

Obsah

Předmluva vědeckého redaktora	15
Předmluva autora	16
Předmluva překladatele	17
1. Podstata a funkce jednofázového transformátoru	18
1.1. Podstata	18
Magnetický obvod	19
Elektrické obvody	20
1.2. Funkce	21
Chod naprázdno	21
Chod při zatížení	24
2. Magnetizace jednofázového magnetického obvodu a ztráty v železe	27
2.1. Úvodní poznámky	27
2.2. Magnetizace železa	32
2.3. Základní tvary magnetického obvodu jednofázových transformátorů	41
2.4. Výpočet magnetizačního proudu jednofázových transformátorů s magnetickými obvody z izotropního plechu	45
2.4.1. Magnetický obvod skládaný natupo	45
2.4.2. Jádrový magnetický obvod přeplátovaný pod úhlem 90°	49
2.4.3. Plášťový magnetický obvod (obr. 2.19), magnetický obvod čtyřjádrový (obr. 7.16) a pětijádrový (obr. 2.20)	51
2.5. Výpočet magnetizačního proudu jednofázových transformátorů s magnetickými obvody z anizotropního plechu	52
2.6. Ztráty v železe	56
2.6.1. Ztráty způsobené hysterezí	56
2.6.2. Ztráty vířivými proudy	58
2.6.3. Celkové ztráty	61
2.7. Ztráty v železe jednofázových transformátorů	64
2.8. Zákon podobnosti	66
2.9. Proud naprázdno	67
2.10. Nový druh plechu válcovaného za studena	69
2.11. Magnetostrikce transformátorových plechů	70
Literatura	73

3. Rovnice a vektorové diagramy jednofázového transformátoru	74
3.1. Rozptylové magnetické toky transformátoru	74
3.2. Rovnice funkce transformátoru	76
3.3. Vektorové diagramy	81
3.4. Transformátor nakrátko	88
3.5. Rozptylový tok v jednofázovém transformátoru nakrátko.	91
3.6. Úbytek napětí	93
3.7. Smysl vinutí a označení svorek	99
3.8. Jmenovité hodnoty transformátoru	101
Literatura	103
4. Výpočet rozptylových napětí a rozptylových indukčních odporů ve dvouvinuťových transformátorech	104
4.1. Úvodní poznatky	104
4.2. Výpočet rozptylové reaktance X_z sousých vinutí dvouvinuťového transformátoru	105
4.2.1. Přímá metoda.	105
4.2.2. Výpočet rozptylové reaktance z energie magnetického pole	112
4.3. Zvláštní případy sousých vinutí	119
4.3.1. Dělení sousých vinutí	119
4.3.2. Vinutí říditelných transformátorů	122
4.4. Transformátory s osově odstupňovaným vinutím vyššího napětí	125
4.5. Vystřídání vinutí	127
4.5.1. Symetrické vystřídání vinutí	127
4.5.2. Rogowského činitel	129
4.5.3. Nesymetrické vystřídání vinutí	130
4.6. Prostorová nesymetrie ampérvávitů u sousých vinutí	132
4.6.1. Mezera v jednom vinutí při stejných výškách obou vinutí	133
4.6.2. Nesymetrie na obou koncích jednoho vinutí	137
4.6.3. Symetrické přerušování vinutí na dvou místech	138
4.6.4. Výpočet střední délky siločar příčného rozptylového toku.	140
4.6.5. Jedno z vinutí rozdělené mezerami na $v + 1$ stejných částí.	141
4.6.6. Výpočet střední délky siločar rozptylového toku u vinutí majících stejné mezery na vstupní i výstupní straně	142
4.7. Nesymetrie poloměrů vystřídání vinutí	143
4.8. Všeobecné poznámky	144
4.9. Příklady	144
Literatura	159

