


ŘÍZENÍ A REGULACE pro strojírenství a mechatroniku

Prof. Dr. Ing. DIETMAR SCHMID A KOLEKTIV



OBSAH

EUROPA - SOBOTÁLES 
Praha 2005

Český překlad 9. německého vydání úspěšné příručky nabízí obsáhlý souhrn informací týkajících se řízení a regulace elektrických, hydraulických a pneumatických pohonů. Základem knihy je 7 kapitol zabývajících se řízením strojů a zařízení a tyto kapitoly tvoří převážný obsah knihy. Jedná se o tato témata: řízení a regulace a vyšší formy řízení, základy řídicí techniky, snímače, regulace, číslicová řídicí technika, roboty, montáž a demontáž. Na tyto kapitoly navazuje 6 doplňujících témat: využití počítačů při výrobě, řízení jakosti, provozní servis, management, práce a ochrana zdraví a informační a komunikační technika. Text knihy doplňuje velké množství barevných obrázků, schémat a tabulek. Pro české vydání byl výklad doplněn a aktualizován tak, aby pokud možno odpovídal platným zákonům a normám ČSN.

Knihy je určena pro odborné vzdělávání ve strojních a elektronických oborech a pokrývá tematicky odbornou výuku v oboru mechatronik. Kromě využití na příslušných SOU, ISS a SPŠ bude kniha dobrou pomůckou i pro odborníky v praxi, pracovníky různých provozů automatizace, ale i pro studenty technických vysokých škol.

Autorský kolektiv:

Prof. Dr. – Ing. Dietmar Schmid (vedoucí), Dipl. – Ing. Albrecht Baumann, Dipl. – Ing. Hans Kaufmann, Dipl. – Ing. Hans Paetzold, Dipl. – Ing. Bernhard Zippel

Zpracování obrazových příloh:

Grafické studio nakladatelství Europa – Lehrmittel, Leinfelden – Echterdingen

Z německého originálu *Steuern und Regeln für Maschinenbau und Mechatronik* (9. vydání z r. 2003) přeložil: RNDr. Jiří Handlíř, CSc.

Odborná revize a doplňky překladu:

Ing. Jaromír Čížek, RNDr. Jiří Handlíř, CSc.

© 2003 by Verlag Europa – Lehrmittel, Nourney, Vollmer GmbH & Co., 42781 Haan – Gruiten (Germany)

All rights reserved

Translation © RNDr. Jiří Handlíř, CSc., 2005

ISBN 80–86706–10–9

Předmluva k 9. německému vydání

Řízení a regulace pro strojírenství a mechatroniku spojuje poznatky z mechaniky, pneumatiky, hydrauliky, elektrotechniky, elektroniky, komunikační a výpočetní techniky do nového a velmi aktuálního vědeckotechnického oboru, a to **mechatroniky**. S 9. vydáním dochází v učebních i studijních oborech k rozšíření výuky o montážní techniky, provozní servis a ochranu zdraví při práci. Je také např. probírán v přiměřeném rozsahu Evropský předpis o strojích. Tím se rozšiřuje i náplň výuky mechatroniky.

Učebnice orientovaná na praxi se orientuje na všechny zájemce o spojení řídicí a regulační techniky s moderní informační a komunikační technikou, kteří si chtějí dále rozšiřovat vzdělání.

Učebnice je vhodná k prohloubení vzdělání studujících, ale i mistrů a žáků učebních oborů, k výuce na středních průmyslových školách i na odborných učilištích, ale i k doplnění vzdělání studentů vysokých škol. Kniha může být také cennou pomůckou odborníkům v praxi, kteří se zabývají problémy řízení a kontroly výrobních procesů nebo také řízením jakosti.

