

Obsah

PŘEDMLUVA	10
1. ÚVOD (Doc. Ing. Július Bajcsy, CSc.)	11
1.1. Úkoly měření	11
1.2. Definice měření	12
1.3. Měřené veličiny	12
1.4. Podmínky měření	13
1.5. Základní jednotky fyzikálních veličin	14
1.6. Metrologie a měrová služba	15
1.7. Prostředky a metody měření	16
1.8. Technika měření a výsledek měření	16
2. VYHODNOCENÍ MĚŘENÍ (Doc. Ing. Milan Jakl, CSc.)	18
2.1. Přesnost měření	18
2.2. Hodnocení elektrických přístrojů z hlediska přesnosti	23
2.2.1. Elektrické měřicí přístroje ukazovací	23
2.2.2. Číslicové měřicí přístroje	26
2.2.3. Ostatní elektrické měřicí přístroje	26
2.2.4. Třída přesnosti měřicích přístrojů	29
2.3. Určení největší možné chyby měření stanovené z dovolených chyb přístrojů a členů měřicího obvodu	31
2.3.1. Přímá měření	31
2.3.2. Nepřímá měření	33
2.4. Vyhodnocení náhodných chyb při opakovaném měření	35
2.4.1. Přímá měření	36
2.4.2. Nepřímá měření	37
2.5. Vyjádření výsledku	37
3. ANALOGOVÉ MĚŘICÍ PŘÍSTROJE A PŘEVODNÍKY (Doc. Ing. Jaroslav Hrabák, CSc.)	39
3.1. Analogové měřicí přístroje	39
3.1.1. Vlastnosti analogových měřicích přístrojů	39
3.2. Dynamické chování měřicího systému	41
3.2.1. Pohyb systému při skokové změně měřené veličiny	42
3.2.2. Pohyb otočného systému při sinusovém průběhu měřené veličiny	45
3.3. Odvození pohybového momentu M_p elektromechanického ústrojí	47
3.4. Elektromechanické systémy analogových měřicích přístrojů	48
3.4.1. Magnetoelektrické přístroje	48
3.4.2. Logometry	66
3.4.3. Přístroje s otočným magnetem	68
3.4.4. Elektromagnetické přístroje	68

3.4.5.	Elektrodynamické přístroje	74
3.4.6.	Ferodynamické přístroje	78
3.4.7.	Indukční přístroje	79
3.4.8.	Tepelné přístroje	82
3.5.	Převodníky k měření elektrických veličin	83
3.5.1.	Měřicí transformátory	83
3.6.	Měřicí zesilovače	88
3.7.	Převodníky pro měření střední, efektivní a maximální hodnoty střídavých elektrických veličin	90
3.7.1.	Převodníky pro měření střední hodnoty	90
3.7.2.	Převodníky pro měření efektivní hodnoty	101
3.7.3.	Převodníky pro měření maximální hodnoty	105
3.7.4.	Převodníky pro měření součtu a rozdílu	107
3.7.5.	Převodníky pro měření součinu	109
3.7.6.	Dělicí převodníky	111
3.7.7.	Převodníky pro měření časového integrálu	111
4.	ANALOGOVÉ ZAPISOVAČE A OSCILOSKOPY (Doc. Ing. Milan Jakl, CSc.)	113
4.1.	Analogové zapisovače	113
4.1.1.	Přímopišící zapisovače	113
4.1.2.	Bodové zapisovače	114
4.1.3.	Zapisovače se zesilovačem	115
4.1.4.	Servomechanické zapisovače	115
4.1.5.	Souřadnicové zapisovače	116
4.2.	Oscilografy a osciloskopy	116
4.2.1.	Elektromechanické oscilografy	116
4.2.2.	Elektronické osciloskopy	118
4.2.3.	Vzorkovací osciloskop	120
4.3.	Měřicí magnetofony	121
4.3.1.	Amplitudová modulace záznamu	122
4.3.2.	Frekvenční modulace záznamu	125
4.3.3.	Kódovaný záznam	126
4.4.	Záznamový přístroj s číslicovou pamětí	128
5.	ČÍSLICOVÉ MĚŘICÍ PŘÍSTROJE (Doc. Ing. Milan Jakl, CSc.)	129
5.1.	Rozdělení číslicových měřicích přístrojů	130
5.1.1.	Základní pojmy	130
5.1.2.	Kódování číslicového údaje	131
5.1.3.	Indikační součástky	132
5.2.	Čítače impulsů	133
5.3.	Stejnoseměrné číslicové voltmetry	134
5.3.1.	Kompenzační číslicové voltmetry	135
5.3.2.	Číslicové voltmetry s převodníkem napětí na čas	136
5.3.3.	Číslicové voltmetry s převodníkem napětí na frekvenci	138
5.3.4.	Číslicové voltmetry s dvojnásobnou integrací	139
5.3.5.	Číslicové voltmetry s číslicově analogovým převodníkem	140
5.3.6.	Rychlé číslicové voltmetry	141
5.4.	Číslicově analogové měřicí převodníky	142
5.5.	Číslicové měřicí systémy	145
5.5.1.	Měřicí ústředny	146

