

# 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 . . . . .	21
2. 3. Volba elektronek a jejich pracovních podmínek . . . . .	22
2. 4. Volba usměrňovacího prvku . . . . .	25
2. 5. Základní charakteristiky elektronek . . . . .	26
2. 6. Zvláštní charakteristiky elektronek . . . . .	28
2. 7. Použití transistorů v měřicích přístrojích . . . . .	30
3. Důležité poznatky o obvodech . . . . .	32
3. 1. Lineární a nelineární obvody . . . . .	32
3. 2. Grafické řešení jednoduchých obvodů . . . . .	32
3. 3. Pasivní a aktivní dvojpóly . . . . .	34
3. 4. Čtyrpóly . . . . .	38
3. 5. Kladná zpětná vazba . . . . .	41
3. 6. Záporná zpětná vazba úměrná napětí . . . . .	42
3. 7. Kathodový sledovač . . . . .	44
3. 8. Derivační a integrační obvody . . . . .	47
3. 9. Mústkové obvody . . . . .	52
4. Součástky pro elektronické měřicí přístroje . . . . .	54
4. 1. Všeobecně o součástkách . . . . .	54
4. 2. Odporý . . . . .	54
4. 3. Kondensátory . . . . .	58
4. 4. Cívky . . . . .	60

4. 5. Spolehlivost elektronek . . . . .	61
4. 6. Měřidla pro elektronické přístroje . . . . .	62
5. Zásadní hlediska při návrhu měřicích přístrojů . . . . .	63
5. 1. Postup při theoretickém návrhu a praktických zkouškách . . . . .	63
5. 2. Konstrukční zásady . . . . .	63
5. 3. Dokumentace vývojové práce . . . . .	68
5. 4. Přesnost, stálost a bezpečnost činnosti . . . . .	68
5. 5. Údržba elektronických měřicích přístrojů . . . . .	69
5. 6. Kontrola a opravy . . . . .	70

## II. ELEKTRONKOVÉ PŘÍSTROJE PRO MĚŘENÍ ZÁKLADNÍCH ELEKTRICKÝCH VELIČIN

6. Stejnoseměrné voltmetry . . . . .	73
6. 1. Anodový voltmetr s pevným předpětím . . . . .	73
6. 2. Anodový voltmetr s poloautomatickým předpětím . . . . .	74
6. 3. Voltmetr bez předpětí . . . . .	75
6. 4. Kompensační voltmetr s velkou vstupní impedancí . . . . .	78
6. 5. Můstkový anodový voltmetr s jednou elektronkou . . . . .	78
6. 6. Můstkový anodový voltmetr se dvěma elektronkami . . . . .	80
6. 7. Můstkový katodový voltmetr se dvěma elektronkami . . . . .	81
6. 8. Grafické řešení katodového voltmetru . . . . .	83
6. 9. Úplný elektronkový můstek . . . . .	86
7. Střídavé voltmetry . . . . .	87
7. 1. Seriový diodový usměrňovač . . . . .	87
7. 2. Paralelní diodový usměrňovač . . . . .	88
7. 3. Mřížkový detektor . . . . .	90
7. 4. Anodový detektor . . . . .	91
7. 5. Proudový detektor . . . . .	91
7. 6. Kvadratický detektor . . . . .	95
7. 7. Vysokofrekvenční detektory . . . . .	96
7. 8. Kombinace detektorů s katodovým můstkem . . . . .	98
8. Voltmetry speciální . . . . .	99
8. 1. Měření velmi malých stejnosměrných napětí . . . . .	99
8. 2. Přímoukazující milivoltmetry a mikrovoltmetry . . . . .	99
8. 3. Srovnávací milivoltmetry a mikrovoltmetry . . . . .	100
8. 4. Voltmetry pro napětí tvarových průběhů . . . . .	101
8. 5. Elektronkové galvanometry . . . . .	105
8. 6. Elektronkové wattmetry . . . . .	105
9. Elektronkové fázoměry . . . . .	107
9. 1. Měření Lissajousovými obrazy . . . . .	107
9. 2. Obrazkový fázoměr s rovnoměrnou stupnicí . . . . .	109
9. 3. Měření s fázovými měniči (fázový můstek) . . . . .	110

