

OBSAH

PŘEDMLUVA	9
1. ZÁKLADY MĚŘENÍ	11
1.0. Úvod	11
1.1. Základní pojmy	11
1.2. Měřicí metody	12
1.3. Nejistoty měření	12
1.3.1. Definice základních pojmů	14
1.4. Vyhodnocení standardních nejistot přímých měření	16
1.4.1. Vyhodnocení standardních nejistot typu A	16
1.4.2. Vyhodnocení standardních nejistot typu B	16
1.5. Princip vyhodnocení nejistoty nepřímých měření	18
1.6. Příklady výpočtu nejistoty měření	19
1.6.1. Přímé měření napětí elektromechanickým voltmetrem dané třídy přesnosti	19
1.6.2. Přímé měření napětí přesným číslicovým voltmetrem	20
1.6.3. Příklady výpočtu nejistoty nepřímých měření	21
1.7. Chyba metody v teorii nejistot	22
2. ELEKTROMECHANICKÉ (ANALOGOVÉ) MĚŘICÍ PŘÍSTROJE	25
2.0. Obecný princip	25
2.1. Magnetoelektrické měřicí ústrojí	26
2.2. Elektromagnetické měřicí ústrojí	27
2.3. Elektrodynamické a ferodynamické měřicí ústrojí	27
2.4. Indukční měřicí ústrojí	28
2.5. Elektrostatické měřicí ústrojí	29
3. ANALOGOVÉ MĚŘICÍ PŘEVODNÍKY ELEKTRICKÝCH VELIČIN	31
3.0. Operační zesilovač	31
3.1. Měřicí zesilovače	33
3.1.1. Zesilovač napětí (U/U zesilovač)	36
3.1.2. Napětím řízený zdroj proudu (U/I zesilovač)	37
3.1.3. Převodník proudu na napětí (I/U zesilovač)	37
3.1.4. Zesilovač proudu (I/I zesilovač)	38
3.1.5. Vliv chyby nuly reálného operačního zesilovače na zpětnovazební obvod	38
3.1.6. Napěťové komparátory	39
3.2. Měřicí usměrňovače	40
3.2.1. Střední hodnota – definice a měření	40
3.2.2. Pasivní usměrňovače	41
3.2.3. Usměrňovače s operačním zesilovačem	41
3.2.4. Fázově řízené usměrňovače	43
3.3. Převodníky efektivní hodnoty na stejnosměrné napětí	44
3.3.1. Výpočtové převodníky skutečné efektivní hodnoty	44
3.3.2. Tepelné převodníky efektivní hodnoty	45
3.4. Převodníky maximální hodnoty na stejnosměrné napětí	46
3.5. Převodníky pro měření součtu a rozdílu elektrických veličin	47
3.5.1. Měření součtu aktivních elektrických veličin	47
3.5.2. Měření rozdílu dvou napětí	48

3.6.	Převodníky pro měření součinu a podílu (násobičky a děličky)	49
3.6.1.	Analogové násobičky	49
3.6.2.	Analogové děličky	53
3.7.	Převodníky pro měření časového integrálu napětí nebo proudu	54
3.7.1.	Pasivní integrační článek	54
3.7.2.	Elektronický integrátor	55
3.7.3.	Číslicová integrace	56
4.	DIGITALIZACE, ČÍSLICOVÉ ZPRACOVÁNÍ A REKONSTRUKCE MĚŘENÉHO SIGNÁLU	59
4.0.	Úvod	59
4.1.	Vzorkování signálu a vzorkovače	60
4.2.	Kvantování signálu a analogově-číslivé převodníky	62
4.2.1.	Analogově-číslivé převodníky a jejich parametry	62
4.2.2.	AČP s postupnou aproximací	64
4.2.3.	AČP s dvoutakní integrací	64
4.2.4.	Paralelní AČP (komparační AČP)	66
4.2.5.	Sigma-delta AČP	68
4.3.	Základní algoritmy číslicového zpracování signálu využívané v měřicí technice	71
4.3.1.	Měření základních parametrů digitalizovaných signálů	71
4.3.2.	Měření činného výkonu digitalizovaného signálu	72
4.3.3.	Měření frekvenčního spektra digitalizovaného signálu	73
4.4.	Rekonstrukce signálu, číslicově analogové převodníky	74
4.4.1.	ČAP užívající binární odporovou váhovou síť	74
4.4.2.	ČAP užívající odporovou žebříčkovou síť R-2R	75
4.4.3.	ČAP s přepínanými proudovými zdroji	76
4.4.4.	Přesné ČAP s šířkovou modulací	77
5.	ZÁKLADNÍ ELEKTRONICKÉ MĚŘICÍ PŘÍSTROJE	79
5.0.	Úvod	79
5.1.	Číslicové multimetry	79
5.1.1.	Typy rušení a jejich potlačení u číslicových voltmetrů	81
5.1.2.	Potlačení sériového rušení	82
5.1.3.	Potlačení souhlasného rušení	83
5.2.	Osciloscipy, zapisovače a záznamníky	85
5.2.1.	Osciloscipy	85
5.2.2.	Číslicové paměti dynamických dějů	100
5.2.3.	Číslicové záznamníky (dataloggery)	101
5.3.	Spektrální analyzátory a analyzátory signálu	103
5.3.1.	Analogové spektrální analyzátory	105
5.3.2.	Číslicové spektrální analyzátory	107
5.3.3.	Analyzátory signálu	109
5.4.	Logické analyzátory a další přístroje pro diagnostiku číslicových obvodů	110
5.4.1.	Logické analyzátory	110
5.4.2.	Další přístroje pro detekci poruch v číslicových obvodech	116
5.5.	Zdroje měřicího signálu	117
5.5.1.	Generátory sinusového průběhu	117
5.5.2.	Funkční generátory	119
5.5.3.	Pulsní generátory	121
5.5.4.	Generátory definovaného průběhu (arbitrary waveform generators)	122