5.5.2.	Měřicí systém řízený samočinným počítačem	148
5.5.3.	Standardní propojovací soustavy měřících systémů	149
6.	METODY MĚŘENÍ AKTIVNÍCH ELEKTRICKÝCH VELIČIN (Doc. Ing. Július Bajcsy, CSc., doc. Ing. Juraj Gyárfaš, CSc.)	152
6.1.	Etalony aktivních elektrických veličin	153
6.1.1.	Etalony elektrického proudu	153
6.1.2.	Etalony elektrického napětí	153
6.2.	Klasifikace prostředků měření aktivních elektrických veličin	156
6.2.1.	Všeobecné otázky měření napětí a proudu	157
6.2.2.	Nepřímé měření napětí a proudu výchylkovými přístroji	159
6.3.	Měření napětí	160
6.3.1.	Měření napětí elektromechanickými voltmetry	160
6.3.2.	Měření napětí elektronickými přístroji	161
6.3.3.	Číslicové voltmetry	162
6.3.4.	Kompenzátory napětí	162
6.4.	Měření proudu	171
6.4.1.	Měření proudu elektromechanickými přístroji	171
6.4.2.	Měření proudu elektronickými a číslicovými přístroji	173
6.4.3.	Měření velmi malých proudů	173
6.4.4.	Měření velkých stejnosměrných proudů	174
6.4.5.	Komparátory střídavého a stejnosměrného proudu	178
6.5.	Měření výkonu a práce elektrického proudu	180
6.5.1.	Základní pojmy	180
6.5.2.	Měření výkonu stejnosměrného proudu	182
6.5.3.	Měření výkonu a energie v jednofázových sítích	183
6.5.4.	Měření výkonu a energie v trojfázové síti	190
6.6.	Měření frekvence	198
6.6.1.	Etalony frekvence	199
6.6.2.	Způsoby měření frekvence	201
6.6.3.	Měření frekvence výchylkovými metodami	201
6.6.4.	Měření frekvence srovnávací metodou	203
6.6.5.	Můstkové měření frekvence	204
6.6.6.	Číslicové měření frekvence	205
6.7.	Měření fázového postupu	206
6.7.1.	Měření fázového posunu mezi napětím a proudem	207
6.7.2.	Měření fázového posunu mezi dvěma napětími	207
6.7.3.	Měření fázového posunu osciloskopem	209
6.7.4.	Porovnávací metoda měření fázového posunu	210
6.8.	Měření základních parametrů časového průběhu střídavých veličin	211
6.8.1.	Měření okamžitých hodnot časového průběhu	211
6.8.2.	Měření činitele tvaru	212
6.8.3.	Měření činitele zkreslení	213
6.8.4.	Měření činitele výkyvu	213
7.	METODY MĚŘENÍ PASÍVNÍCH ELEKTRICKÝCH VELIČIN (Prof. Ing. Václav Fajt, DrSc.)	215
7.1.	Měření elektrického odporu	215
7.1.1.	Etalony elektrického odporu	215
7.1.2.	Měření elektrického odporu	217
7.1.3.	Měření rezistence	231