9. 4. Měření fáze na vysokých kmitočtech . . . . .	114
9. 5. Přímou ukazující fázoměry . . . . .	114
9. 6. Impulsové měření fáze . . . . .	116
10. Elektronkové kmitoměry a vlnoměry . . . . .	117
10. 1. Srovnávací měření elektronkovým oscilografem . . . . .	117
10. 2. Můstky pro měření kmitočtu . . . . .	118
10. 3. Měření laděnými čtyřpóly . . . . .	119
10. 4. Přímou ukazující elektronkové kmitoměry . . . . .	120
10. 5. Absorpční vlnoměry . . . . .	121
10. 6. Záznežové vlnoměry . . . . .	123
10. 7. Měření generátory harmonických . . . . .	123
11. Oscilografy . . . . .	125
11. 1. Základní části oscilografu . . . . .	125
11. 2. Časové rozvinutí obrazu elektrického napětí . . . . .	127
11. 3. Jednorázové časové základny . . . . .	128
11. 4. Časové značkování obrazu . . . . .	133
11. 5. Speciální oscilografy . . . . .	133
11. 6. Sondy . . . . .	134
11. 7. Zpožďovací vedení . . . . .	135
11. 8. Elektronkový přepínač . . . . .	137

### III. PROUDOVÉ ZDROJE

12. Zdroje stejnosměrného proudu . . . . .	139
12. 1. Síťové usměrňovače nízkého napětí . . . . .	139
12. 2. Základní tvary vyhlazovacích filtrů . . . . .	141
12. 3. Složené filtry . . . . .	143
12. 4. Vazba zdrojem na nízkých kmitočtech . . . . .	144
12. 5. Vazba zdrojem na vysokých kmitočtech . . . . .	144
12. 6. Zdroje vyšších napětí . . . . .	145
12. 7. Vysokofrekvenční zdroje . . . . .	147
12. 8. Impulsové zdroje . . . . .	148
13. Zdroje se stálým napětím . . . . .	149
13. 1. Doutnavkový ustalovač napětí . . . . .	149
13. 2. Elektronkové ustalovače napětí a proudu . . . . .	151
13. 3. Ustalovače vysokého napětí . . . . .	154
13. 4. Ustalovače střídavého napětí . . . . .	154
13. 5. Všeobecné připomínky k návrhu zdrojů stálého napětí . . . . .	157
14. Zdroje střídavého napětí — oscilátory <i>LC</i> . . . . .	157
14. 1. Podstata oscilátoru . . . . .	157
14. 2. Oscilátory <i>LC</i> se selektivní zpětnou vazbou . . . . .	158
14. 3. Oscilátory <i>LC</i> se selektivním zesílením . . . . .	159
14. 4. Oscilátory se selektivní zpětnou vazbou i zesílením . . . . .	161
14. 5. Stálost oscilací . . . . .	161

