

## OBSAH

Předmluva . . . . .	5
Přehled hlavních použitých značek . . . . .	15

### I. ÚVOD

1. Elektronické měření, jeho možnosti a stav u nás a v cizině . . . . .	17
1. 1. Použití elektronických měřicích přístrojů ve sdělovací technice	17
1. 2. Použití elektronických měřicích přístrojů v jiných oborech . .	17
1. 3. Stav elektronické měřicí techniky u nás a v cizině . . . . .	18
2. Použití elektronek v měřicích přístrojích . . . . .	19
2. 1. Přehled . . . . .	19
2. 2. Druhy elektronek pro měřicí přístroje . . . . .	20
2. 3. Volba elektronek a jejich pracovních podmínek . . . . .	22
2. 4. Základní charakteristiky elektronek . . . . .	25
2. 5. Zvláštní charakteristiky elektronek . . . . .	26
3. Důležité poznatky o obvodech . . . . .	29
3. 1. Lineární a nelineární obvody . . . . .	29
3. 2. Grafické řešení jednoduchých obvodů . . . . .	30
3. 3. Pasivní a aktivní dvojpóly . . . . .	32
3. 4. Čtyrpóly . . . . .	35
3. 5. Kladná zpětná vazba . . . . .	37
3. 6. Záporná zpětná vazba úměrná napětí . . . . .	39
3. 7. Kathodový sledovač triodový . . . . .	40
3. 8. Kathodový sledovač pentodový . . . . .	42
3. 9. Derivační a integrační obvody . . . . .	42
4. Zásadní hlediska při návrhu měřicích přístrojů . . . . .	47
4. 1. Postup při theoretickém návrhu a praktických zkouškách . .	47
4. 2. Konstrukční zásady . . . . .	47
4. 3. Dokumentace vývojové práce . . . . .	50
4. 4. Přesnost, stálost a bezpečnost činnosti . . . . .	50
4. 5. Údržba elektronických měřicích přístrojů . . . . .	52
4. 6. Kontrola a opravy . . . . .	53

## II. ELEKTRONKOVÉ PŘÍSTROJE PRO MĚŘENÍ ZÁKLADNÍCH ELEKTRICKÝCH VELIČIN

5. Stejnoseměrné voltmetry . . . . .	55
5. 1. Anodový voltmetr s pevným předpětím . . . . .	55
5. 2. Anodový voltmetr s poloautomatickým předpětím . . . . .	56
5. 3. Voltmetr bez předpětí . . . . .	58
5. 4. Kompensační voltmetr s velkou vstupní impedancí . . . . .	60
5. 5. Můstkový anodový voltmetr s jednou elektronkou . . . . .	62
5. 6. Můstkový anodový voltmetr se dvěma elektronkami . . . . .	63
5. 7. Můstkový katodový voltmetr se dvěma elektronkami . . . . .	64
5. 8. Praktický návrh můstkového katodového voltmetru . . . . .	66
6. Střídavé voltmetry . . . . .	70
6. 1. Seriový diodový usměrňovač . . . . .	70
6. 2. Paralelní diodový usměrňovač . . . . .	71
6. 3. Mřížkový detektor . . . . .	74
6. 4. Anodový detektor . . . . .	75
6. 5. Proudový detektor . . . . .	76
6. 6. Kvadratický detektor . . . . .	78
6. 7. Vysokofrekvenční detektory . . . . .	79
6. 8. Kombinace detektorů s katodovým můstkem . . . . .	81
7. Voltmetry speciální . . . . .	82
7. 1. Měření velmi malých stejnosměrných napětí . . . . .	82
7. 2. Přímou ukazující milivoltmetry a mikrovoltmetry . . . . .	82
7. 3. Srovnávací milivoltmetry a mikrovoltmetry . . . . .	83
7. 4. Voltmetry pro napětí tvarových průběhů . . . . .	83
7. 5. Elektronkové galvanometry . . . . .	86
7. 6. Elektronkové wattmetry . . . . .	87
8. Elektronkové fázoměry . . . . .	88
8. 1. Měření Lissajousovými obrazy . . . . .	89
8. 2. Obrazkový fázoměr s rovnoměrnou stupnicí . . . . .	90
8. 3. Měření s fázovými měniči (fázový můstek) . . . . .	93
8. 4. Měření fáze na vysokých kmitočtech . . . . .	96
8. 5. Přímou ukazující fázoměry . . . . .	96
8. 6. Impulsové měření fáze . . . . .	98
9. Elektronkové kmitoměry . . . . .	98
9. 1. Srovnávací měření elektronkovým oscilografem . . . . .	99
9. 2. Můstky pro měření kmitočtu . . . . .	100
9. 3. Měření laděnými čtyřpóly . . . . .	100
9. 4. Přímou ukazující elektronkové kmitoměry . . . . .	101
9. 5. Absorpční vlnoměry . . . . .	102
9. 6. Záznamové vlnoměry . . . . .	103
9. 7. Měření generátory harmonických . . . . .	104