Kniha je tématicky rozdělena do těchto oblastí:

- **Řízení, regulace a vyšší formy řízení**
(definování pojmů)
- **Základy řídicí techniky**
(mechanické, elektrické, pneumatické, elektro-pneumatické, hydraulické, elektronické binární a číslicové a programovatelné řídicí systémy a také pohony)
- **Snímače**
- **Regulace**
- **Číslicová řídicí technika**
- **Roboty**
- **Montáž a demontáž**
- **Využití počítačů při výrobě**
- **Řízení jakosti**
- **Provozní servis**
- **Management**
- **Práce a ochrana zdraví**
- **Informační a komunikační technika**

Jednotlivé kapitoly jsou poměrně samostatné, takže mohou být probírány v odlišném pořadí nebo v upraveném rozsahu. Kniha tak nabízí pro výuku rozmanitý výběr uspořádání obsahu a stanovení priorit mezi tématy. Autoři knihy jsou inženýři a vyučující, kteří do knihy vložili své odborné i metodické zkušenosti. Nakladatelství i autoři předem děkují za podnětné připomínky, směřující k aktualizaci dalšího vydání.

Počátek roku 2003

Dietmar Schmid

Předmluva k českému vydání

Vydávaná kniha je na českém knižním trhu tematicky ojedinělá a je momentálně jedinou středoškolskou učebnicí a praktickou příručkou zabývající se regulací a řídicími systémy s pneumatickými a hydraulickými řídicími a pohonnými jednotkami. Kniha je ideální učebnicí pro obor **mechatronik**.

Názvosloví je v českém vydání přizpůsobeno pojmům zavedeným českými normami. Německé normy DIN a německé zkratky jsou uváděny jen v případech, kdy neexistuje český ekvivalent. Německé výpisy počítačových programů byly nahrazeny českými výpisy (pokud existuje programové vybavení v české verzi) nebo výpisy původních anglických verzí. Předpisy německých zákonných norem byly nahrazeny ustanoveními obdobných českých zákonů (např. Zákoníku práce).

Kniha některými tématy (regulace) a rozsahem některých témat (hydraulika a pneumatika) přesahuje rámec běžného učiva střední odborné školy a je pro svůj encyklopedický charakter (názorné obrázky, tabulky a grafy) dobrou pomůckou i studentům technických vysokých škol a odborníkům z praxe.

Protože přehledná kniha tohoto zaměření na českém trhu dosud chyběla, jsme přesvědčeni, že bude dobře přijata studenty, vyučujícími i odbornou veřejností.