14. 6. Stálost výstupního napětí . . . . .	161
14. 7. Stálost kmitočtu . . . . .	163
14. 8. Skreslení výstupního napětí oscilátoru . . . . .	164
15. Zdroje střídavého napětí — oscilátory <i>RC</i> . . . . .	165
15. 1. Oscilátory <i>RC</i> se zpětnou vazbou Wienovým členem . . . . .	165
15. 2. Oscilátory s několika členy <i>RC</i> . . . . .	167
15. 3. Oscilátory <i>RC</i> se selektivním zesílením . . . . .	168
15. 4. Oscilátory <i>RC</i> se selektivní kladnou i zápornou vazbou . . . . .	171
15. 5. Samočinná regulace vazby a výstupního napětí u oscilátorů <i>RC</i> . . . . .	172
15. 6. Závěrečný přehled . . . . .	174
16. Měřicí oscilátory . . . . .	175
16. 1. Měřicí oscilátory s amplitudovou modulací . . . . .	175
16. 2. Měřicí oscilátory s kmitočtovou modulací . . . . .	178
16. 3. Záznějové oscilátory plynule laditelné . . . . .	179
16. 4. Záznějové oscilátory kmitočtově modulované . . . . .	181
16. 5. Oscilátory řízené krystaly . . . . .	182
16. 6. Stínění měřicích oscilátorů . . . . .	184
16. 7. Děliče výstupního napětí . . . . .	185
17. Zdroje napětí pravoúhlého průběhu . . . . .	186
17. 1. Omezovače . . . . .	186
17. 2. Spoušťové obvody . . . . .	189
17. 3. Spoušťové obvody se dvěma klidovými stavy . . . . .	190
17. 4. Spoušťové obvody s jedním klidovým stavem . . . . .	192
17. 5. Multivibrátory . . . . .	193
17. 6. Kathodově vázané multivibrátory . . . . .	196
18. Zdroje pilovitých napětí . . . . .	200
18. 1. Základní podmínky . . . . .	200
18. 2. Zdroj pilovitého napětí s výbojkou . . . . .	202
18. 3. Zdroj s výbojkou a nabíjecí pentodou . . . . .	203
18. 4. Třípentodové zapojení (časová základna) . . . . .	203
18. 5. Zapojení s multivibrátory . . . . .	204
18. 6. Rázující oscilátor . . . . .	205
19. Zdroje různých tvarových napětí . . . . .	206
19. 1. Dvoumřížkový transitron . . . . .	206
19. 2. Millerův transitron . . . . .	207
19. 3. Dynatron . . . . .	208
19. 4. Synchronisace zdrojů tvarových napětí . . . . .	208
19. 5. Měřicí impulsové oscilátory . . . . .	211

#### IV. ZESILOVAČE

20. Všeobecné poznatky o zesilovačích . . . . .	213
20. 1. Požadované vlastnosti zesilovačů . . . . .	213

20. 2.	Rozdělení zesilovačů . . . . .	213
20. 3.	Vlastnosti zesilovačů . . . . .	214
20. 4.	Kmitočtová charakteristika zesílení . . . . .	215
20. 5.	Kmitočtová charakteristika fázového posunu . . . . .	216
20. 6.	Polární charakteristika převodu . . . . .	216
20. 7.	Kmitočtová charakteristika zpoždění . . . . .	217
20. 8.	Časová charakteristika . . . . .	218
20. 9.	Vliv dalších časových konstant v zesilovači . . . . .	220
21.	Základní zapojení zesilovačů . . . . .	222
21. 1.	Zesilovače nesouměrné s galvanickou vazbou . . . . .	222
21. 2.	Souměrné zesilovače . . . . .	224
21. 3.	Měřicí zesilovače s kapacitní vazbou . . . . .	225
21. 4.	Širokopásmový zesilovač . . . . .	226
21. 5.	Zesilovače proudu . . . . .	229
21. 6.	Zesilovače výkonu . . . . .	230
21. 7.	Selektivní zesilovače . . . . .	231
22.	Úpravy kmitočtových charakteristik . . . . .	233
22. 1.	Zvětšení zesílení na nízkých kmitočtech . . . . .	233
22. 2.	Omezení zesílení na vyšších kmitočtech . . . . .	234
22. 3.	Úprava charakteristik rovnoměrnou zápornou zpětnou vazbou . . . . .	236
22. 4.	Zesilovače se zpětnou vazbou závislou na kmitočtu . . . . .	240
22. 5.	Zesilovače se zesílením i zpětnou vazbou závislou na kmitočtu . . . . .	241
22. 6.	Kompensace kapacity mezi mřížkou a anodou . . . . .	242
22. 7.	Korekce zesílení na vysokých kmitočtech indukčností . . . . .	243
22. 8.	Přechodné děje v zesilovači a jejich rozbor . . . . .	246
23.	Zvláštní obvody měřicích zesilovačů . . . . .	248
23. 1.	Vytváření souměrného napětí . . . . .	248
23. 2.	Řízení zesílení . . . . .	253

## V. PŘÍSTROJE PRO MĚŘENÍ IMPEDANCÍ

24.	Měření odporů . . . . .	255
24. 1.	Měření srovnávací (děličem) . . . . .	255
24. 2.	Měření velkých odporů . . . . .	258
24. 3.	Mústková měření odporů . . . . .	260
24. 4.	Měření malých odporů . . . . .	262
24. 5.	Měření odporů střídavým proudem . . . . .	263
25.	Měření kapacit . . . . .	264
25. 1.	Methoda s přímým čtením hodnoty . . . . .	264
25. 2.	Kompensační methoda . . . . .	264
25. 3.	Substituční methoda . . . . .	265
25. 4.	Resonanční methoda . . . . .	266
25. 5.	Záznějová methoda . . . . .	266

