

# Obsah

---

<b>Základní pojmy</b> .....	<b>11</b>
<b>1 Metrologie</b> .....	<b>12</b>
1.1 Mezinárodní metrologické organizace .....	12
1.2 Národní metrologický systém české republiky .....	12
1.3 Mezinárodní soustava jednotek SI .....	13
1.4 Etalony elektrických jednotek .....	14
1.4.1 Etalony napětí .....	15
1.4.2 Etalony odporu .....	16
1.5 Literatura .....	17
<b>2 Přesnost měření a nejistota měření</b> .....	<b>18</b>
2.1 Odchytky měření .....	18
2.1.1 Systematické odchytky, náhodné odchytky .....	19
2.2 Místa a příčiny vzniku odchylek při měření .....	21
2.3 Odchytky měřicích přístrojů .....	22
2.3.1 Odchytky analogových měřicích přístrojů .....	22
2.3.2 Třída přesnosti analogových přístrojů .....	23
2.3.3 Odchytky číslicových měřicích přístrojů .....	23
2.3.4 Standardní nejistoty typu A a B .....	25
2.3.5 Odchytky a nejistoty při nepřímých měření .....	26
2.3.6 Zápis měřených hodnot a zaokrouhlování .....	28
2.4 Literatura .....	29
<b>3 Elektromechanické měřicí přístroje</b> .....	<b>30</b>
3.1 Statické charakteristiky .....	30
3.2 Dynamické charakteristiky .....	31
3.3 Značení elektromechanických přístrojů .....	33
3.4 Magnetoelektrické měřicí ústrojí .....	33
3.4.1 Magnetoelektrické ampérmetry .....	35
3.4.2 Magnetoelektrické voltmetry .....	36
3.4.3 Magnetoelektrické galvanometry .....	37
3.4.4 Magnetoelektrický přístroj s usměrňovačem .....	37
3.4.5 Magnetoelektrický přístroj s termoelektrickým článkem .....	38
3.5 Feromagnetické měřicí ústrojí .....	39
3.5.1 Feromagnetické ampérmetry .....	40
3.5.2 Feromagnetické voltmetry .....	41
3.6 Elektrodynamické měřicí ústrojí .....	41
3.6.1 Elektrodynamické a ferodynamické wattmetry .....	43
3.7 Přístroje s indukčním ústrojím .....	45
3.8 Rezonanční měřicí přístroje .....	46
3.9 Poměrové měřicí přístroje .....	47
3.10 Literatura .....	48
<b>4 Analogové měřicí převodníky elektrických veličin</b> .....	<b>49</b>
4.1 Měřicí zesilovače .....	49
4.1.1 Operační zesilovače .....	49
4.1.2 Měřicí zesilovače ve zpětnovazebním zapojení .....	49
4.1.3 Modulační zesilovač .....	52
4.2 Měřicí usměrňovače .....	53
4.2.1 Pasivní usměrňovače .....	54
4.2.2 Usměrňovače s operačním zesilovačem .....	55
4.2.3 Řízené usměrňovače .....	55
4.3 Převodníky efektivní hodnoty na stejnosměrné napětí .....	56

4.3.1	Chyby měřicích přístrojů s usměrňovači při měření neharmonických veličin .....	58
4.3.2	Převodníky skutečné efektivní hodnoty (TRMS) .....	60
4.4	Převodníky maximální hodnoty na stejnosměrné napětí .....	61
4.5	Měřicí transformátory .....	62
4.5.1	Měřicí transformátory proudu .....	62
4.5.2	Měřicí transformátory napětí .....	64
4.5.3	Rogowskiho cívka .....	65
4.6	Převodníky pro realizaci matematických operací .....	66
4.6.1	Převodníky pro měření součtu a rozdílu .....	66
4.6.2	Převodníky pro měření součinu a podílu .....	68
4.6.3	Převodníky pro časovou integraci napětí nebo proudu .....	74
4.6.4	Logaritmický a exponenciální zesilovač .....	76
4.7	Literatura .....	77
<b>5</b>	<b>Digitalizace, číslicové zpracování a rekonstrukce signálu .....</b>	<b>78</b>
5.1	Vzorkování signálu .....	79
5.1.1	Chyby vzorkování .....	80
5.2	Analogově-číslcové převodníky .....	81
5.2.1	Chyby A/Č převodníků .....	82
5.2.2	Komparační převodníky .....	83
5.2.3	Kompenzační převodníky .....	84
5.2.4	Integrační převodníky .....	86
5.2.5	Sigma-delta převodníky .....	88
5.3	Zpracování číslicového signálu .....	89
5.3.1	Měření základních parametrů periodických signálů .....	90
5.3.2	Odhad kmitočtového spektra periodických signálů .....	91
5.4	Číslicově-analogové převodníky .....	91
5.4.1	Chyby Č/A převodníků .....	92
5.4.2	Paralelní převodníky .....	93
5.4.3	Sériové převodníky .....	95
5.4.4	Nepřímé převodníky .....	96
5.5	Číslicové měřicí přístroje a zdroje signálů .....	97
5.5.1	Číslicové multimetry .....	97
5.5.2	Zdroje signálu .....	99
5.6	Literatura .....	103
<b>6</b>	<b>Osciloskopy a spektrální analyzátoři .....</b>	<b>104</b>
6.1	Osciloskopy .....	104
6.1.2	Osciloskop a měřený obvod .....	106
6.2	Spektrální analyzátoři .....	108
6.2.1	Analogové spektrální analyzátoři .....	109
6.2.2	Číslicové spektrální analyzátoři .....	110
6.2.3	Analyzátoři signálu .....	111
6.3	Literatura .....	111
<b>7</b>	<b>Měření aktivních elektrických veličin .....</b>	<b>112</b>
7.1	Měření stejnosměrných napětí .....	112
7.1.1	Měření voltmetrem .....	112
7.1.2	Kompenzační metoda měření napětí .....	113
7.2	Měření časově proměnných napětí .....	115
7.3	Měření stejnosměrných proudů .....	117
7.4	Měření časově proměnných proudů .....	119
7.4.1	Komparátor stejnosměrného a střídavého proudu .....	119
7.5	Měření výkonu .....	120
7.5.1	Měření výkonu stejnosměrného proudu .....	121
7.5.2	Měření výkonu střídavého proudu .....	122
7.5.3	Elektronické wattmetry .....	124