Brno, Praha, leden 2005

RNDr. Jiří Handlíř, CSc. a nakladatelství

Obsah

1. Řízení, regulace a vyšší formy řízení			
1.1 Řízení a řídicí systémy	7		
1.1.1 Analogové, binární a číslicové řízení	7		
1.1.2 Logické (kombinační) a sekvenční řídicí systémy	9		
1.1.3 Propojením nastavitelné a paměťové řídicí systémy	10		
1.2 Regulace a regulační systémy	10		
1.3 Vyšší formy řízení	11		
2. Základy řídicí techniky			
2.1 Mechanické řízení	12		
2.1.1 Obecné pojmy	12		
2.1.2 Přestavitelné převody	13		
2.1.2.1 Stupňovaná převodovka	13		
2.1.2.2 Plynule přestavitelné převodovky (variátory)	14		
2.1.3 Nelineární převody	17		
2.1.4 Převody s přerušovaným pohybem	19		
2.2 Elektrické řízení	20		
2.2.1 Konstruktivní prvky elektrického kontaktního řízení	20		
2.2.2 Elektrická schémata kontaktního řízení	32		
2.2.3 Základní obvody elektrického kontaktního řízení	33		
2.2.4 Programové řízení	35		
2.2.4.1 Postupný diagram činnosti a stavový diagram funkčních jednotek	36		
2.2.4.2 Funkční schémata programového řízení	37		
2.2.5 Součástky pro elektroniku	41		
2.2.6 Elektrické akční jednotky	45		
2.2.6.1 Elektromagnety a elektromagnetické spojky	45		
2.2.6.2 Trojfázové motory	46		
2.2.6.3 Trojfázové motory s elektronickou komutací	53		
2.2.6.4 Stejnoseměrné motory	57		
2.2.6.5 Krokové motory	60		
2.3 Pneumatické řízení	61		
2.3.1 Vlastnosti pneumatických pohonů	61		
2.3.2 Konstrukce pneumatického zařízení	62		
2.3.3 Výroba stlačeného vzduchu	64		
2.3.3.1 Kompresory	64		
2.3.3.2 Rozvod stlačeného vzduchu	67		
2.3.3.3 Úpravy stlačeného vzduchu	69		
2.3.4 Pneumatické pohony	70		
2.3.4.1 Pneumatické motory	70		
2.3.4.2 Otáčivé a kyvné pneumatické motory	73		
2.3.4.3 Pneumatický válec	73		
2.3.4.4 Parametry pneumatických válců	77		
2.3.5 Ventily a základní principy řízení	79		
2.3.5.1 Zobrazování ventilu	79		
2.3.5.2 Cestné ventily	81		
2.3.5.3 Průtokové ventily	84		
2.3.5.4 Blokovací ventily	85		
2.3.5.5 Tlakové ventily a uzavírací ventily	87		
2.3.6 Schéma zapojení pneumatického ovládání	88		
2.3.7 Funkční diagramy	90		
2.3.7.1 Pohybový diagram	91		
2.3.7.2 Stavový diagram	91		
2.3.8 Proporcionální řízení	94		
2.3.8.1 Proporcionální tlakové regulační ventily	94		
2.3.8.2 Proporcionální cestné ventily	95		
2.3.9 Příkladů pneumatického řízení	97		
2.3.10 Elektropneumatické řízení	100		
2.3.11 Hydropneumatické řízení	105		
2.4 Hydraulické řízení	108		
2.4.1 Základní pojmy a využití	108		
2.4.2 Fyzikální základy	108		
2.4.3 Hydraulické kapaliny	111		
2.4.4 Skladba hydraulických řídicích systémů	112		
2.4.5 Hydraulická čerpadla	113		
2.4.5.1 Zubová čerpadla	113		
2.4.5.2 Šroubová čerpadla	114		
2.4.5.3 Lopatková komorová čerpadla	115		
2.4.5.4 Pístová čerpadla	115		
2.4.6 Hydraulické zásobníky	118		
2.4.7 Jednotky hydraulických pohonů	120		
2.4.8 Hydraulické ventily	124		
2.4.8.1 Tlakové ventily	125		
2.4.8.2 Cestné ventily	128		
2.4.8.3 Blokovací ventily	129		
2.4.8.4 Průtokové ventily	130		
2.4.8.5 Spojité ventily	133		
2.4.8.6 Proporcionální ventily	134		
2.4.8.7 Servoventily	141		
2.4.9 Příkladů řízení hydraulických pohonů	143		
2.5 Binární a digitální řízení	145		
2.5.1 Binární kódy	145		
2.5.2 Kódy BCD	146		
2.5.3 Binární logické operace	147		
2.5.4 Booleova algebra	150		
2.5.5 Logické kombinační řízení	151		
2.5.6 Návrhy kombinačních logických obvodů	153		
2.5.7 Logické sekvenční řízení	158		
2.5.8 Číslicové paměti	165		
2.6 Bezpečnostní opatření u elektrických zařízení	170		
2.7 Elektromagnetická kompatibilita (EMC)	172		
2.8 Programovatelné automaty (PA)	174		
2.8.1 Konstrukce a funkce PA	174		
2.8.2 Programování	177		
2.8.2.1 Programovací jazyky	177		
2.8.2.2 Vytvoření programu	179		
2.8.3 Základní funkce	181		
2.8.3.1 Binární logické funkce	181		
2.8.3.2 Paměťové funkce SR/RS	181		
2.8.3.3 Spojovací paměť a přiřazení hodnot	186		
2.8.3.4 Vyhodnocování hran signálu	186		
2.8.4 Časovače (časové funkce)	187		