5.5.5.	Frekvenční syntezátory	123
5.6.	Měřicí přístroje se zabudovaným mikroprocesorem	124
5.7.	Univerzální ruční měřicí přístroje	128
6.	MĚŘENÍ AKTIVNÍCH ELEKTRICKÝCH VELIČIN	131
6.0.	Aktivní elektrické veličiny	131
6.1.	Měření napětí a proudu	131
6.1.1.	Etalony a referenční zdroje	131
6.1.2.	Měření stejnosměrného napětí	132
6.1.3.	Měření stejnosměrného proudu	138
6.1.4.	Měření střídavých napětí a proudů	141
6.1.5.	Měřicí transformátory proudu a napětí	147
6.2.	Měření výkonu a práce elektrického proudu	150
6.2.1.	Měření výkonu elektrického proudu	150
6.2.2.	Metody pro měření výkonu elektrického proudu	153
6.2.3.	Měření spotřeby elektrické energie	157
6.3.	Měření frekvence a času	159
6.3.1.	Definice jednotky a zdroje definované frekvence	159
6.3.2.	Číslicové měření frekvence a času	159
6.3.3.	Vzorkovací metoda měření periody a frekvence	162
6.4.	Měření fázového rozdílu	162
6.4.1.	Definice měřené veličiny	162
6.4.2.	Měření fázového rozdílu osciloskopem	162
6.4.3.	Číslicové fázoměry	163
6.4.4.	Vzorkovací metoda měření fázového rozdílu	164
6.4.5.	Ostatní metody měření fázového rozdílu	164
7.	METODY A PŘÍSTROJE PRO MĚŘENÍ PARAMETRŮ PASIVNÍCH PRVKŮ ELEKTRICKÝCH OBVODŮ	167
7.0.	Parametry pasivních prvků elektrických obvodů	167
7.1.	Měření odporu stejnosměrným proudem	167
7.1.1.	Etalony elektrického odporu	167
7.1.2.	Měření elektrického odporu Ohmovou metodou	198
7.1.3.	Multimetr v režimu měření odporu	171
7.1.4.	Odporové můstky	172
7.1.5.	Další metody měření odporu	174
7.2.	Měření impedancí a admitancí	175
7.2.1.	Náhradní schémata reálných pasivních prvků	175
7.2.2.	Etalony kapacity, indukčnosti a odporu při napájení střídavým proudem	176
7.2.3.	Číslicové RLC měřiče	178
7.2.4.	Můstky pro měření impedancí a admitancí	180
7.2.5.	Metody pro měření indukčností a kapacit ve zvláštních případech	183
8.	MAGNETICKÁ MĚŘENÍ	189
8.0.	Měření magnetických polí a parametrů feromagnetických materiálů	189
8.1.	Měření magnetického pole v nemagnetickém prostředí	190
8.1.1.	Sondy a metody pro měření stejnosměrných magnetických polí za normálních teplot	190
8.1.2.	Měření střídavých magnetických polí	195

8.2.	Měření parametrů feromagnetických materiálů	196
8.2.1.	Měření parametrů feromagnetických materiálů při magnetování stejnosměrným proudem	196
8.2.2.	Měření parametrů feromagnetických materiálů při magnetování střídavým proudem	200
9.	SYSTÉMY PRO MĚŘENÍ, SBĚR A ZPRACOVÁNÍ DAT	209
9.0.	Úvod	209
9.1	Rozdělení měřicích systémů a jejich struktura	209
9.2.	Měřicí systémy složené z jednotlivých měřicích přístrojů	210
9.2.1.	Měřicí systémy se sběrnici dle standardu IEEE 488	210
9.2.2.	Měřicí systémy využívající rozhraní RS-232-C	214
9.2.3.	Sběrnice RS-485	215
9.2.4.	Měřicí systémy využívající rozhraní USB	216
9.2.5.	Měřicí systémy využívající rozhraní LAN	219
9.3.	Centralizované měřicí systémy na bázi měřicích modulů	220
9.3.1.	Měřicí desky a externí měřicí moduly pro systémy řízené PC	221
9.3.2.	Centralizované modulární průmyslové měřicí systémy	225
9.4.	Distribuované průmyslové měřicí systémy (FIELDBUS)	228
10.	SENZORY A MĚŘENÍ NEELEKTRICKÝCH VELIČIN	231
10.0.	Systémy pro měření neelektrických veličin	231
10.1.	Odporové senzory	232
10.1.1.	Odporové senzory pro měření polohy	232
10.1.2.	Odporové teploměry	233
10.1.3.	Tenzometry	235
10.2.	Kapacitní senzory	237
10.3.	Senzory s proměnnou indukčností	240
10.3.1.	Indukčnostní senzory	240
10.3.2.	Senzory s vířivými proudy	241
10.4.	Termoelektrické články	242
10.5.	Nábojové senzory	244
10.5.1.	Piezoelektrické senzory	244
10.5.2.	Pyroelektrické senzory	246
10.6.	Indukční senzory	247
10.6.1.	Indukční senzory vibrací	247
10.6.2.	Indukční senzory otáček	248
10.7.	Optoelektronické senzory	249
10.7.1.	Fotodioda, fototranzistor	249
10.7.2.	Inkrementální senzory polohy	249
10.7.3.	Kódové (absolutní) senzory polohy	250
10.7.4.	Obrazové senzory CCD	250
10.7.5.	Obrazové senzory CMOS	251
10.7.5.	PSD senzory	251
10.8.	Ostatní typy senzorů	252
REJSTŘÍK		255