5. Ztráty nakrátko	161
5.1. Úvodní poznámky	161
5.2. Ztráty ve vinutí	161
5.2.1. Výpočet přídavných ztrát způsobených vířivými proudy	163
5.2.2. Kritická šifka vodiče	171
5.2.3. Přídavné ztráty ve vinutí říditelných transformátorů	172
5.2.4. Přídavné ztráty ve vystřídáných vinutích	174
5.2.5. Přídavné ztráty vzniklé neúplným vystřídáním	174
5.2.6. Ztráty v sousých vinutích vyvolané radiální složkou rozptylového pole	181
5.3. Přídavné ztráty nakrátko v konstrukčních částech	183
5.4. Celkové ztráty nakrátko	183
5.5. Přepočtení ztrát nakrátko na teplotu +75 °C	185
Literatura	186
6. Transformace trojfázového proudu	188
6.1. Trojfázové transformátory	188
6.2. Spojení fází vstupní strany	192
6.3. Spojení fází výstupní strany	193
6.3.1. Skupina spojení hvězda – hvězda	193
6.3.2. Skupina spojení trojúhelník – hvězda	195
6.3.3. Skupina spojení hvězda – trojúhelník	196
6.4. Skupina spojení lomená hvězda	197
6.5. Velké transformátory s rozdělenými vinutími nižšího napětí.	200
6.6. Druhy činnosti transformátorů	203
6.7. Použití teorie jednofázového transformátoru u trojfázového transformátoru	204
Literatura	205
7. Magnetizace trojfázového magnetického obvodu	207
7.1. Trojfázový souměrný magnetický obvod	207
7.1.1. Vstupní vinutí spojené do hvězdy s vyvedeným nulovým bodem	208
7.1.2. Vstupní vinutí spojené do trojúhelníka	209
7.1.3. Vstupní vinutí spojené do hvězdy bez vyvedeného nulového bodu; výstupní vinutí – do trojúhelníka	210
7.1.4. Vstupní vinutí spojené do hvězdy bez vyvedeného nulového bodu; výstupní vinutí – do hvězdy nebo lomené hvězdy	210
7.2. Trojfázový nesouměrný magnetický obvod	211
7.2.1. Vstupní vinutí spojené do hvězdy s vyvedeným nulovým bodem	211
7.2.2. Vstupní vinutí spojené do trojúhelníka	213

7.2.3.	Vstupní vinutí spojené do hvězdy bez vyvedeného nulového bodu, výstupní vinutí do trojúhelníku (obr. 7a)	215
7.2.4.	Vstupní strana spojená do hvězdy s nevyvedeným nulovým vývodem, výstupní strana do hvězdy nebo lomené hvězdy.	216
7.3.	Pětijádrový transformátor	217
7.4.	Čtyřjádrový magnetický obvod jednofázového transformátoru	222
7.5.	Trojfázový transformátor se souměrným magnetickým obvodem se spojkami spojenými do trojúhelníku	225
7.6.	Výpočet ztrát v železe a magnetizačního proudu u trojfázových transformátorů	228
	Literatura	232
8.	<i>Skupiny spojení trojfázových transformátorů</i>	233
8.1.	Nesymetrické zatížení	233
8.1.1.	Impedance nulové složky. Skupina spojení hvězda—hvězda s vyvedeným nulovým bodem na výstupní straně	235
8.1.2.	Skupina spojení trojúhelník—hvězda s vyvedenou nulou na výstupní straně	251
8.1.3.	Skupina spojení hvězda—lomená hvězda s vyvedeným nulovým bodem na výstupní straně	254
8.1.4.	Skupiny spojení bez vyvedeného nulového bodu na výstupní straně	254
8.2.	Charakteristické znaky jednotlivých skupin spojení	261
8.2.1.	Skupina spojení hvězda—hvězda (Yy)	261
8.2.2.	Skupina spojení trojúhelník—hvězda (Dy)	263
8.2.3.	Skupina spojení hvězda—trojúhelník (Yd)	265
8.2.4.	Skupina spojení hvězda—lomená hvězda (Yz)	265
	Literatura	266
9.	<i>Účinnost</i>	267
	Literatura	276
10.	<i>Paralelní chod transformátorů</i>	277
10.1.	Prvá podmínka	278
10.1.1.	Stejný převod	278
10.1.2.	Shodnost fáze výstupních napětí u trojfázových transformátorů	281
10.2.	Druhá podmínka — rovnoměrnost zatížení	290
10.3.	Třetí podmínka — shodnost posunutí proudů	296
10.4.	Paralelní chod při nesymetrickém zatížení	297
10.5.	Ekonomie paralelního chodu	297
10.6.	Příklady	300
	Literatura	301