2.8.5	Čítače (čítačové funkce)	188	5.1.1.5	Upínače	246
2.8.6	Sekvenční řízení	190	5.1.2	Pružné výrobní systémy	247
2.8.6.1	Členění a zobrazení	190	5.2	Numerické řízení	250
2.8.6.2	Příklad sekvenčního řízení	191	5.2.1	Úvod a přehled	250
2.8.6.3	Programování v jazyce blokových schémat	194	5.2.2	Interpolace	252
3.	Snímače		5.2.3	Kompenzace chyb	253
3.1	Analogové snímače	196	5.2.4	Řízení pohybů a plánování dráhy	254
3.1.1	Snímače dráhy, úhlu, vzdálenosti a tloušťky materiálu	196	5.2.5	Koncepce rámu a transformace souřadnic	256
3.1.2	Snímače rychlosti	203	5.2.6	Komunikace obsluhy se strojem	257
3.1.3	Snímače napětí, síly, točivého momentu a tlaku	204	5.2.7	Soustavy souřadnic a směry pohybu	258
3.1.4	Snímače zrychlení	206	5.2.8	Vztažné body, nulové body	260
3.1.5	Snímače teploty	207	5.2.8.1	Nulové body	260
3.2	Binární snímače	209	5.2.8.2	Vztažné body	261
3.3	Číslicové snímače	211	5.2.9	Obslužný panel a druhy provozu	262
3.3.1	Inkrementální snímače dráhy	211	5.3	Programování NC–strojů	265
3.3.2	Kódová pravítka a kódové úhlooměry	213	5.3.1	Organizace programování	265
4.	Regulace		5.3.2	Kótování výkresů	266
4.1	Základní pojmy	215	5.3.3	Struktura programu	267
4.2	Druhy regulace	216	5.3.4	Absolutní a relativní programování	269
4.3	Členy regulačních obvodů	218	5.3.5	Druhy interpolace	269
4.3.1	Proporcionální člen bez zpoždění (P–člen)	218	5.3.6	Korekce podle nástroje	271
4.3.2	Proporcionální člen se zpožděním 1.řádu (PT ₁ –člen)	219	5.3.6.1	Korekce podle nástroje při frézování	271
4.3.3	Proporcionální člen se zpožděním 2.řádu (PT ₂ –člen) a kmitavý člen	220	5.3.6.2	Korekce podle nástroje při soustružení	273
4.3.4	Integrační člen (I–člen)	223	5.3.7	Přesuny vztažného bodu	276
4.3.5	Derivační člen (D–člen)	224	5.3.8	Podprogramy a pracovní cykly	278
4.3.6	Zpožďovací člen (T _Z –člen)	224	6.	Roboty	
4.3.7	Součinnost více tvarovaných členů	226	6.1	Druhy robotů	280
4.4	Regulátory a regulační obvody	227	6.2	Kinematická konstrukce robotů	282
4.4.1	Spínací regulátory	227	6.3	Pohony robotů	285
4.4.2	Analogové regulátory	228	6.4	Uchopovací moduly svíracího typu, úchopy robotů	286
4.4.3	Číslicová regulace	230	6.5	Programování robotů	287
4.4.3.1	Digitalizace a vzorkování signálu	230	6.5.1	Metody programování	287
4.4.3.2	Regulační algoritmus	231	6.5.2	Souřadnicové systémy	290
4.4.4	Regulace P–systémů	34	6.6	Řízení robotů	292
4.4.5	Regulace I–systémů	235	6.6.1	Určování dráhy pohybu	292
4.4.6	Nastavení regulátoru	237	6.6.2	Nastavení v osách robotu	293
4.5	Regulace polohy u NC strojů	238	6.6.3	Interpolace	294
4.5.1	Kaskádová regulace	238	6.6.4	Zaoblení a kmitání	295
4.5.2	Přednastavení rychlosti	239	6.6.5	Senzorové navádění robotů	296
4.5.3	Analogová a číslicová regulace otáček	240	6.7	Bezpečnostní opatření	299
5.	Číslicová řídicí technika		7.	Montáž a demontáž	
5.1	Číslicově řízené stroje a výrobní systémy	241	7.1	Základy	300
5.1.1	Nástroje a upínače	242	7.2	Materiálové toky	303
5.1.1.1	Revolverová nástrojová hlava	242	7.2.1	Sklady	303
5.1.1.2	Zásobníky nástrojů	243	7.2.2	Mezisklady	304
5.1.1.3	Kódové označování nástrojů	244	7.2.3	Násypné zásobníky	305
5.1.1.4	Přednastavení nástrojů	245	7.2.4	Uspořádané zásobníky	306
			7.2.5	Dopravní systémy	307
			7.3	Spojování při montáži	310
			7.3.1	Šroubové spoje	310
			7.3.2	Tvarování	310
			7.3.3	Lepení a tmelení	312

