

OBSAH

1 Měřicí technika	7
1.1 Rozdělení a úkoly měřicí techniky	7
1.2 Uspořádání měření	8
1.3 Základní pojmy z měřicí techniky	8
1.4 Měřicí řetězce	9
1.4.1 Statická charakteristika měřicího přístroje	11
1.4.2 Uživatelská charakteristika měřicího přístroje	14
1.4.3 Rovnováha sil (momentů) na přístroji	14
1.5 Statické vlastnosti přístrojů	15
✧ 1.5.1 Přesnost a chyby měřicích přístrojů	15
✧ 1.5.2 Citlivost měřicích přístrojů	17
1.5.3 Spolehlivost měřicích přístrojů	17
1.5.4 Životnost měřicích přístrojů	18
1.6 Dynamické vlastnosti měřicích přístrojů	19
1.6.1 Přejíhlová charakteristika	19
1.6.2 Lineární charakteristika	20
1.6.3 Frekvenční charakteristika	21
1.7 Informační vlastnosti	22
1.7.1 Informační obsah měřicích přístrojů	22
1.7.2 Informační kapacita měřicích přístrojů	23
1.7.3 Informační kapacita měřených veličin	24
✧ 1.8 Nejistoty měření	24
1.8.1 Standardní nejistota u_A (přímé měření jedné veličiny)	25
1.8.2 Standardní nejistota u_B (přímé měření jedné veličiny)	25
1.8.3 Kombinovaná standardní nejistota přímého měření	26
1.8.4 Standardní nejistota u_A při nepřímém měření	26
1.8.5 Standardní nejistota u_B při nepřímém měření	26
1.8.6 Udávání nejistot	26
2 Elektronické vyhodnocovací obvody	29
2.1 Můstkové metody	29
2.1.1 Napájení můstků	29
2.1.2 Stejnosměrné můstky	30
2.1.2.1 Vyvážený můstek	30
2.1.2.2 Nevyvážené můstky	31
2.1.3 Střídavé můstky	34
2.1.4 Diferenciální můstky	34
2.2 Elektronické obvody	36
3 Optoelektronické senzory	38
3.1 Optické vláknové senzory	38
3.1.1 Základní pojmy	38
3.1.2 Rozdělení optických vláknových senzorů	40
3.2 Integrované polovodičové snímače obrazu	42
3.2.1 PSD senzory	42
3.2.2 CCD senzory	44
3.2.2.1 Řádkový senzor CCD	44
3.2.2.2 Plošné senzory CCD	45

4 Měření teploty a tepla	47
4.1 Základní pojmy z oblasti měření teploty	47
4.2 Rozdělení teploměrů	48
4.3 Dilatační teploměry	49
4.3.1 Tyčové teploměry	49
4.3.2 Bimetalické teploměry	50
4.3.3 Skleněné teploměry	51
4.3.4 Tlakové teploměry kapalinové	53
4.3.5 Tlakové teploměry plynové	54
4.4 Tlakové teploměry parní	54
4.5 Odporové teploměry	55
4.5.1 Materiál a provedení čidel odporových teploměrů	56
4.5.2 Konstrukce odporových teploměrů	58
4.5.3 Měření elektrického odporu	58
4.5.4 Iontové teploměry	60
4.5.5 Krystalové teploměry	60
4.6 Termoelektrické teploměry	61
4.6.1 Zapojení termoelektrických teploměrů	61
4.6.2 Měření termoelektrického napětí	63
4.6.3 Konstrukce termoelektrických teploměrů	64
4.7 Speciální dotykové teploměry	65
4.7.1 Barevné indikátory teploty	66
4.7.2 Optoelektronické snímače teploty	67
4.8 Zabudování dotykových teploměrů	68
4.8.1 Měření teploty kapalin a plynů	68
4.8.2 Měření teploty těles	70
4.9 Bezdotykové teploměry	70
4.10 Pyrometry	70
4.10.1 Monochromatické pyrometry	70
4.10.2 Pásmové pyrometry	72
4.10.3 Pyrometry na spektrální rozložení	73
4.10.4 Pyrometry na celkové záření	74
4.11 Fotografické měření teploty	75
4.12 Termovizní systémy	75
4.13 Měření tepelného výkonu a tepla	75
4.13.1 Měřič tepla ve vodní tepelné síti	76
4.13.2 Měřič tepla v parní tepelné síti	76
4.13.3 Poměrové měřiče tepla	77
5 Měření polohy a vzdálenosti	78
5.1 Analogové snímače polohy	78
5.1.1 Odporové snímače	78
5.1.1.1 Potenciometrický snímač	78
5.1.2 Indukčnostní snímače	80
5.1.2.1 Parametrický snímač s malou vzduchovou mezerou	81
5.1.2.2 Transformátorový diferenciální snímač	83
5.1.2.3 Selsyny	84
5.1.2.4 Snímače na principu vířivých proudů	90
5.1.3 Kapacitní snímače	91
5.1.4 Laserové interferometry	93