7.5.4	Měření výkonu třemi voltmetry .....	124
7.5.5	Měření výkonu třemi ampérmetry .....	125
7.5.6	Přímé měření jalového výkonu .....	126
7.5.7	Měření výkonu střídavého proudu v trojfázových soustavách .....	126
7.5.8	Měření spotřeby elektrické energie.....	131
7.6	Měření kmitočtu .....	132
7.6.1	Přímé měření kmitočtu .....	132
7.6.2	Měření časového intervalu.....	133
7.6.3	Ostatní metody měření kmitočtu a času.....	134
7.7	Měření fázového posuvu .....	135
7.8	Literatura.....	137
<b>8</b>	<b>Měření pasivních elektrických veličin .....</b>	<b>138</b>
8.1	Měření odporů.....	138
8.1.1	Ohmova metoda.....	138
8.1.2	Srovnávací metoda.....	140
8.1.3	Ohmometry .....	141
8.1.4	Měření odporů velkých hodnot.....	142
8.1.5	Měření odporů malých hodnot.....	144
8.1.6	Nulové metody měření odporů .....	145
8.1.7	Měření odporu uzemnění .....	150
8.2	Měření impedancí .....	150
8.2.1	Etalony impedancí .....	152
8.2.2	Měření impedancí Ohmovou metodou .....	152
8.2.3	Měření indukčnosti wattmetrem .....	153
8.2.4	Měření impedance třemi ampérmetry.....	154
8.2.5	Měření impedance třemi voltmetry.....	155
8.2.6	Číslicové měřiče impedancí.....	156
8.2.7	Nulové metody měření impedancí.....	158
8.3	Literatura.....	161
<b>9</b>	<b>Magnetická měření.....</b>	<b>162</b>
9.1	Problémy při měření magnetických veličin .....	163
9.2	Magnetické převodníky.....	164
9.2.1	Měřicí cívka .....	165
9.2.2	Hallova sonda .....	165
9.2.3	Feromagnetická sonda .....	166
9.2.4	Rogowskiho-Chattockův potenciometr .....	168
9.2.5	Magnetorezistivní převodník .....	168
9.2.6	Převodník SQUID.....	170
9.2.7	Převodník na principu jaderné magnetické rezonance.....	172
9.3	Měření magnetických veličin ve vzduchu.....	174
9.3.1	Měření stacionárních magnetických polí.....	174
9.3.2	Měření časově proměnných magnetických polí .....	174
9.4	Měření charakteristik feromagnetických materiálů.....	175
9.4.1	Magnetizační charakteristiky feromagnetických materiálů .....	175
9.4.2	Měření magnetizačních charakteristik na uzavřených vzorcích .....	175
9.4.3	Měření magnetizačních charakteristik na otevřených vzorcích.....	177
9.4.4	Digitalizace měření magnetizačních charakteristik .....	178
9.4.5	Měření koercitivity .....	179
9.4.6	Zobrazení dynamické hysterezní křivky na osciloskopu .....	179
9.4.7	Měření charakteristik při magnetování střídavým proudem.....	180
9.5	Měření ztrát ve feromagnetiku při střídavém magnetování .....	182
9.6	Literatura.....	184
<b>10</b>	<b>Snímače a převodníky fyzikálních veličin .....</b>	<b>185</b>
10.1	Základní parametry snímačů .....	185

10.2	Snímače polohy.....	185
10.2.1	Magnetické snímače.....	185
10.2.2	Indukčnostní snímače.....	185
10.2.3	Kapacitní snímače.....	187
10.2.4	Optické snímače.....	187
10.3	Snímače mechanického napětí a síly.....	188
10.3.1	Tenzometry.....	188
10.3.2	Snímače síly a hmotnosti.....	190
10.4	Snímače tlaku.....	191
10.4.1	Deformační snímače.....	191
10.4.2	Kapacitní snímače.....	191
10.4.3	Piezoelektrické snímače.....	191
10.5	Snímače průtoku.....	191
10.5.1	Snímače objemového průtoku.....	191
10.5.2	Snímače hmotnostního průtoku.....	192
10.6	Snímače teploty.....	193
10.6.1	Odporové kovové snímače teploty.....	193
10.6.2	Termistory.....	194
10.6.3	Polovodičové snímače teploty.....	194
10.6.4	Termočlánky.....	194
10.7	Literatura.....	196
<b>11</b>	<b>Systémy pro měření, sběr a zpracování dat.....</b>	<b>197</b>
11.1	Rozdělení měřicích systémů.....	197
11.1.1	Zásuvné desky do PC.....	198
11.1.2	Sériové rozhraní RS-232-C.....	198
11.1.3	Systém IEEE 488.....	199
11.1.4	Sběrnice VME.....	201
11.1.5	Sběrnice VXI.....	201
11.1.6	Sběrnice PXI.....	203
11.1.7	Sběrnice LXI.....	203
11.1.8	Sběrnice USB.....	204
11.1.9	Wireless.....	204
11.2	Programování měřicích systémů.....	204
11.3	Literatura.....	206