

OBSAH

PŘEDMLUVA	9
1. ZÁKLADY MĚŘENÍ	11
1.0. Úvod	11
1.1. Základní pojmy	11
1.2. Měřicí metody	12
1.3. Chyby měření a neurčitost měření	13
1.3.1. Systematická chyba	14
1.3.2. Náhodná chyba	15
1.4. Neurčitost výsledku měření a její stanovení z chyb přístrojů a členů měřicího obvodu	17
1.4.1. Neurčitost výsledku přímých měření	18
1.4.2. Neurčitost výsledku nepřímých měření	21
2. ELEKTROMECHANICKÉ MĚŘICÍ PŘÍSTROJE	23
2.0. Úvod	23
2.1. Přístroje s magnetoelektrickým ústrojím	25
2.1.1. Magnetoelektrické stejnosměrné ampérmetry	27
2.1.2. Magnetoelektrické stejnosměrné voltmetry	27
2.1.3. Přístroje s usměrňovačem	28
2.1.4. Přístroje s termočlánekem	32
2.1.5. Galvanometry	33
2.2. Elektromagnetické přístroje	34
2.3. Elektrodynamické a ferodynamické přístroje	36
2.3.1. Elektrodynamické a ferodynamické wattmetry	37
2.3.2. Elektrodynamické ampérmetry a voltmetry	40
2.4. Indukční přístroje	40
2.5. Jazyčkové měřiče kmitočtu	42
2.6. Přístroje s otočným magnetem	42
2.7. Poměrové přístroje	43
3. ANALOGOVÉ MĚŘICÍ PŘEVODNÍKY ELEKTRICKÝCH VELIČIN	45
3.0. Operační zesilovač	45
3.1. Měřicí zesilovače	48
3.1.1. Zesilovač napětí (U/U zesilovač)	51
3.1.2. Napětím řízený zdroj proudu (U/I zesilovač)	52
3.1.3. Převodník proudu na napětí (I/U zesilovač)	53
3.1.4. Zesilovač proudu (I/I zesilovač)	54
3.1.5. Vliv chyby nuly reálného operačního zesilovače na vlastnosti zesilovače se zpětnou vazbou	54
3.1.6. Napěťový komparátor	55
3.2. Měřicí usměrňovače	57
3.2.1. Střední hodnota - definice a měření	57
3.2.2. Pasivní usměrňovače	58
3.2.3. Usměrňovače s operačním zesilovačem	59
3.2.4. Cize řízené usměrňovače	61
3.2.5. Užití přístrojů s usměrňovači pro měření nesinusových periodických napětí a proudů	62

3.3. Převodníky efektivní hodnoty na stejnosměrné napětí	63
3.3.1. Výpočtové převodníky skutečné efektivní hodnoty	64
3.3.2. Tepelné převodníky efektivní hodnoty	65
3.4. Převodníky maximální hodnoty na stejnosměrné napětí	67
3.5. Převodníky pro měření součtu a rozdílu elektrických veličin	68
3.5.1. Měření součtu aktivních elektrických veličin	68
3.5.2. Měření rozdílu dvou napětí	69
3.6. Převodníky pro měření součinu a podílu (násobičky a děličky)	70
3.6.1. Analogové násobičky	70
3.6.2. Analogové děličky	76
3.7. Převodníky pro měření časového integrálu napětí nebo proudu (elektronické integrátory)	77
3.7.1. Pasivní integrační členek	77
3.7.2. Elektronický integrátor	78
3.7.3. Číslcová integrace	79
4. DIGITALIZACE, ČÍSLICOVÉ ZPRACOVÁNÍ A REKONSTRUKCE MĚŘENÉHO SIGNÁLU	83
4.0. Úvod	83
4.1. Vzorkování signálu a vzorkovače	85
4.2. Kvantování signálu a analogově-číslcové převodníky	87
4.2.1. Analogově-číslcové převodníky a jejich parametry	87
4.2.2. Analogově-číslcové převodníky s postupnou aproximací	89
4.2.3. Analogově-číslcové převodníky s dvoutakní integrací	90
4.2.4. Paralelní analogově-číslcové převodníky (komparační AČP)	92
4.2.5. Sigma-delta analogově-číslcové převodníky	94
4.3. Základní algoritmy číslcového zpracování signálu využívané v měřicí technice	96
4.3.1. Měření základních parametrů periodických signálů	97
4.3.2. Měření činného výkonu	98
4.3.3. Měření frekvenčního spektra	99
4.4. Rekonstrukce signálu, číslcově analogové převodníky	99
4.4.1. Číslcově analogové převodníky užívající binární odporovou váhovou síť	100
4.4.2. Číslcově analogové převodníky užívající odporovou žebříčkovou síť R-2R	101
4.4.3. Číslcově analogové převodníky s přepínanými proudovými zdroji	103
4.4.4. Přesné číslcově analogové převodníky s šířkovou modulací	103
5. ZÁKLADNÍ ELEKTRONICKÉ MĚŘICÍ PŘÍSTROJE	105
5.0. Úvod	105
5.1. Číslcové multimetry	105
5.1.1. Typy rušení a potlačení tohoto rušení číslcovými voltmetry	108
5.2. Osciloskopy a zapisovače	113
5.2.1. Osciloskopy.	113
5.2.2. Zapisovače	138
5.3. Spektrální analyzátory a analyzátory signálu	143
5.3.1. Analogové spektrální analyzátory	146
5.3.2. Číslcové spektrální analyzátory	148
5.3.3. Analyzátory signálu I	151

