

OBSAH

Použité značky	12
Předmluva	19
A. TEORETICKÉ ZÁKLADY	21
1. Práce a výkon elektrického proudu	21
1.1 Základní vztahy	21
1.2 Výkon a práce stejnosměrného proudu	22
1.3 Výkon a práce střídavého proudu	23
1.3.1 Výkon a práce jednovlnného proudu	23
1.3.2 Výkon a práce mnohovlnného proudu	27
2. Trojfázové soustavy a souměrné složky	29
2.1 Trojfázové soustavy	29
2.2 Rozklad nesouměrné trojfázové soustavy na souměrné složky	34
2.3 Měření souměrných složek	39
2.3.1 Napěťová soustava	39
2.3.2 Proudová soustava	41
3. Výkon a práce elektrického proudu v trojfázových soustavách	42
3.1 Výkon obecné trojfázové soustavy	42
3.2 Měření účinitele proudové nesouměrnosti	46
4. Hodnocení odběru elektrické energie podle jeho fázového posunutí a jeho nesouměrnosti	47
B. MĚŘICÍ PŘÍSTROJE A ZAŘÍZENÍ	48
5. Měřicí přístroje ukazovací a integrační	48
5.1 Základní vztahy	48
5.2 Chyby a přesnost měření	50
5.3 Rušivé vlivy	53
5.3.1 Vliv rotace otáčivého systému	53
5.3.2 Vliv tření	53
5.3.3 Vliv teploty	59
5.3.4 Vliv kmitočtu a tvaru křivky	60
5.3.5 Vliv feromagnetických obvodů	61
5.3.6 Vliv vnějších polí	64
6. Magnetoelektrické měřicí přístroje ukazovací	65
7. Ampérhodinové elektroměry	66
7.1 Ampérhodinové elektroměry elektrolytické	67

7.2	Ampérhodinové elektroměry s magnetoelektrickým ústrojím	68
7.2.1	Ampérhodinový elektroměr s brzděným otáčivým systémem	68
7.2.2	Ampérhodinový elektroměr rychloběžný s nebrzděným otáčivým systémem	70
7.2.3	Rušivé vlivy	70
7.3	Nastavování ampérhodinových elektroměrů	71
7.4	Rtuťový motorický elektroměr	71
8.	Elektrodynamické wattmetry	71
8.1	Popis a princip působení wattmetru	71
8.2	Rušivé vlivy a jejich kompenzace	73
8.3	Wattmetr pro měření jalového výkonu (varmetr)	77
8.4	Technická provedení	77
9.	Elektrodynamické elektroměry	78
9.1	Popis a princip působení	79
9.2	Rušivé vlivy	80
9.3	Technická provedení	83
10.	Indukční elektroměry	84
10.1	Popis a princip působení	84
10.2	Rušivé vlivy	91
10.2.1	Vliv rotace otáčivého systému a jeho kompenzace	91
10.2.2	Vliv tření, jeho kompenzace a zamezení běhu naprázdno	95
10.2.3	Vliv teploty a její kompenzace	99
10.2.4	Vliv kmitočtu a tvaru křivky	100
10.2.5	Vliv feromagnetických obvodů	101
10.2.6	Vliv vnějšího pole	102
10.3	Nastavování indukčních elektroměrů	102
10.3.1	Nastavování vnitřního úhlu fázového posunu	102
10.3.2	Nastavování velikosti polybového momentu	103
10.3.3	Nastavování při malé zátěži (desetiprocentní)	103
10.4	Technická provedení, údaje a použití	103
11.	Elektroměry složené z několika hnacích systémů	106
11.1	Vliv rotace otáčivého systému	106
11.2	Vzájemné působení hnacích systémů	107
12.	Rozdělení indukčních elektroměrů podle vnitřního úhlu fázového posunu	111
12.1	Indukční elektroměr s vnitřním fázovým úhlem 90°	111
12.2	Indukční elektroměr s vnitřním fázovým úhlem 180°	112
12.3	Indukční elektroměr s vnitřním fázovým úhlem 60°	114
13.	Hallův generátor	114
C.	ZMĚNA MĚŘICÍCH ROZSAHŮ	120
14.	Bočníky, přepínače proudových rozsahů a předřadníky	120
14.1	Bočníky	120
14.2	Přepínače proudových rozsahů	121
14.3	Předřadníky	122
15.	Měřicí transformátory pro stejnosměrné obvody	123
15.1	Přesytka	123
15.2	Měřicí transformátor stejnosměrného proudu (měřicí transduktor)	125
15.3	Měřicí transformátor stejnosměrného proudu s Hallovým generátorem	127