10. Oscilografy . . . . .	106
10. 1. Základní části oscilografu . . . . .	106
10. 2. Časové rozvinutí obrazu elektrického napětí . . . . .	108
10. 3. Jednorázové časové základny . . . . .	109
10. 4. Časové značkování obrazu . . . . .	113
10. 5. Speciální oscilografy . . . . .	114
10. 6. Sondy . . . . .	115
10. 7. Zpožďovací vedení . . . . .	116
10. 8. Elektronkový přepínač . . . . .	118

### III. PROUDOVÉ ZDROJE

11. Zdroje stejnosměrného proudu . . . . .	120
11. 1. Síťové usměrňovače nízkého napětí . . . . .	120
11. 2. Základní tvary vyhlazovacích filtrů . . . . .	122
11. 3. Složené filtry . . . . .	124
11. 4. Vazba zdrojem na nízkých kmitočtech . . . . .	126
11. 5. Vazba zdrojem na vysokých kmitočtech . . . . .	126
11. 6. Zdroje vyšších napětí . . . . .	126
11. 7. Vysokofrekvenční zdroje . . . . .	127
11. 8. Impulsové zdroje . . . . .	128
12. Zdroje se stálým napětím . . . . .	129
12. 1. Doutnavkový ustalovač napětí . . . . .	129
12. 2. Elektronkové ustalovače napětí a proudu . . . . .	131
12. 3. Ustalovače vysokého napětí . . . . .	132
12. 4. Ustalovače střídavého napětí . . . . .	133
12. 5. Všeobecné připomínky k návrhu zdrojů stálého napětí . . . . .	136
13. Zdroje střídavého napětí — oscilátory <i>LC</i> . . . . .	136
13. 1. Podstata oscilátoru . . . . .	136
13. 2. Oscilátory <i>LC</i> se selektivní zpětnou vazbou . . . . .	136
13. 3. Oscilátory <i>LC</i> se selektivním zesílením . . . . .	138
13. 4. Oscilátory se selektivní zpětnou vazbou i zesílením . . . . .	139
13. 5. Stálost oscilací . . . . .	139
13. 6. Stálost výstupního napětí . . . . .	140
13. 7. Stálost kmitočtu . . . . .	142
13. 8. Skreslení výstupního napětí oscilátoru . . . . .	142
14. Zdroje střídavého napětí — oscilátory <i>RC</i> . . . . .	143
14. 1. Oscilátory <i>RC</i> se zpětnou vazbou Wienovým členem . . . . .	143
14. 2. Oscilátory s několika členy <i>RC</i> . . . . .	145
14. 3. Oscilátory <i>RC</i> se selektivním zesílením . . . . .	146
14. 4. Oscilátory <i>RC</i> se selektivní kladnou i zápornou vazbou . . . . .	148

