

Ladislav Šmejkal

# PLC a automatizace

2. díl

Sekvenční logické systémy a základy fuzzy logiky



Ladislav Šmejkal

## **PLC A AUTOMATIZACE**

### **2. díl – Sekvenční logické systémy a základy fuzzy logiky**

Bez předchozího písemného svolení nakladatelství nesmí být kterákoli část kopírována nebo rozmnožována jakoukoli formou (tisk, fotokopie, mikrofilm nebo jiný postup), zadána do informačního systému nebo přenášena v jiné formě či jinými prostředky.

Autor a nakladatelství nepřijímají záruku za správnost tištěných materiálů. Předkládané informace jsou zveřejněny bez ohledu na případné patenty třetích osob. Nároky na odškodnění na základě změn, chyb nebo vynechání jsou zásadně vyloučeny.

Veškerá práva vyhrazena.

© Ing. Ladislav Šmejkal, 2005

Nakladatelství BEN – technická literatura, Věšínova 5, Praha 10

Šmejkal Ladislav: PLC a automatizace, 2. díl

BEN – technická literatura, Praha 2005

1. vydání

**ISBN 80-7300-087-3**

# Podrobný obsah

- 1 Doporučení ke studiu**
- 2 Systémy, funkce a algoritmy  
– poznámky k terminologii  
a souvislostem**
- 3 Sekvenční logické funkce  
a systémy**
- 4 Smíšené systémy – logické  
řadiče s číslicovými  
proměnnými**
- 5 Minimum o fuzzy logice**
- 6 Závěr**

# Obsah

<b>1</b>	<b>DOPORUČENÍ KE STUDIU .....</b>	<b>9</b>
<b>2</b>	<b>SYSTÉMY, FUNKCE A ALGORITMY – POZNÁMKY K TERMINOLOGII A SOUVISLOSTEM .....</b>	<b>13</b>
<b>3</b>	<b>SEKVENČNÍ LOGICKÉ FUNKCE A SYSTÉMY .....</b>	<b>21</b>
3.1	Ke kombinačním funkcím .....	22
3.2	Význam sekvenčních funkcí .....	23
3.3	Mechanismy sekvenčního chování programu .....	27
3.3.1	Zpracování historických vzorků – vstupní paměti .....	27
3.3.2	Zpětné vazby .....	31
3.3.3	Standardní paměťové funkce s sekvenční funkční bloky .....	33
3.3.4	Podmíněné příkazy .....	38
3.3.5	Směr běhu programu a toku mezivýsledků – souslednost a protislednost .....	38
3.4	Intuitivní postupy .....	41
3.5	Systematické postupy .....	60
3.5.1	Kombinační automaty .....	60
3.5.2	Automaty se vstupní pamětí .....	71
3.5.3	Stavové automaty Mealyho a Mooreova typu .....	76
<b>4</b>	<b>SMÍŠENÉ SYSTÉMY – LOGICKÉ ŘADIČE S ČÍSLICOVÝMI PROMĚNNÝMI .....</b>	<b>89</b>
4.2	Smíšený systém s jedním vstupem .....	96
4.2.1	Několik příkladů .....	96
4.2.2	Termy a určení jejich pravdivostí .....	97
4.2.3	Čísla intervalů .....	98
4.2.4	Aktivita programu .....	99
4.2.5	Vícehodnotová logická proměnná .....	102
4.2.6	Překrývající se intervaly, dvojnásobné rozhraní .....	104
4.2.7	Přechody se setrvačnou hysterezí .....	105
4.2.8	Přechody s časovým zpožděním .....	107
4.2.9	Prodloužení intervalu aktivace .....	108
4.2.10	Přechody s dopřednou hysterezí .....	109
4.2.11	Příklady vyhodnocení teploty .....	111
4.3	Jednoduché nespojitě regulátory .....	112
4.3.1	Minimum o teorii a praxi regulace .....	112
4.3.2	Dvoustavový regulátor, termostat .....	117