16. Měřicí transformátory pro střídavé obvody	129
16.1 Princip působení transformátoru	129
16.2 Měřicí transformátor proudu	131
16.2.1 Chyby měřicího transformátoru proudu	131
16.2.2 Odolnost při zkratu. Nadproudové číslo	139
16.2.3 Kompenzace chyb	140
16.2.4 Druhy měřicích transformátorů proudu a jejich provedení	142
16.3 Měřicí transformátor napětí	143
16.3.1 Chyby měřicího transformátoru napětí	144
16.3.2 Druhy měřicích transformátorů napětí a jejich provedení	150
16.4 Kombinovaný měřicí transformátor proudu a napětí	152
16.5 Vývoj měřicích transformátorů	153
D. ZPŮSOBY MĚŘENÍ	154
17. Obecné zásady správného měření výkonu a práce elektrického proudu v mnohovodičových rozvodech	154
17.1 Klasické způsoby zapojování měřicích přístrojů	154
17.2 Chyby měřicí metody	157
18. Měření výkonu a práce stejnosměrného proudu	158
18.1 Měření výkonu	158
18.2 Měření práce stejnosměrného proudu	160
19. Měření činného výkonu a činné energie v jednofázovém rozvodu	161
19.1 Měření elektrodynamickým wattmetrem a indukčním elektroměrem	161
19.2 Měření činného výkonu Hallovým generátorem	163
20. Měření činného výkonu a činné energie v trojfázovém rozvodu s nulovým vodičem přístroji v klasickém zapojení	164
20.1 Měření činného výkonu elektrodynamickými wattmetry	164
20.2 Měření činného výkonu Hallovými generátory	166
20.3 Měření činné energie trojfázovým trojsoustavovým watthodinovým elektroměrem	166
21. Měření činného výkonu a činné energie v trojfázovém rozvodu s nulovým vodičem v umělém zapojení	168
21.1 Měření činného výkonu a činné energie soupravami složenými ze dvou systémů s dělenými proudovými cívkami	168
21.2 Měření činného výkonu a činné energie jedním měřicím systémem	174
21.3 Měření činného výkonu a činné energie dvěma měřicími systémy	175
22. Měření činného výkonu a činné energie v trojfázovém rozvodu bez nulového vodiče přístroji v klasickém zapojení	177
22.1 Měření činného výkonu třemi wattmetry	177
22.2 Měření činného výkonu Aronovou metodou	178
22.3 Měření činného výkonu Hallovými generátory	184
22.4 Trojfázový dvousystémový watthodinový elektroměr	184
23. Měření činného výkonu a činné energie v trojfázovém rozvodu bez nulového vodiče, přístroji v umělém zapojení	185
23.1 Měření činného výkonu jedním wattmetrem	185
23.2 Měření činného výkonu jedním wattmetrem s přepínatelným napěťovým obvodem	187
23.3 Měření činného výkonu jedním wattmetrem s dělenou proudovou cívkou	187
23.4 Jednosystémový watthodinový elektroměr s vnitřním fázovým úhlem 60°	188