11. Zkratové proudy a síly	302
11.1. Ustálený zkrat u jednofázového transformátoru	302
11.2. Ustálený zkrat u trojfázového transformátoru	303
11.3. Přejídné stavy	303
11.4. Působení sil na vinutí. Obecné pojmy	309
11.5. Radiální síly	312
11.6. Působení radiálních sil na vnější vinutí	318
11.7. Působení radiálních sil na vnitřní vinutí	325
11.8. Podélné (osové) síly	328
11.8.1. Souosé symetrické vinutí	328
11.8.2. Osové síly při existenci osové nesymetrie ampérvávitů	339
11.8.3. Příklad výpočtu osových sil	340
11.8.4. Příklady rozložení osových sil	341
11.8.5. Působení osových sil na vinutí	343
11.9. Časový průběh působení sil	344
11.10. Síly v uspořádáních s děleními vinutími	348
11.11. Mechanická pevnost transformátorů s hliníkovým vinutím	350
11.12. Závěrečné poznámky	350
Literatura	352
12. Přepětí	354
12.1. Atmosférická přepětí.	354
12.1.1. Vznik a přenos atmosférických přepětí	354
12.1.2. Přepětí na svorkách transformátoru chráněného jiskřištěm nebo výfukovou bleskojistkou. Rázové zkoušky	356
12.1.3. Přepětí na svorkách transformátoru chráněného ventilovou bleskojistkou	362
12.1.4. Koordinace izolace pro atmosférická přepětí	368
12.2. Vnitřní přepětí	371
12.2.1. Střídavá přepětí	371
12.2.2. Rezonanční přepětí	373
12.2.3. Přepětí při vypínání nezatížených transformátorů	373
12.2.4. Přepětí při vypínání kondenzátorů nebo dlouhých vedení	378
12.2.5. Odolnost transformátorů proti spínacím přepětím	380
12.2.6. Koordinace izolace respektující spínací přepětí. Hranice snižování hladin izolace	381
12.3. Vnitřní přepětí u vinutí.	383
12.3.1. Rozložení napětí	383
12.3.2. Princip teorie stojatých vln	398
12.3.3. Závěry plynoucí z teorie stojatých vln	411
12.3.4. Mezičivková přepětí	415

12.3.5.	Vlnová impedance transformátoru	422
12.3.6.	Závěry z teorie putujících vln	423
12.3.7.	Metody vyrovnávání počátečního rozložení napětí	425
12.3.8.	Porovnání přepětí změřených na transformátoru vyjmutém z nádoby s přepětími vznikajícími za provozu a při rázových zkouškách	436
12.3.9.	Měření na modelech	437
12.3.10.	Rázové zkoušky transformátoru	439
12.3.11.	Buzení transformátoru při rázových zkouškách.	440
12.4.	Přenos napětí transformátory	442
12.4.1.	Kmity spřažených obvodů	442
12.4.2.	Počáteční rozložení ve výstupním vinutí	443
12.4.3.	Elektromagnetický přenos napětí v různých skupinách spojení	445
12.4.5.	Přepětí v odbočkových vinutích říditelných transformátorů	450
12.4.6.	Přepětí v autotransformátorech	451
	Literatura	453
13.	<i>Oteplování a chlazení transformátorů</i>	<i>456</i>
13.1.	Stárnutí izolace	456
13.2.	Způsoby chlazení transformátorů	458
13.3.	Způsoby přenosu tepla	460
13.3.1.	Vedení	460
13.3.2.	Konvekce	465
13.3.3.	Sálání	470
13.4.	Oteplení olejového transformátoru	472
13.5.	Výpočet oteplení vinutí vzhledem k oleji	477
13.5.1.	Válcová jednovrstvová nebo vícevrstevová vinutí	477
13.5.2.	Vícevrstevové cívky bez radiálních kanálů a bez zvláštní vnější izolace	478
13.5.3.	Vinutí z jednotlivých vícevrstevových cívek	481
13.5.4.	Vinutí z plochých cívek	483
13.6.	Tepelný výpočet olejové nádoby s přirozeným chlazením	484
13.6.1.	Všeobecné poznámky	484
13.6.2.	Vlnová nádoba	485
13.6.3.	Trubkové a radiátorové nádoby	487
13.7.	Chlazení s umělým ofukováním	489
13.8.	Chlazení s nuceným oběhem oleje a odděleným chladičem	491
13.9.	Porovnání systémů chlazení	493
13.10.	Přechodové tepelné stavy transformátoru	494
13.11.	Časová konstanta vinutí	496
13.12.	Časová konstanta transformátoru jako celku	498
13.13.	Použití zákona stárnutí izolace	500