5.2	Číslicové snímače polohy	95
5.2.1	Inkrementální snímače polohy	95
5.2.2	Absolutní snímače polohy	98
5.3	Proximitní snímače	98
5.3.1	Proximitní optický snímač	99
5.3.2	Proximitní ultrazvukový snímač	99
5.3.3	Proximitní indukční snímače	100
5.3.4	Proximitní kapacitní snímače	100
5.4	Diskrétní snímače polohy	101
6	Snímače síly a momentu	102
6.1	Snímače síly	102
6.1.1	Odporový tenzometr	102
6.1.2	Tenzometrické snímače	108
6.1.3	Snímače síly s převodem deformace na polohu	111
6.1.4	Snímač na principu magnetostrikce	112
6.1.5	Snímač na principu magnetoanizotropie	113
6.1.6	Piezoelektrické snímače síly	114
6.1.7	Kapacitní snímače síly	115
6.1.8	Snímače síly na bázi vodivého elastomeru	115
6.2	Snímače momentu	116
6.2.1	Tenzometrický snímač momentu	116
6.2.2	Kapacitní snímač momentu	117
7	Měření tlaku a výšky hladiny	118
7.1	Měření tlaku	118
7.1.1	Základní pojmy	118
7.1.2	Zvonové tlakoměry	119
7.1.2.1	Zvonový tlakoměr s účinkem vztlaku	119
7.1.2.2	Zvonový tlakoměr bez účinku vztlaku	120
7.1.3	Kapalinové tlakoměry	120
7.1.3.1	U-trubicové tlakoměry	121
7.1.3.2	Nádobkové tlakoměry	121
7.1.3.3	Mikromanometr se sklopnou trubicí	122
7.1.3.4	Kompresní Mac Leodův vakuometr	123
7.1.4	Pístové tlakoměry	123
7.1.5	Deformační tlakoměry	125
7.1.5.1	Trubicové tlakoměry (Bourdonské)	126
7.1.5.2	Membránové tlakoměry	127
7.1.5.3	Krabicové tlakoměry	129
7.1.5.4	Vlnovcové tlakoměry	130
7.1.5.5	Inteligentní vysílače tlaku a tlakové difference	130
7.1.6	Elektrické tlakoměry	132
7.1.6.1	Elektrické vakuometry	132
7.1.6.2	Odporový tlakoměr	133
7.1.7	Zabudování tlakoměrů	133
7.1.8	Ověřování tlakoměrů	135
7.2	Měření výšky hladiny	136
7.2.1	Průhledové stavoznaky	136
7.2.2	Plovákové stavoznaky	136
7.2.3	Hydrostatické stavoznaky	137
7.2.4	Pneumatické stavoznaky	138