23.5	Jednosystémový varhodinový elektroměr s dělenou proudovou cívkou a s vnitřním fázovým úhlem 90°	189
23.6	Měření činného výkonu a činné energie pomocí souměrných složek	189
24.	Zásady měření jalového výkonu a jalové energie	190
24.1	Speciální přístroje v klasickém zapojení	190
24.2	Wattmetry v umělém zapojení	190
24.3	Wathodinové elektroměry v umělém zapojení	192
25.	Měření jalového výkonu a jalové energie speciálními přístroji v klasickém zapojení ..	193
25.1	Trojfázový varhodinový elektroměr s vnitřním fázovým úhlem 180° pro trojfázový rozvod s nulovým vodičem	194
25.2	Dvousystémový varhodinový elektroměr s vnitřním fázovým úhlem 180° pro trojfázový rozvod bez nulového vodiče	194
26.	Měření jalového výkonu a jalové energie v trojfázovém rozvodu s nulovým vodičem přístroji v umělém zapojení	196
26.1	Měření jalového výkonu třemi činnými wattmetry	196
26.2	Měření jalového výkonu jedním činným wattmetrem	200
26.3	Trojsystémový varhodinový elektroměr s vnitřním fázovým úhlem 90°	201
26.4	Jednosystémový varhodinový elektroměr s vnitřním fázovým úhlem 90°	202
27.	Měření jalového výkonu a jalové energie v trojfázovém rozvodu bez nulového vodiče přístroji v umělém zapojení	203
27.1	Měření jalového výkonu v umělém Aronově zapojení	203
27.2	Měření jalového výkonu a jalové energie v umělém Aronově zapojení s měřicími autotransformátory	206
27.3	Měření jalového výkonu jedním činným wattmetrem	207
27.4	Dvousystémový varhodinový elektroměr s vnitřním fázovým úhlem 60°	208
27.5	Dvousystémový varhodinový elektroměr s vnitřním fázovým úhlem 90° a s umělou nulou	209
27.6	Dvousystémový varhodinový elektroměr s vnitřním fázovým úhlem 90° bez umělé nuly	210
27.7	Jednosystémový varhodinový elektroměr s vnitřním fázovým úhlem 90°	212
28.	Měření zdánlivé a pulsační energie speciálními elektroměry	213
28.1	Elektroměr pro zdánlivou spotřebu a omezený obor fázového posunu	214
28.2	Elektroměr pro zdánlivou spotřebu a rozšířený obor fázového posunu	216
28.3	Elektroměr pro zdánlivou spotřebu a neomezený obor fázového posunu	217
28.3.1	Trivektor	217
28.3.2	Elektroměr s kulovým převodem	218
28.3.3	Elektroměr pro zdánlivou spotřebu s elektrodynamickým měřicím ústrojím	219
28.4	Elektroměry pro smíšenou spotřebu	220
28.5	Měření pulsačního výkonu a pulsační energie	221
28.6	Elektroměry pro nadspotřebu	222
29.	Měření soupravami složenými z wattmetrů, elektroměrů a měřicích transformátorů ..	222
29.1	Měření v jednofázovém rozvodu	223
29.1.1	Určení chyby měření a integrace činného výkonu z proudových, napětových a úhlových chyb měřicích transformátorů	224
29.1.2	Určení chyby měření a integrace činného výkonu z komplexních diagramů měřicích transformátorů	228
29.1.3	Určení chyby měření a integrace jalového výkonu z proudových, napětových a úhlových chyb měřicích transformátorů	220

29.1.4 Určení chyby měření a integrace jalového výkonu z komplexních diagramů měřících transformátorů	230
29.2 Měření v trojfázovém rozvodu s nulovým vodičem	231
29.3 Měření v trojfázovém rozvodu bez nulového vodiče	232
29.4 Největší možná chyba měření elektrické energie soupravou s měřícími transformátory	235
29.5 Chyba způsobená spojovacím vedením měřícího transformátoru napětí s měřícími přístroji	237
E. MĚŘENÍ NA DÁLKU	239
30. Měření na dálku v elektrizačních soustavách	239
31. Amplitudové způsoby dálkového měření	242
31.1 Měřicí převodník pracující na principu momentového kompenzátoru	242
32. Měření na dálku na principu měřenosné hustoty impulsů	246
32.1 Rotační převodníky měřené veličiny na měřenosnou hustotu impulsů	247
32.2 Vysílací převodníky stejnosměrného proudu či napětí na měřenosnou hustotu impulsů	247
32.3 Přijímací převodníky měřenosné hustoty impulsů na stejnosměrný proud	251
32.4 Příklad jednoduchého kanálu dálkového měření	255
33. Spoje	257
33.1 Mnohonásobné kmitočtové využití jednoho vedení	257
33.2 Mnohonásobný přenos po vedeních vn a vvn	258
33.3 Přenosová zařízení nár. podniku Tesla	260
34. Cyklické využívání spojů a číslicové způsoby dálkového měření	260
F. PROVOZ	264
35. Řízení provozu elektrizační soustavy a hodnocení odběru	264
36. Měření naintegrované elektrické energie	267
36.1 Jednosazbový elektroměr	267
36.2 Dvousazbový elektroměr se sazbovým spínačem	269
36.3 Hromadné dálkové ovládání	271
36.4 Vysílací elektroměry a dálkově ovládané počítače	272
36.5 Měřicí souprava pro měření odběru elektrické energie	276
36.5.1 Trojfázový rozvod s nulovým vodičem	277
36.5.2 Trojfázový rozvod bez nulového vodiče	277
37. Měření průměrné hodnoty výkonu v měřících periodách	279
37.1 Měřič maxima	281
37.2 Zapisující měřič maxima	282
37.3 Integrovaný číslicový zapisovač	283
37.4 Sledování odběru během měřící periody	285
38. Měření dodávky a odběru	286
38.1 Synchronní stroj v síti s konstantním napětím a kmitočtem	287
38.2 Měřicí souprava pro měření dodávky a odběru elektrické energie	288
39. Součtová měření	292
39.1 Součtová měření na mechanickém principu	293
39.1.1 Sečítání údajů dvou elektroměrů diferenciálním soukolím	293
39.1.2 Sečítání pohybových momentů	294
39.2 Součtová měření na principu impulsním. Součtový počítač	294