13.14.	Tepelné přechodové stavy. Přetížení	502
13.15.	Zkratky v provozu	505
13.16.	Ochrana izolace transformátoru před stárnutím	509
	Literatura	511
14.	<i>Zapínací proud</i>	513
14.1.	Zapínací proud u jednofázových transformátorů	513
14.2.	Zapínací proud u trojfázových transformátorů	521
14.3.	Způsoby zmenšení zapínacího proudu	523
	Literatura	523
15.	<i>Trojvinitý transformátor</i>	524
15.1.	Rozptylová napětí a induktivní rozptylové reaktance	524
15.1.1.	Vliv zatížení jednoho z výstupních vinutí na napětí druhého výstupního vinutí	524
15.1.2.	Pracovní rovnice trojvinitého transformátoru. Vektorové diagramy. Náhradní reaktance	530
15.2.	Náhradní schéma	535
15.3.	Výkon jednotlivých vinutí. Zatížitelnost trojvinitého transformátoru.	537
15.3.1.	Jmenovitý výkon vinutí a jmenovitý výkon transformátoru	537
15.3.2.	Jmenovité ztráty trojvinitého transformátoru	539
15.3.3.	Napětí nakrátko	539
15.4.	Úbytek napětí	543
15.5.	Přídavné ztráty ve vinutích trojvinitého transformátoru	547
15.6.	Paralelní chod	551
15.6.1.	Paralelní chod trojvinitých transformátorů	551
15.6.2.	Paralelní chod trojvinitých transformátorů s dvouvinitými	552
15.7.	Použití teorie trojvinitého transformátoru pro některé případy dvouvinitého transformátoru	554
15.8.	Zkratky v sítích spojených trojvinitým transformátorem.	558
15.9.	Číselné příklady	564
15.10.	Síly působící na vinutí trojvinitého transformátoru	574
15.11.	Trojvinité transformátory vyráběné polským průmyslem	577
	Literatura	579
16.	<i>Autotransformátory</i>	580
16.1.	Základní závislosti.	580
16.2.	Energetické autotransformátory	588
16.3.	Další použití autotransformátorů	593
	Literatura	593

17. Řízení napětí změnou převodu transformátoru	595
17.1. Základní poznámky	595
17.2. Změna převodu ve stavu bez napětí	596
17.3. Řiditelné transformátory	597
17.4. Zásadní schémata řízení	599
17.5. Zásady návrhu vinutí říditelných transformátorů	602
17.6. Princip řízení napětí při zatížení	605
17.7. Řízení napětí v autotransfornátorech	613
17.7.1. Spojovací autotransfornátory	613
17.7.2. Přídavné říditelné autotransfornátory	616
17.8. Řízení napětí užitím sériového přídavného transformátoru	619
17.9. Transformátory a transformátorové soupravy pro řízení rozložení proudu v uzavřených sítích	623
Literatura	628
18. Některé zvláštní transformátory	629
18.1. Transformátory pecové	629
18.2. Zkušební transformátory	633
18.3. Svařovací transformátory	638
18.4. Transformace dvoufázového proudu	642
18.5. Scottovo zapojení	642
Literatura	645
Doplňky literatury	646