5.4.	Logické analyzátory a další přístroje pro diagnostiku číslicových obvodů	151
5.4.1.	Logické analyzátory	151
5.4.2.	Další přístroje pro hledání poruch v číslicových obvodech	159
5.5.	Zdroje měřicího signálu	161
5.5.1.	Generátory harmonického průběhu	162
5.5.2.	Funkční generátory	165
5.5.3.	Pulsní generátory	167
5.5.4.	Generátory definovaného průběhu (angl. <i>arbitrary waveform generators</i>)	168
5.5.5.	Frekvenční syntezátory	169
5.6.	Měřicí přístroje se zabudovaným mikroprocesorem	171
6.	MĚŘENÍ AKTIVNÍCH ELEKTRICKÝCH VELIČIN	177
6.0.	Aktivní elektrické veličiny	177
6.1.	Měření napětí a proudu	177
6.1.1.	Etalony a referenční zdroje	177
6.1.2.	Měření stejnosměrného napětí	179
6.1.3.	Měření stejnosměrného proudu	183
6.1.4.	Měření střídavých napětí a proudů	184
6.1.5.	Měřicí transformátory proudu a napětí	189
6.2.	Měření výkonu a práce elektrického proudu	192
6.2.1.	Měření výkonu elektrického proudu	192
6.2.2.	Metody pro měření výkonu elektrického proudu	195
6.2.3.	Měření spotřeby elektrické energie	201
6.3.	Měření frekvence a času	202
6.3.1.	Definice jednotky a zdroje definované frekvence	202
6.3.2.	Číslicové měření frekvence a času	202
6.3.3.	Ostatní metody měření frekvence a času	205
6.4.	Měření fázového rozdílu	205
6.4.1.	Definice měřené veličiny	205
6.4.2.	Měření fázového rozdílu osciloskopem	206
6.4.3.	Elektronické fázoměry	207
6.4.4.	Vzorkovací metoda měření fázového rozdílu	208
6.4.5.	Ostatní metody měření fázového rozdílu	209
7.	METODY A PŘÍSTROJE PRO MĚŘENÍ PASIVNÍCH ELEKTRICKÝCH VELIČIN	211
7.0.	Pasivní elektrické veličiny	211
7.1.	Měření odporu stejnosměrným proudem	211
7.1.1.	Etalony elektrického odporu	211
7.1.2.	Měření elektrického odporu voltmetrem a ampérmetrem	212
7.1.3.	Analogové a číslicové ohmmetry	215
7.1.4.	Sériová srovnávací metoda měření odporu	219
7.1.5.	Odporové můstky	220
7.1.6.	Substituční metoda měření	223
7.2.	Měření impedancí	223
7.2.1.	Náhradní schémata reálných pasivních prvků	223
7.2.2.	Etalony kapacity, indukčnosti a odporu při napájení střídavým proudem	225
7.2.3.	Můstky pro měření impedancí	227
7.2.4.	Číslicové RLC měřiče	233
7.2.5.	Metody pro měření indukčností a kapacit ve zvláštních případech	237

8.	MAGNETICKÁ MĚŘENÍ	247
8.0.	Měření magnetických polí a parametrů feromagnetických materiálů	247
8.1.	Měření magnetického pole v nemagnetickém prostředí	248
8.1.1.	Sondy a metody pro měření stejnosměrných magnetických polí	248
8.1.2.	Měření střídavých magnetických polí	252
8.2.	Měření parametrů feromagnetických materiálů	254
8.2.1.	Měření parametrů feromagnetických materiálů při magnetování stejnosměrným proudem	254
8.2.2.	Měření parametrů feromagnetických materiálů při magnetování střídavým proudem	259
9.	SYSTÉMY PRO MĚŘENÍ, SBĚR A ZPRACOVÁNÍ DAT	271
9.0.	Rozdělení měřicích systémů a jejich struktura	271
9.1.	Standardizované sběrnice a měřicí systémy	273
9.1.1.	Měřicí systémy dle standardu IEEE 488	273
9.1.2.	Měřicí systémy využívající rozhraní RS-232-C	279
9.1.3.	Měřicí systémy na bázi zásuvných měřicích desek	282
9.1.4.	Centralizované modulární měřicí systémy	287
9.1.5.	Distribuované měřicí systémy typu FIELDBUS	291
9.2.	Programové prostředky a programování systémů pro měření, sběr a zpracování dat	293
9.2.1.	Programové prostředky	293
9.2.2.	Ovladače a knihovny podprogramů	294
9.2.3.	Vývojová prostředí pro tvorbu uživatelských aplikačních programů	295
9.2.4.	Firemní aplikační programy a uživatelské aplikační programové baliky	298
10.	SENZORY A MĚŘENÍ NEELEKTRICKÝCH VELIČIN	301
10.0.	Systémy pro měření neelektrických veličin	301
10.1.	Odporové senzory	302
10.1.1.	Odporové senzory pro měření polohy	302
10.1.2.	Odporové teploměry	303
10.1.3.	Tenzometry	306
10.2.	Kapacitní senzory	308
10.3.	Indukčnostní senzory	310
10.4.	Termoelektrické články	312
10.5.	Piezoelektrické senzory	314
10.6.	Indukční senzory	316
10.6.1.	Indukční senzory vibrací	316
10.6.2.	Indukční senzory otáček	317
10.7.	Optoelektronické senzory	318
10.7.1.	Inkrementální senzory	318
10.7.2.	Kódové (absolutní) senzory polohy	319
10.7.3.	Senzory s nábojově vázanou strukturou (CCD)	319
10.7.4.	PSD senzory	320
10.8.	Ostatní typy senzorů	321
DODATEK		323
D0.	Nejistoty měření	323
D1.	Definice základních pojmů	323
D2.	Vyhodnocení standardních nejistot přímých měření	325
D3.	Princip vyhodnocení nejistoty nepřímých měření	328
D4.	Příklad výpočtu nejistoty přímého měření	329
REJSTŘÍK		333