39.3	Součtová měření na elektrickém principu	300
39.3.1	Paralelní spojování sekundárních vinutí měřicích transformátorů proudu	300
39.3.2	Součtový měřicí transformátor proudu	302
40.	Měření ztrát elektrické energie	306
40.1	Závislost ztrát elektrické energie na fázovém posunu a na nesouměrnosti odběru	306
40.2	Způsoby měření ztrát elektrické energie	309
40.3	Elektroměry pro integraci druhé mocniny proudu	310
40.3.1	Jednofázový elektroměr pro integraci druhé mocniny proudu	310
40.3.2	Trojfázové elektroměry pro integraci druhé mocniny proudu	313
40.4	Elektroměry pro integraci druhé mocniny napětí	314
40.4.1	Jednofázový elektroměr pro integraci druhé mocniny napětí	314
40.4.2	Trojfázový elektroměr pro integraci druhé mocniny napětí	315
40.5	Použití elektroměrů pro integraci druhé mocniny proudu a napětí v praxi	316
41.	Měřicí a řídicí ústředna	317
42.	Rozmístování elektroměrů	318
42.1	Měření elektrické energie ve výrobnách	319
42.2	Měření elektrické energie v transformovně	323
42.3	Měření elektrické energie u odběratelů	326
42.4	Používaná měřicí zařízení	327
43.	Kontrola správnosti zapojení měřicí soupravy pro měření elektrické energie	328
43.1	Kontrola zapojení měřicí soupravy identifikací vektorového diagramu soustavy proudu a napětí	329
43.2	Kontrola měřicí soupravy měřením činného a jalového výkonu voltmetrem a ampérmetrem	331
43.3	Porucha měřicí soupravy, určování korekčního faktoru	332
G.	ZKOUŠENÍ A OVĚŘOVÁNÍ	335
44.	Metody přesného měření výkonu a práce elektrického proudu	335
44.1	Etalony elektrických jednotek	335
44.2	Přesné měření výkonu stejnosměrného proudu	337
44.3	Komparátory stejnosměrného a střídavého proudu	338
44.3.1	Komparátor s termoměničem	338
44.3.2	Elektrodynamický komparátor	339
44.4	Komparátory výkonu stejnosměrného a střídavého proudu	341
44.4.1	Elektrodynamický komparátor	341
44.4.2	Momentový komparátor	342
44.4.3	Výkonová váha	345
44.5	Měření činného výkonu střídavého proudu při velkých fázových posunech	348
44.6	Integrační váha pro porovnání práce stejnosměrného a střídavého proudu	352
45.	Zkoušení a ověřování elektroměrů	357
45.1	Zkoušení elektroměrů měřením výkonu a času	360
45.1.1	Zkoušení podle číselníku	361
45.1.2	Zkoušení podle otáček otáčivého systému	365
45.2	Zkoušení elektroměrů etalonovým elektroměrem	367
45.3	Zkoušení jednofázových elektroměrů jednosystémovým etalonovým elektroměrem pro neproměnné zatížení	369
45.4	Zkoušení vícesystémových elektroměrů jednosystémovým etalonovým elektroměrem pro neproměnné zatížení ve spojení s trojfázovou integrační vahou	370
45.5	Zkoušení elektroměru měřením úhlové rychlosti jeho otáčivého systému	374

45.6	Zkoušení etalonových elektroměrů	377
45.7	Zkušební stanice	378
45.7.1	Základní schéma zapojení a provedení	378
45.7.2	Některé zdroje chyb	380
45.7.3	Symetizační zařízení	382
45.7.4	Určování sledu fází	384
46.	Zkoušení a ověřování měřicích transformátorů	384
46.1	Kompenzační metody	389
46.1.1	Přímé měření chyb měřicích transformátorů napětí	389
46.1.2	Přímé měření chyb měřicích transformátorů proudu	391
46.2	Kompenzátor s ampérvávitovou superpozicí	393
46.3	Výchylkové metody s elektrodynamickým ústrojím	394
46.3.1	Měření chyb měřicích transformátorů napětí	394
46.3.2	Měření chyb měřicích transformátorů proudu	397
46.4	Výchylkové metody s měřicím vektorů	397
46.4.1	Měření vektorů elektrických veličin	397
46.4.2	Měření chyb měřicích transformátorů napětí	400
46.4.3	Měření chyb měřicích transformátorů proudu	402
46.4.4	Měření chyb v polárních souřadnicích	403
46.5	Přesnost měření	403
H.	LITERATURA	403