7.1.4.	Speciální případy měření odporů	233
7.2.	Měření elektrické kapacity	235
7.2.1.	Etalony elektrické kapacity	236
7.2.2.	Měření kapacity voltmetrem a ampérmetrem	237
7.2.3.	Přímoukazující měřiče kapacity	238
7.2.4.	Můstkové metody	240
7.2.5.	Můstkové měřiče kapacity	253
7.2.6.	Speciální případy měření kapacity	260
7.3.	Měření indukčnosti	263
7.3.1.	Etalony indukčnosti	266
7.3.2.	Výhylkové metody měření indukčnosti	267
7.3.3.	Můstkové měřiče indukčnosti	270
7.3.4.	Speciální případy měření indukčnosti	273
7.4.	Měření impedance a admitance	274
7.4.1.	Měření modulu (absolutní hodnoty) impedance	274
7.4.2.	Měření modulu a fáze impedance	275
8.	RUŠIVÉ VLIVY A JEJICH OMEZENÍ (Doc. Ing. Milan Jakl, CSc.)	279
8.1.	Termoelektrická napětí	279
8.2.	Přechodové odpory	279
8.3.	Svodové proudy	280
8.4.	Rušivá magnetická pole	280
8.5.	Rušivá elektrická pole	282
8.5.1.	Stínění několika spojených členů	285
8.5.2.	Ekvipotenciální stínění	286
8.5.3.	Stínění střídavých můstků Wheatstoneova typu	287
8.5.4.	Stínění střídavých můstků s indukčními děliči	288
8.5.5.	Zemnění měřicích zařízení	289
9.	MAGNETICKÁ MĚŘENÍ (Doc. Ing. Juraj Gyarfáš, CSc.)	291
9.1.	Měření indukce a intenzity stejnosměrného magnetického pole	291
9.1.1.	Integrační metody měření	292
9.1.2.	Měření indukce pomocí Hallova a Gaussova jevu	295
9.1.3.	Magnetická sonda využívající sudé harmonické	297
9.1.4.	Rotující a vibrační cívka	298
9.1.5.	Měření indukce pomocí jádrové magnetické rezonance	299
9.2.	Měření střídavého magnetického pole	300
9.3.	Měření stejnosměrných charakteristik feromagnetik	301
9.4.	Měření magnetizačních charakteristik	303
9.4.1.	Měření magnetizačních charakteristik na uzavřených vzorcích	303
9.4.2.	Měření magnetizačních charakteristik na otevřených vzorcích	306
9.5.	Měření střídavých charakteristik feromagnetických materiálů	309
9.5.1.	Permeability při střídavém magnetování	310
9.5.2.	Ztráty při střídavém magnetování	311
9.5.3.	Měření amplitudové a zdánlivé magnetizační charakteristiky	313
9.5.4.	Měření dynamické hysterezní smyčky	315
9.5.5.	Měření komplexní permeability	319
9.5.6.	Měření ztrát ve feromagnetiku	321
9.5.7.	Nedestruktivní měření ztrát	326
9.5.8.	Měření ztrát při akustických frekvencích	326
9.5.9.	Měření reverzibilní a inkrementální permeability	328

10.	MĚŘENÍ NEELEKTRICKÝCH VELIČIN ELEKTRICKÝMI METODAMI (Doc. Ing. Július Bajcsy, CSc.)	330
10.1.	Rozdělení neelektrických veličin	330
10.2.	Rozdělení snímačů	331
10.3.	Hodnocení snímačů	332
10.4.	Rozdělení elektrických metod měření neelektrických veličin	332
10.5.	Snímače neelektrických veličin	333
10.5.1.	Odporové snímače	333
10.5.2.	Indukčnostní snímače	344
10.5.3.	Kapacitní snímače	346
10.5.4.	Ionizační snímače	347
10.5.5.	Polarografické snímače	348
10.5.6.	Indukční snímače	349
10.5.7.	Piezoelektrické snímače	351
10.5.8.	Termoelektrické snímače	352
10.5.9.	Snímače světelného záření	353
10.5.10.	Potenciometrické snímače	354
11.	DÁLĀOVÁ MĚŘENÍ (Doc. Ing. Július Bajcsy, CSc.)	356
11.1.	Základní pojmy	356
11.2.	Rozdělení systémů dálkového měření	357
11.3.	Chyby systémů dálkového měření	357
11.4.	Přenosové cesty	358
11.5.	Vícenásobné využití přenosové cesty	359
11.6.	Analogové systémy dálkového měření	359
11.6.1.	Amplitudové systémy dálkového měření	359
11.6.2.	Systémy dálkového měření na delší vzdálenosti	362
11.7.	Diskrétní systémy dálkového měření	365
11.7.1.	Systémy dálkového měření s měronosným počtem impulsů	366
11.7.2.	Kódově impulsové systémy dálkového měření	366
	LITERATURA	368
	REJSTRÍK	370