25. 6.	Měření můstková . . . . .	267
25. 7.	Rozptylové veličiny . . . . .	271
25. 8.	Měření „pronikových“ neboli „třípólových“ kapacit . . . . .	273
25. 9.	Měření elektrolytických kondensátorů . . . . .	274
26.	Měření cívek . . . . .	274
26. 1.	Methoda s přímým čtením hodnoty . . . . .	274
26. 2.	Kompensační methoda . . . . .	274
26. 3.	Substituční methoda . . . . .	275
26. 4.	Resonanční a záznějová methoda . . . . .	275
26. 5.	Měření vlastní kapacity cívky . . . . .	276
26. 6.	Měření můstková . . . . .	277
26. 7.	Měření cívek s ferromagnetickým jádrem . . . . .	278
26. 8.	Měření vzájemné indukčnosti a činitele vazby . . . . .	281
27.	Měření jakosti okruhů . . . . .	284
27. 1.	Základní pojmy . . . . .	284
27. 2.	Měřič jakosti s odporovým vazebním členem . . . . .	289
27. 3.	Měřič jakosti s vazbou velkým kondensátorem . . . . .	291
27. 4.	Měřič jakosti s vazbou malým kondensátorem . . . . .	295
27. 5.	Měřič jakosti s induktivní vazbou smyčkou s malou impedancí . . . . .	295
27. 6.	Voltmetr s velkou vstupní impedancí pro měřič jakosti . . . . .	296
27. 7.	Určení $Q$ z rezonanční křivky . . . . .	297
27. 8.	Zákmitový měřič jakosti . . . . .	298
27. 9.	Měření měřičem jakosti a jeho praktická konstrukce . . . . .	298
28.	Elektronické příslušenství k můstkům . . . . .	302
28. 1.	Zdroje měřících napětí . . . . .	302
28. 2.	Zdroje polarisačního napětí a magnetisačního proudu . . . . .	302
28. 3.	Měření střídavého sycení . . . . .	302
28. 4.	Ukazatelé vyrovnání můstku . . . . .	303

## VI. ZVLÁŠTNÍ ELEKTRICKÁ MĚŘENÍ

29.	Měření modulace . . . . .	305
29. 1.	Základní poznatky . . . . .	305
29. 2.	Měření časového průběhu amplitudově modulovaného napětí oscilografem . . . . .	306
29. 3.	Měření modulační charakteristiky . . . . .	307
29. 4.	Methoda s přímým čtením hloubky amplitudové modulace . . . . .	309
29. 5.	Základy kmitočtové (frekvenční) a fázové modulace . . . . .	311
29. 6.	Diskriminátory . . . . .	312
29. 7.	Měření impulsové modulace . . . . .	314
30.	Měření útlumu . . . . .	315
30. 1.	Podstata měření útlumu . . . . .	315
30. 2.	Logaritmické zesilovače . . . . .	315
30. 3.	Logaritmické voltmetry . . . . .	317