4.3.3	Třístavové regulátory .....	119
4.3.4	Vícestavové regulátory, regulace jednotek fan coil .....	123
4.3.5	Převodní charakteristika regulátoru .....	126
4.3.6	Regulátory s přepínáním .....	128
4.3.7	Aktivace programu regulátorů .....	131
4.3.8	Impulzní výstupy nespojitých regulátorů .....	133
4.4	Smíšený systém s dvěma a více vstupy .....	133
4.4.1	Motivace .....	133
4.4.2	Systémy se dvěma vstupy .....	133
4.4.3	Úplnost souboru pravidel a „logické díry“ .....	144
<b>5</b>	<b>MINIMUM O FUZZY LOGICE .....</b>	<b>147</b>
5.1	Důvody pro použití fuzzy logiky .....	148
5.2	Shrnutí a souvislosti .....	151
5.2.1	Dvuhodnotová logika .....	151
5.2.2	Booleova a jiné algebry .....	152
5.2.3	Binární logika a množiny .....	153
5.2.4	Vícehodnotová a fuzzy logika, fuzzy množiny .....	153
5.3	Dva motivační příklady .....	157
5.3.1	Fuzzy zobecnění logických výrazů .....	157
5.3.2	Fuzzy zobecnění smíšeného systému .....	159
5.4	Typický postup a struktura fuzzy systému .....	161
5.5	Fuzzifikace .....	164
5.6	Fuzzy zobecnění AND, OR, NOT .....	165
5.6.1	Nekonečně mnoho možností .....	165
5.6.2	Fuzzy negace .....	165
5.6.3	Fuzzy AND a OR .....	166
5.6.4	Zobecněné funkce a úpravy výrazů .....	171
5.6.5	Příklady zápisu programu .....	172
5.7	Defuzzifikace .....	175
5.8	Převodní charakteristiky, charakteristické plochy, ladění .....	177
5.9	Sekvenční a systémy ve fuzzy logice .....	192
<b>6</b>	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>199</b>
	<b>LITERATURA .....</b>	<b>200</b>
	<b>REJSTŘÍK .....</b>	<b>202</b>
	<b>INZERCE .....</b>	<b>205</b>
	<b>KONTAKTY NA PRODEJNÝ TECHNICKÉ LITERATURY .....</b>	<b>208</b>

# Předmluva

## Vážení čtenáři,

po dlouhé prodlevě (za kterou se omlouvám) vychází druhý díl učebnice PLC a automatizace, s podtitulem *sekvenční logické systémy a základy fuzzy logiky*. První díl seznamoval se základy techniky programovatelných automatů (PLC – *Programmable Logic Controllers*) v širším kontextu soudobé automatizace. Vysvětloval základy jejich programování a algoritmizace úloh logického typu. Převážná část výkladu pojednávala o kombinačních logických funkcích, jejichž výstup jednoznačně závisí na okamžité kombinaci jejich vstupních proměnných. Závěrečná kapitola velmi stručně pojednávala o realizaci paměťových členů a jednoduchých sekvenčních funkcí a popisovala instrukce čítačů a časovačů.

V technických aplikacích se ale *sekvenční funkce* vyskytují velmi často, někdy výhradně. Proto je jim věnováno první z témat této publikace, popsané v kapitole 3. Po vysvětlení základních pojmů a příčin sekvenčního chování programem realizovaných funkcí jsou shrnuty nejčastěji používané přístupy k realizaci logických funkcí. Výklad je zaměřen především na systematické postupy jejich realizace s využitím grafického aparátu konečných automatů a jazyka SFC (*Sequential Function Chart*) pro názorný popis zadání i detailního algoritmu programové realizace. Na rozdíl od tradičních učebnic navrhování logických systémů zde již není uvedena tradiční metodika dekompozice konečného automatu na síť logických členů kombinačního typu pro budicí funkce paměťových členů. Tento postup byl pro svou komplikovanost téměř nepoužitelný i při navrhování systémů s pevnou logikou a pro programování je zcela zbytečný. Nyní stačí komplexně popsat zadání celého logického systému (sekvenčního řadiče) ve formě uceleného algoritmu konečného automatu. K jeho realizaci pak může programátor využít postup, který mu nejvíce vyhovuje nebo je nejsnáze dostupný, např. naprogramovat jej jako graf v jazyce SFC, převést na posloupnost podmíněných příkazů nebo realizovat s využitím strukturovaných datových bloků. Lze najít určité podobnosti mezi různými typy algoritmů sekvenčních systémů (konečných automatů) a číslicovými systémy (v praxi převážně lineárními – číslicovými regulátory, filtry, modely). Uvádíme je zde bez podrobnějšího výkladu, pouze pro ilustraci a k pochopení souvislostí. Podrobněji se jimi bude zabývat připravovaný další díl publikace.

*Fuzzy logika* je známa již několik desetiletí, bylo o ní napsáno mnoho publikací, monografií a učebnic, ale v „širší programátorské obci“ je stále téměř neznámá a málo aplikována – ke škodě tvůrců, dodavatelů i uživatelů automatizovaných systémů. Důvod vidím v nedostatečné osvětě a neexistenci přístupné metodiky aplikací. Cílem páté kapitoly této publikace (možná nerealisticky smělým) je zpřístupnit fuzzy logiku širokému okruhu programátorů PLC i programátorům jiných systémů (PC, průmyslových počítačů a mikrořadičů), aby se stala základním prostředkem jejich práce a způsobem jejich tvůrčího myšlení. Fuzzy logika je zde chápána jako přirozené zobecnění principů dvouhodnotové (booleovské) logiky, která je v praxi rutinně využívána a bez problémů vyučována na středních školách. Věřím, že podobně lze učit a používat i základní principy fuzzy logiky. Uvědomuji si, že se zde dopouštím „brutálního“ zjednodušení a tematického zúžení. Činím tak v dobré víře, že tím usnadním průnik fuzzy logiky do rutinní programátorské praxe a do průmyslových aplika-

cí. Ostatně tradičně vyučovaná metodika navrhování logických systémů je také hrubým zjednodušením náročného oboru matematické logiky a teorie konečných automatů.

