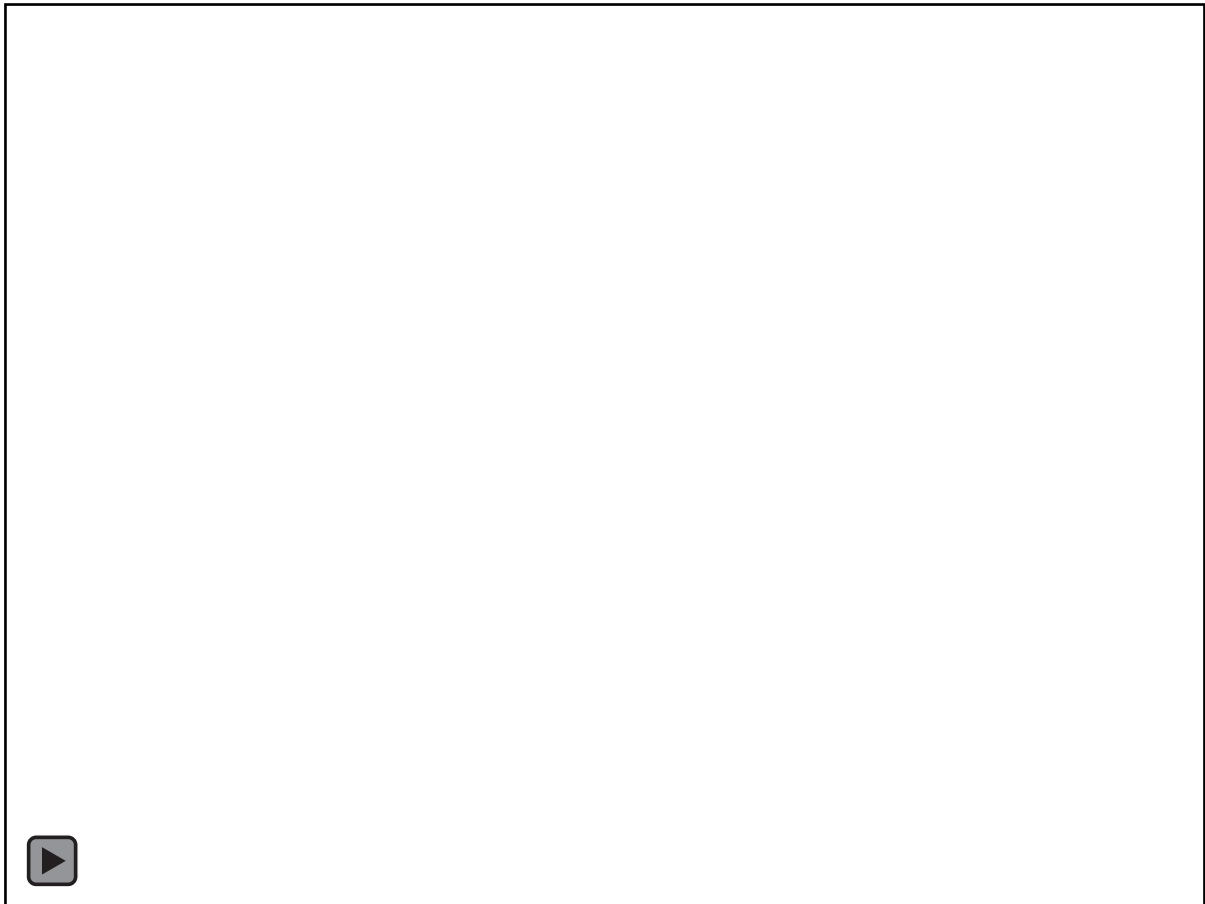


Obr. 8 Blokové schéma logického automatu

Logická funkce, kterou automat realizuje, je uložena v paměti ve formě programu, který může být běžnými prostředky výpočetní techniky zapisován, editován, měněn. Navíc celý vývoj logické funkce je zde podporován řadou programů umožňujících testování jednotlivých vstupních a výstupních proměnných, ladění, "krokování" programu, výpisy stavů atd. Výsledná logická funkce - odladěný program - se pak často ukládá do nemazatelné paměti (ROM - read only memory).

Pro vstup a výstup logických proměnných je automat vybaven deskami pro zpracování signálů různých napěťových úrovní, změnovými kartami, kontaktními výstupy, polovodičovými výstupními spínači, kartami pro řízení krokových motorů apod.

Logické řízení zajišťuje i běžný číslicový počítač - zejména specializovaný řídicí počítač. I zde je realizace logického řízení podporována účinnými programovacími prostředky.



Animce 1.1 *Příklad logického řízení*



2 PŘEDNÁŠKOVÝ TEXT SE VZTAHUJE K TĚMTO OTÁZKÁM

- Základní logické funkce – AND, OR, NOT.
- Minimalizace logických funkcí pomocí zákonů Booleovy algebry.
- Vyjádření logické funkce pomocí tabulky stavů a Karnaughovy mapy.
- Realizace logického řízení pomocí relé a pomocí hradel typu NAND.



3 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] BALÁTĚ, J. *Automatické řízení*. 2. přeprac. vyd., Praha: BEN, 2004. ISBN 80-7300-148-9.
- [2] BALDA, M., KRÁL, F. PITRA, Z. *Projektování a provoz automatizovaných systémů řízení technologických procesů*. Praha: ČVUT, 1988.
- [3] HANUŠ, B., BALDA, M. *Základy technické kybernetiky*. 1. vyd., Liberec: Vysoká škola strojní a textilní, 1980.
- [4] KOTEK, Z., VYSOKÝ, P., ZDRÁHAL, Z. *Kybernetika*. Praha: SNTL, 1990.
- [5] NIEDERLINSKI, A. *Číslicové systémy pro řízení technologických procesů*. Díl I., II. Praha: SNTL, 1984.
- [6] ŠVARC, I. *Automatizace: automatické řízení*. 2. dopl.vyd., Brno: CERM, 2005. ISBN 80-214-2943-7.
- [7] TOMIS, L. a kol.: *Automatizované systémy řízení technologických procesů v hutnictví*. 2. vyd., Ostrava: Vysoká škola báňská, 1984.
- [8] TOMIS, L., HEGER, M., BALCOVÁ, J., KADLČÍK, I. *ASŘ TP v hutích - výpočetní a laboratorní cvičení*. 1. vyd., Ostrava: Vysoká škola báňská, 1991. ISBN 80-7078-079-7.
- [9] VORÁČEK, R. *Automatizace a automatizační technika*. 2, Automatické řízení. 1. vyd., Brno: CP Books, 2005. ISBN 80-251-0796-5.