14. 5.	Samočinná regulace vazby a výstupního napětí u oscilátorů <i>RC</i> . . . . .	149
14. 6.	Závěrečný přehled . . . . .	151
15.	Měřicí oscilátory . . . . .	152
15. 1.	Měřicí oscilátory s amplitudovou modulací . . . . .	152
15. 2.	Měřicí oscilátory s kmitočtovou modulací . . . . .	153
15. 3.	Záznějové oscilátory plynule laditelné . . . . .	156
15. 4.	Záznějové oscilátory kmitočtově modulované . . . . .	158
15. 5.	Oscilátory řízené krystaly . . . . .	159
15. 6.	Stínění měřicích oscilátorů . . . . .	161
15. 7.	Děliče výstupního napětí . . . . .	161
16.	Zdroje napětí pravoúhlého průběhu . . . . .	163
16. 1.	Omezovače . . . . .	163
16. 2.	Spoušťové obvody . . . . .	166
16. 3.	Spoušťové obvody se dvěma klidovými stavy . . . . .	166
16. 4.	Spoušťové obvody s jedním klidovým stavem . . . . .	169
16. 5.	Multivibrátory . . . . .	170
16. 6.	Kathodově vázané multivibrátory . . . . .	173
17.	Zdroje pilovitých napětí . . . . .	176
17. 1.	Základní podmínky . . . . .	176
17. 2.	Zdroj pilovitého napětí s výbojkou . . . . .	178
17. 3.	Zdroj s výbojkou a nabíjecí pentodou . . . . .	178
17. 4.	Třípentodové zapojení (časová základna) . . . . .	179
17. 5.	Zapojení s multivibrátory . . . . .	180
17. 6.	Rázující oscilátor . . . . .	181
18.	Zdroje různých tvarových napětí . . . . .	182
18. 1.	Dvoumřížkový transitron . . . . .	182
18. 2.	Millerův transitron . . . . .	183
18. 3.	Dynatron . . . . .	183
18. 4.	Synchronisace zdrojů tvarových napětí . . . . .	184
18. 5.	Měřicí impulsové oscilátory . . . . .	187

#### IV. ZESILOVAČE

19.	Všeobecné poznatky o zesilovačích . . . . .	189
19. 1.	Požadované vlastnosti zesilovačů . . . . .	189
19. 2.	Rozdělení zesilovačů . . . . .	189
19. 3.	Vlastnosti zesilovačů . . . . .	190
20.	Charakteristiky zesilovačů . . . . .	191
20. 1.	Kmitočtová charakteristika zesílení . . . . .	191
20. 2.	Kmitočtová charakteristika fázového posunu . . . . .	192
20. 3.	Polární charakteristika převodu . . . . .	193

20. 4.	Kmitočtová charakteristika zpoždění . . . . .	193
20. 5.	Časová charakteristika . . . . .	194
20. 6.	Vliv dalších časových konstant v zesilovači . . . . .	195
21.	Základní zapojení zesilovačů . . . . .	198
21. 1.	Zesilovače nesouměrné s konduktivní vazbou . . . . .	198
21. 2.	Souměrné zesilovače . . . . .	201
21. 3.	Měřicí zesilovače s kapacitní vazbou . . . . .	202
21. 4.	Širokopásmový zesilovač . . . . .	202
21. 5.	Zesilovače proudu . . . . .	205
21. 6.	Zesilovače výkonu . . . . .	206
21. 7.	Selektivní zesilovače . . . . .	207
22.	Úpravy kmitočtových charakteristik . . . . .	209
22. 1.	Zvětšení zesílení na nízkých kmitočtech . . . . .	209
22. 2.	Omezení zesílení na vyšších kmitočtech . . . . .	210
22. 3.	Úprava charakteristik rovnoměrnou zápornou zpětnou vazbou . . . . .	213
22. 4.	Zesilovače se zpětnou vazbou závislou na kmitočtu . . . . .	216
22. 5.	Zesilovače se zesílením i zpětnou vazbou závislou na kmitočtu . . . . .	217
22. 6.	Kompensace kapacity mezi mřížkou a anodou . . . . .	218
22. 7.	Korekce zesílení na vysokých kmitočtech indukčností . . . . .	219
22. 8.	Přechodné děje v zesilovači a jejich rozbor . . . . .	223
23.	Zvláštní obvody měřicích zesilovačů . . . . .	225
23. 1.	Vytváření souměrného napětí . . . . .	225
23. 2.	Řízení zesílení . . . . .	229