31. Měření hluku pozadí a skreslení . . . . .	318
31. 1. Měření hluku pozadí . . . . .	318
31. 2. Definice skreslení . . . . .	318
31. 3. Potlačení základního kmitočtu filtry <i>LC</i> . . . . .	319
31. 4. Potlačení základního kmitočtu filtry <i>RC</i> . . . . .	320
31. 5. Efektivní hodnota všech vyšších harmonických . . . . .	322
31. 6. Postup při měření skreslení . . . . .	324
32. Kmitočtové analyzátoři . . . . .	324
32. 1. Účel analyzátorů . . . . .	324
32. 2. Kmitočtové analyzátoři s filtry <i>RC</i> a s přímým měřením . . . . .	324
32. 3. Kmitočtové analyzátoři s obvody <i>LRC</i> a <i>LC</i> s přímým měřením . . . . .	329
32. 4. Kmitočtové analyzátoři záznějové . . . . .	331
32. 5. Analyzátoři radiových kmitočtů . . . . .	332
32. 6. Panoramatické analyzátoři . . . . .	332
32. 7. Analyzátoři kmitočtového spektra . . . . .	332
33. Měření magnetických veličin a elektrických i magnetických polí . . . . .	333
33. 1. Měření stejnosměrného magnetického pole . . . . .	334
33. 2. Měření nízkofrekvenčního magnetického pole . . . . .	335
33. 3. Měření vysokofrekvenčního pole . . . . .	336
34. Měření elektronek . . . . .	339
34. 1. Statické měření napětí a proudů . . . . .	339
34. 2. Měření charakteristických veličin . . . . .	341
34. 3. Měření charakteristických veličin methodou tří napětí . . . . .	342
34. 4. Měření šumu, bruceň a mikrofoničnosti . . . . .	346
34. 5. Měření vakua . . . . .	347
34. 6. Praktické provedení přístrojů pro měření a zkoušení elektronek . . . . .	348
34. 7. Celkové uspořádání přístrojů pro měření elektronek . . . . .	349
34. 8. Zapisovače charakteristik . . . . .	352

## VII. POUŽITÍ ELEKTRONICKÝCH PŘÍSTROJŮ

35. Základní fyzikální a mechanická měření . . . . .	353
35. 1. Měření délek . . . . .	353
35. 2. Měření základních mechanických veličin . . . . .	354
35. 3. Snimače postupného pohybu s velkou rychlostí . . . . .	357
35. 4. Měření tlaku . . . . .	357
35. 5. Měření času . . . . .	358
35. 6. Počítače impulsů . . . . .	359
35. 7. Měření otáček . . . . .	361
36. Měření v chemii . . . . .	362
36. 1. Konduktometrie . . . . .	362
36. 2. Potenciometrie . . . . .	363

36. 3. Polarografie . . . . .	365
36. 4. Měření vlhkosti . . . . .	365
37. Měření v atomistice . . . . .	366
37. 1. Detektory záření . . . . .	366
37. 2. Vlastnosti Geigerových-Müllerových detektorů záření . . . . .	367
37. 3. Ionizační komůrka . . . . .	368
37. 4. Zhodnocení údajů detektorů . . . . .	368
38. Příklady z jiných oborů použité fyziky . . . . .	370
38. 1. Měření světla . . . . .	370
38. 2. Měření tepla . . . . .	370
38. 3. Měření zvuku . . . . .	371
39. Elektronické měřicí přístroje v elektrotechnické výrobě . . . . .	372
39. 1. Měřicí přístroje při výrobě přijímačů . . . . .	372
39. 2. Měřicí přístroje pro výrobu a údržbu vysilačů . . . . .	373
39. 3. Měřicí zařízení pro vývoj a výrobu telefonních zařízení . . . . .	373
40. Měřicí přístroje v báňském a hutním průmyslu . . . . .	374
40. 1. Elektronické měření v geologickém výzkumu . . . . .	374
40. 2. Elektronika v hornictví . . . . .	374
40. 3. Užití elektroniky v hutnictví . . . . .	374
41. Elektronické měřicí přístroje ve strojírenství . . . . .	375
41. 1. Měřidla a měrky . . . . .	375
41. 2. Kontrola povrchu . . . . .	375
41. 3. Servomechanické měřicí obvody . . . . .	376
41. 4. Kontrola chodu hodin . . . . .	377
42. Elektronické měření ve zdravotnické technice . . . . .	377
42. 1. Zapisování akčních proudů . . . . .	377
42. 2. Vysokofrekvenční měření impedancí . . . . .	378
42. 3. Použití zvukové techniky . . . . .	378
42. 4. Oční lékařství . . . . .	378
42. 5. Jiná měření . . . . .	378
43. Elektronické měřicí přístroje v různých oborech . . . . .	379
43. 1. Měření hluku a otřesů . . . . .	379
43. 2. Zabezpečení dopravy . . . . .	379
43. 3. Elektronika v astronomii . . . . .	379
43. 4. Elektronika ve sportu . . . . .	379
. . . . .	
Literatura . . . . .	380
Rejstřík . . . . .	387