7.3.4	Svařování a pájení	312	10.6	Diagnostika poruch	354
7.3.5	Skládání	315	10.7	Opravy	355
7.3.6	Smršťování	316			
7.4	Montážní pracoviště	316	11.	Management	
7.4.1	Ruční montáž	316	11.1	Úkoly vedení	356
7.4.2	Strojní montáž	317	11.2	Výrobní management (řízení podle výrobků)	357
7.5	Organizace montáže	318	11.3	Výrobní management s podporou počítače	358
7.5.1	Topologie	318	11.4	Modely procesů	360
7.5.2	Průběh montáže	318	11.5	Projektové řízení (projektový management)	362
			11.6	Informační management (informační řízení)	363
8.	Využití počítačů při výrobě		11.7	Nástroje plánování	365
8.1	Konstrukce s podporou počítače (CAD)	321	11.8	Moderování (řízení diskuse)	371
8.1.1	Programy CAD	322	11.9	Prezentace	371
8.1.2	Vnitřní reprezentace geometrických modelů	322	11.9.1	Grafická prezentace výsledků	372
8.1.3	Pracovní techniky	324	11.9.2	Prezentační program PowerPoint	373
8.2	Plánování s podporou počítače (CAP)	328	12.	Práce a ochrana zdraví	
8.3	Výroba s podporou počítače (CAM)	329	12.1	Člověk jako měřítko	374
8.4	Systémy CAD/CAM	330	12.2	Uspořádání pracoviště	375
8.5	Plánování produkce a řízení (ERP) ..	333	12.3	Pracovní zatížení	378
8.6	Souřadnicové měřicí systémy	333	12.3.1	Pracovní zatížení druhem práce	378
8.7	Získávání provozních dat	335	12.3.2	Pracovní zatížení rozvrhem práce	379
			12.4	Evropská směrnice pro strojní zařízení	381
9.	Řízení jakosti		12.4.1	Hlediska posouzení bezpečnosti a ochrany zdraví při práci	381
9.1	Jakost		12.4.2	Označování strojů a návod k obsluze ..	383
9.1.1	Parametry jakosti	336	12.5	Evropské bezpečnostní normy	384
9.1.2	Vady výrobku	337			
9.2	Cíle řízení jakosti	338	13.	Informační a komunikační technika	
9.3	Řízení podle jakosti (TQM)	338	13.1	Výpočetní technika	385
9.4	Pyramida jakosti a kruh jakosti	339	13.1.1	Konstrukce osobního počítače	385
9.5	Struktura a prvky systému řízení jakosti	340	13.1.2	Objektově orientované programování ..	388
9.5.1	Struktura řízení jakosti	340	13.1.3	Výměna dat	391
9.5.2	Časová organizace řízení jakosti	341	13.2	Komunikační technika	395
9.5.3	Příručka jakosti	341	13.2.1	ISDN	395
9.5.4	Normy ČSN EN ISO 9000–9004	342	13.2.2	Lokální komunikace	398
9.5.5	Certifikace	343	13.2.3	Internet a Intranet	399
9.6	Statistická kontrola jakosti	343	13.2.4	Lokální síť (LAN)	402
9.6.1	Analýza procesu	344	13.2.4.1	Ethernet	403
9.6.2	Záznamové karty pro sledování kvality ..	346	13.2.4.2	Sítě ATM	404
9.6.3	Přesnost výrobních strojů a procesů ..	347	13.2.5	Průmyslové sběrnice	405
			13.2.5.1	Sběrnice CAN-Bus	405
10.	Provozní servis		13.2.5.2	PROFIBUS, PROFIBUS-DP	406
10.1	Základní pojmy	348	13.2.5.3	Aktor-Sensor-Interface (AS-I)	407
10.2	Údržba	350	13.2.5.4	Interbus-S	408
10.3	Revize	352	13.2.6	Sériové rozhraní V.24	409
10.4	Udržovací servis	353			
10.5	Uvádění do provozu	354	Věcný rejstřík		411