## V. PŘÍSTROJE PRO MĚŘENÍ IMPEDANCÍ

24.	Měření odporů . . . . .	231
24. 1.	Měření srovnávací (děličem) . . . . .	231
24. 2.	Měření velkých odporů . . . . .	234
24. 3.	Můstková měření odporů . . . . .	235
24. 4.	Měření malých odporů . . . . .	238
24. 5.	Měření odporů střídavým proudem . . . . .	238
25.	Měření kapacit . . . . .	239
25. 1.	Metoda s přímým čtením hodnoty . . . . .	239
25. 2.	Kompensační metoda . . . . .	239
25. 3.	Substituční metoda . . . . .	240
25. 4.	Resonanční metoda . . . . .	240
25. 5.	Záznějová metoda . . . . .	241
25. 6.	Měření můstková . . . . .	242
25. 7.	Rozptylové veličiny . . . . .	246
25. 8.	Měření „pronikových“ neboli „třípólových“ kapacit . . . . .	247
25. 9.	Měření elektrolytických kondensátorů . . . . .	248

26. Měření cívek . . . . .	248
26. 1. Methoda s přímým čtením hodnoty . . . . .	248
26. 2. Kompensační metoda . . . . .	248
26. 3. Substituční metoda . . . . .	249
26. 4. Resonanční a záznejová metoda . . . . .	249
26. 5. Měření vlastní kapacity cívky . . . . .	249
26. 6. Měření můstkově . . . . .	251
26. 7. Měření cívek s ferromagnetickým jádrem. . . . .	251
26. 8. Měření vzájemné indukčnosti a činitele vazby . . . . .	252
27. Měření jakosti okruhů . . . . .	255
27. 1. Základní pojmy . . . . .	255
27. 2. Měřič jakosti s odporovým vazebním členem . . . . .	261
27. 3. Měřič jakosti s vazbou velkým kondensátorem . . . . .	262
27. 4. Měřič jakosti s vazbou malým kondensátorem . . . . .	266
27. 5. Měřič jakosti s induktivní vazbou smyčkou s malou impe- dancí . . . . .	267
27. 6. Voltmetr s velkou vstupní impedancí pro měřič jakosti . . . . .	268
27. 7. Určení $Q$ z rezonanční křivky . . . . .	268
27. 8. Zákmitový měřič jakosti . . . . .	269
27. 9. Měření měřičem jakosti a jeho praktická konstrukce . . . . .	269
28. Elektronické příslušenství k můstkům . . . . . s . . . . .	273
28. 1. Zdroje měřicích napětí . . . . .	273
28. 2. Zdroje polarisačního napětí a magnetisačního proudu . . . . .	273
28. 3. Měření střídavého sycení . . . . .	274
28. 4. Ukazatelé vyrovnání můstku . . . . .	274

## VI. ZVLÁŠTNÍ ELEKTRICKÁ MĚŘENÍ

29. Měření modulace . . . . .	276
29. 1. Základní poznatky . . . . .	276
29. 2. Měření časového průběhu amplitudově modulovaného napětí oscilografem . . . . .	277
29. 3. Měření modulační charakteristiky . . . . .	278
29. 4. Methoda s přímým čtením hloubky amplitudové modulace . . . . .	280
29. 5. Základy frekvenční a fázové modulace . . . . .	282
29. 6. Diskriminátory . . . . .	283
29. 7. Měření impulsové modulace . . . . .	285
30. Měření útlumu . . . . .	286
30. 1. Podstata měření útlumu . . . . .	286
30. 2. Logaritmické zesilovače . . . . .	286
30. 3. Logaritmické voltmetry . . . . .	288