7.2.5 Elektrické stavoznaky	138
7.2.5.1 Vodivostní snímače	138
7.2.5.2 Termistorové snímače	139
7.2.5.3 Kapacitní snímače	139
7.2.6 Radioizotopové hladinoměry	140
7.2.7 Ultrazvukové hladinoměry	140
7.2.8 Radarové hladinoměry	141
7.2.9 Vibrační snímače a elektromechanické systémy	141
7.2.10 Provedení hladinoměrů	142
8 Měření průtoku a množství tekutin	143
8.1 Základní pojmy	143
8.2 Objemová měřidla průtoku a proteklého množství	143
8.2.1 Zvonový krychloň	144
8.2.2 Vodoměr s krouživým pístem	144
8.2.3 Oválné měřidlo	145
8.2.4 Bubnové měřidlo	146
8.3 Rychlostní měřidla průtoku a proteklého množství	146
8.3.1 Rychlostní sondy	147
8.3.2 Anemometry	150
8.3.3 Lopatkové a šroubové vodoměry	152
8.3.4 Turbinové průtokoměry	154
8.3.5 Vírové a vířivé průtokoměry	154
8.3.6 Tepelné průtokoměry	156
8.3.7 Ultrazvukové průtokoměry	158
8.3.8 Magnetické indukční průtokoměry	159
8.3.9 Coriolisovy hmotnostní průtokoměry	161
8.3.10 Optické vláknové průtokoměry	163
8.3.11 Průřezová měřidla průtoku - škrticí orgány	164
8.3.11.1 Zabudování škrticích orgánů	166
8.3.11.2 Návrh a výpočet škrticího orgánu	167
8.3.11.3 Vliv změn parametrů měřeného prostředí na přesnost měření	168
8.3.11.4 Měření hustoty tekutin	169
8.3.12 Plovákové průtokoměry	170
8.4 Volba typu průtokoměru	173
9 Měření vlastností kapalin a plynů	174
9.1 Měření vlhkosti plynů	174
9.1.1 Psychrometry	174
9.1.2 Hygrometry	175
9.1.3 Rosné vlhkoměry	177
9.2 Analýza kapalin	177
9.2.1 Elektrická vodivost kapalin	177
9.2.2 Koncentrace vodíkových iontů (pH)	177
9.2.3 Viskozita kapalin	178
10 Snímače otáček	181
10.1 Analogové snímače rychlosti	181
10.1.1 Mechanické otáčkoměry	181
10.1.2 Elektromagnetické otáčkoměry	181
10.1.3 Tachodynamo	182
10.1.4 Tachoalternátor	183

10.2 Impulsní snímače otáček	183
10.2.1 Snímač rychlosti s fotoelektrickým čidlem	183
10.2.2 Snímač rychlosti s indukčním čidlem	184
10.2.3 Snímač s Hallovou sondou	184
10.2.3 Snímač s oscilátorem a induktivní vazbou	185
10.3 Stroboskopické měření otáček	185
11 Průmyslové měřicí systémy	186
11.1. Řetězec toku informací průmyslového systému	186
11.2. Používané druhy komunikačních médií pro přenos informací o měřených veličinách	187
11.2.1. Průmyslové sběrnice typu FIELDBUS	187
11.2.2. Filozofie rozsáhlých měřicích systémů	188
11.2.3. Požadavky na řízení sběrnice z hlediska měřicího systému	189
11.2.4. Podmínky komunikace z hlediska využití přenosového kanálu	189
11.2.5. Použití inteligentních snímačů	189
11.2.6. Základní typy průmyslových měřicích systémů	190
11.3. Software pro obsluhu průmyslových měřicích systémů a pro vizualizaci	193
12 Elektromagnetická kompatibilita	194
12.1 Kapacitní rušení	195
12.2 Indukční rušení	195
12.3 Galvanické rušení	196
Literatura	200
PŘÍLOHY	201
1 Převodní tabulka jednotek teploty, délky, síly, tlaku, práce a výkonu	201
2 Důležité fyzikální konstanty	202
3 Vybrané bezrozměrové veličiny (podobnostní čísla) charakterizující proudění tekutin	202
4 Termoelektrické napětí termoelektrických článků podle IEC-ČSN 751	203
4.1 Termoelektrický článek typu T (Cu-CuNi)	203
4.2 Termoelektrický článek typu J (Fe-CuNi)	203
4.3 Termoelektrický článek typu E (NiCr-CuNi)	203
4.4 Termoelektrický článek typu K (NiCr-NiAl)	204
4.5 Termoelektrický článek typu S (Pt10Rh-Pt)	204
4.6 Termoelektrický článek typu R (Pt13Rh-Pt)	205
4.7 Termoelektrický článek typu B (Pt30Rh-Pt6Rh)	205
5 Hodnoty měřicího odporu Pt100 podle IEC-ČSN 751	206
6 Hodnoty měřicího odporu Ni100	206
7 Nomogram pro určení viskozity vody a plynů	206
8 Tabulka a nomogram pro výpočet normalizované clony	207
9 Nomogram pro určení velikosti expanzního součinitele ε pro $(p_1 - p_2)/p_1 < 0,08$	208
10 Nomogram pro určení velikosti expanzního součinitele ε pro $(p_1 - p_2)/p_1 > 0,08$.	209
11 Psychrometrická tabulka pro aspirační psychrometr	210
12 Tabulka nasyceného vlhkého vzduchu	212