Ve většině příkladů aplikací fuzzy systémů jsou v učebnicích popisovány situace, kdy jsou logickým systémem ve fuzzy logice (inferenčním jádrem) zpracovávány spojité vstupní veličiny (často regulační odchylka a její změna u fuzzy regulátoru PI, teplota a intenzita vibrační ložiska apod.). Zpracování spojitých veličin v logickém systému ale není výsadou fuzzy logiky. Běžně a dávno se používá i u binárních logických systémů – jen se o něm mlčí. Systémům tohoto typu je proto věnována čtvrtá kapitola. Zde je pro tuto třídu systémů zavedeno pojmenování *smíšený logický systém*. V aplikacích jsou stále častější. Souvisí to upřednostňováním snímačů analogových veličin (polohy, teploty, hladiny, tlaku), namísto dosavadního používání snímačů jednotlivých hodnot sledované veličiny (např. koncových snímačů nebo snímačů přiblížení nebo snímačů prahových hodnot jiných veličin (hladiny, tlaku apod.)). Ve čtvrté kapitole je popsána podstata smíšeného systému, která je při popisu fuzzy systémů jen nenásilně zobecněna. Současně je zde zavedena česká terminologie, shodná i pro fuzzy systémy. Jsou uvedeny příklady různých příkladů řešení programu pro smíšené systémy ve dvouhodnotové logice. Zde je řešen problém ošetření přechodů na ostrých hranicích intervalů hodnot vyhodnocované veličiny a omezení neklidu (náhodného kmitání) v chování systémů (obvykle hysterezi, pásmem necitlivosti, časovou filtrací apod.).

Smíšené systémy s binární logikou lze interpretovat i jako vícehodnotové logické systémy, tj. logické systémy, které využívají *vícehodnotovou logiku*. Ta je opět zobecněním dvouhodnotové logiky a zvláštním případem fuzzy logiky. Tato interpretace dovoluje i obecnější pohled na fuzzy systémy. Vícehodnotové logické systémy jsou v literatuře opomíjeny, ale v praxi se jeví jako velmi přínosné.

Druhá kapitola má charakter úvodních poznámek k terminologii a k použitelnosti jednotlivých typů systémů.

Při psaní učebnice jsem narážel na problém, jak najít rovnováhu mezi „suchým“ teoretickým výkladem a ilustrativními příklady, případně použitelnými „prefabrikáty programů“. Dalším problémem je zajistit určitou „nadfiremnost“ – nezávislost na firmě autora a jí vyráběných systémech. Řešením je použití programovacích jazyků podle normy IEC/EN 61131-3, kterou již akceptuje většina významných výrobců PLC. Problém je ale v tom, že samotný výklad zásad této normy, popis syntaxe a sémantiky jejich jazyků by si vyžádal samostatnou a poměrně rozsáhlou publikaci a způsobil by další zdržení. Proto jsme zvolili kompromisní řešení.

Programování podle normy IEC/EN 61131 (její části 3 pro základní jazyky a části 7 pro jazyk fuzzy systémů) bude věnován další díl této učebnice. V tomto druhém dílu jsou algoritmy popisovány bez detailního popisu normy – spíše abstraktně, na úrovni logických výrazů, obvykle v syntaxi příkazů vyšších programovacích jazyků, shodné se syntaxí jazyka strukturovaného textu (ST) podle normy IEC/EN 6113-3. Tam, kde bylo potřebné uvést příklady postupů v jazyku mnemokódů, byl použit tradiční jazyk systémů Tecomat, který byl popsán a používán již v prvním dílu učebnice. Nadstandardním řešením je možnost využití domovské internetové stránky této knihy (viz tiráž) nebo na stránce mého zaměstnavatele Teco a. s.: [www.tecomat.cz](http://www.tecomat.cz). Zde lze najít další řešené příklady programů různé složitosti a z různých aplikačních oborů. Příklady zde budou postupně doplňovány. Tištěný

text učebnice tak není zatížen přemírou příkladů – zájemce si je může snadno stáhnout. Pro usnadnění práce při procvičování příkladů z učebnice, jsou jejich zdrojové texty rovněž umístěny na uvedené adrese. Postupně zde budou doplňovány i zadání cvičných úloh a jejich úspěšná řešení. Ke zpětné vazbě nabízím svou adresu pro e-mail [smejkal@tecomat.cz](mailto:smejkal@tecomat.cz) a věřím, že budu schopen včas reagovat na dotazy a náměty čtenářů.

Rád bych poděkoval Ing. Lubošovi Urbanovi za vygenerování a vytištění grafů pravdivostí základních funkcí fuzzy logiky v systému Matlab a Ing. Filipu Šibravovi za naprogramování a zdokumentování ilustrativních příkladů fuzzy systémů ve stejném systému.

Čtenářům přeji pohodu při studiu knihy a tvořivou hravost při ověřování příkladů a při řešení úloh. Věřím, že v knize naleznou inspiraci pro výuku nebo pro svou programátorskou praxi.

Ladislav Šmejkal,  
[smejkal@tecomat.cz](mailto:smejkal@tecomat.cz)

V Praze 26. 11. 2005