31. Měření hluku pozadí a skreslení . . . . .	289
31. 1. Měření hluku pozadí . . . . .	289
31. 2. Definice skreslení . . . . .	289
31. 3. Potlačení základního kmitočtu filtry <i>LC</i> . . . . .	290
31. 4. Potlačení základního kmitočtu filtry <i>RC</i> . . . . .	291
31. 5. Efektivní hodnota všech vyšších harmonických . . . . .	293
31. 6. Postup při měření skreslení . . . . .	294
32. Kmitočtové analysátory . . . . .	295
32. 1. Účel analysátorů . . . . .	295
32. 2. Kmitočtové analysátory s filtry <i>RC</i> a s přímým měřením . . . . .	295
32. 3. Frekvenční analysátory s obvody <i>LRC</i> a <i>LC</i> s přímým mě- řením . . . . .	299
32. 4. Kmitočtové analysátory záznejové . . . . .	302
32. 5. Analysátory radiových kmitočtů . . . . .	303
32. 6. Panoramické analysátory . . . . .	303
32. 7. Analysátory kmitočtového spektra . . . . .	303
33. Měření magnetických elektrických a elektromagnetických polí . . . . .	304
33. 1. Měření stejnosměrného magnetického pole . . . . .	304
33. 2. Měření nízkofrekvenčního magnetického pole . . . . .	305
33. 3. Měření vysokofrekvenčního pole . . . . .	306
34. Měření elektronek . . . . .	309
34. 1. Statické měření napětí a proudů . . . . .	310
34. 2. Měření charakteristických veličin . . . . .	312
34. 3. Měření charakteristických veličin methodou tří napětí . . . . .	313
34. 4. Měření šumu, bručení a mikrofoničnosti . . . . .	316
34. 5. Měření vakua . . . . .	318
34. 6. Praktické provedení přístrojů pro měření a zkoušení elek- tronek . . . . .	319
34. 7. Celkové uspořádání přístrojů pro měření elektronek . . . . .	302
34. 8. Zapisovače charakteristik . . . . .	321

## VII. POUŽITÍ ELEKTRONICKÝCH PŘÍSTROJŮ

35. Základní fyzikální a mechanická měření . . . . .	323
35. 1. Měření délek . . . . .	323
35. 2. Měření základních mechanických veličin . . . . .	324
35. 3. Snimače s velkou rychlostí postupného pohybu . . . . .	327
35. 4. Měření tlaku . . . . .	327
35. 5. Měření času . . . . .	328
35. 6. Počítače impulsů . . . . .	329
35. 7. Měření otáček . . . . .	331

36. Měření v chemii . . . . .	332
36. 1. Konduktometrie . . . . .	332
36. 2. Potenciometrie . . . . .	333
36. 3. Polarografie . . . . .	334
36. 4. Měření vlhkosti . . . . .	334
37. Měření v atomistice . . . . .	335
37. 1. Detektory záření . . . . .	335
37. 2. Vlastnosti Geigerových-Müllerových detektorů záření . . . . .	336
37. 3. Ionizační komůrka . . . . .	337
37. 4. Zhodnocení údajů detektorů . . . . .	338
38. Příklady z jiných oborů použité fyziky . . . . .	339
38. 1. Měření světla . . . . .	339
38. 2. Měření tepla . . . . .	340
38. 3. Měření zvuku . . . . .	341
39. Elektronické měřicí přístroje v elektrotechnické výrobě . . . . .	341
39. 1. Měřicí přístroje při výrobě přijímačů . . . . .	341
39. 2. Měřicí přístroje pro výrobu a údržbu vyslačů . . . . .	342
39. 3. Měřicí zařízení pro vývoj a výrobu telefonních zařízení . . . . .	343
40. Měřicí přístroje v báňském a hutním průmyslu . . . . .	343
40. 1. Elektronické měření v geologickém výzkumu . . . . .	343
40. 2. Elektronika v hornictví . . . . .	343
40. 3. Užití elektroniky v hutnictví . . . . .	343
41. Elektronické přístroje ve strojírenství . . . . .	344
41. 1. Měřidla a měrky . . . . .	344
41. 2. Kontrola povrchu . . . . .	345
41. 3. Servomechanické měřicí obvody . . . . .	346
41. 4. Kontrola chodu hodinek . . . . .	347
42. Elektronické měření ve zdravotnické technice . . . . .	347
42. 1. Zapisování akčních proudů . . . . .	347
42. 2. Vysokofrekvenční měření impedancí . . . . .	347
42. 3. Použití zvukové techniky . . . . .	347
42. 4. Oční lékařství . . . . .	348
42. 5. Jiná měření . . . . .	348
43. Elektronické měřicí přístroje v různých oborech . . . . .	348
43. 1. Měření hluku a otřesů . . . . .	348
43. 2. Zabezpečení dopravy . . . . .	348
43. 3. Elektronika v astronomii . . . . .	348
43. 4. Elektronika ve sportu . . . . .	348
44. Závěr . . . . .	349
Literatura . . . . .	350
Rejstřík . . . . .	356