

OBSAH

	Seznam použitých symbolů	13
I.	Základy diagnostiky poruch izolací elektrických strojů	17
1.	Úvod	20
2.	Spolehlivost elektrických zařízení v provozu	20
2.1.	Vliv konstrukce a výroby	20
2.2.	Vliv řízení provozu na spolehlivost	22
2.3.	Životnost elektrických zařízení	24
3.	Stárnutí izolace	26
3.1.	Tepelné stárnutí	27
3.2.	Elektrické stárnutí	29
4.	Nedestruktivní zkoušky	30
4.1.	Měření činitele ztrát	30
4.1.1.	Scheringův můstek	31
4.1.2.	Wattmetrická metoda	32
4.1.3.	Závislost ztrátového činitele na napětí	33
4.1.4.	Vzduchové dutiny v izolaci	34
4.1.5.	Vzrůst ztrátového činitele jako kritérium pro stanovení obsahu vzduchu v izolaci	36
4.1.6.	Závislost ztrátového činitele na teplotě	38
4.1.7.	Ztrátový činitel a obsah vlhkosti v izolaci	40
4.2.	Zjišťování částečných výbojů v izolaci vysokofrekvenčními metodami	42
4.2.1.	Vliv částečných výbojů na elektrickou pevnost	45
4.3.	Izolační proud a izolační odpor	45
4.3.1.	Časová závislost izolačního proudu	45
4.3.2.	Činitel polarizace	48
4.3.3.	Velikost zpětného proudu po jedné minutě	49
4.3.4.	Kapacita a obsah vlhkosti v izolaci	50
4.3.5.	Izolační odpor	52
4.3.6.	Měření izolačního odporu nižším napětím	52
4.3.7.	Měření izolačního odporu vysokým stejnosměrným napětím	53
4.3.8.	Význam napěťových charakteristik izolačního odporu	56
4.3.9.	Poměrná odchylka průběhu izolačního odporu od Ohmova zákona	57
4.3.10.	Dynamická časová konstanta	57
4.4.	Rentgen	58
4.5.	Ultrazvuk	60

5.	Destruktivní zkoušky	61
5.1.	Napěťové zkoušky	61
5.2.	Minutová zkouška střídavým napětím	63
6.	Strukturální diagnostické metody	63
6.1.	Plynová chromatografie	64
6.2.	Gelová permeační chromatografie (GPC)	65
6.3.	Infračervená spektroskopie	65
6.4.	Vysokotlaká rtuťová porozimetrie	66
II.	Diagnostická měření statorové izolace generátorů	67
8.	Úvod	67
9.	Obecné zásady pro měření	67
9.1.	Intervaly mezi měřeními	67
9.2.	Teplota vinutí při měření	68
9.3.	Způsob připojení měřeného vinutí	69
9.4.	Porovnatelnost výsledků měření získaných u různých strojů	69
9.5.	Příprava vinutí chlazeného vodou	70
9.6.	Bezpečnost při měření	70
10.	Vizuální kontrola vinutí	71
10.1.	Teplotní namáhání	71
10.2.	Chemické namáhání	72
10.3.	Mechanické namáhání	72
10.4.	Znečištění povrchu izolační soustavy	72
11.	Měření izolačního odporu při konstantním stejnosměrném napětí	73
11.1.	Princip metody	73
11.2.	Popis měření	73
11.3.	Chyby při měření	74
11.4.	Vyhodnocení výsledků měření	74
11.5.	Měření izolačního odporu vinutí chlazených vodou	77
12.	Měření závislosti izolačního odporu na stejnosměrném napětí	77
12.1.	Princip metody	77
12.2.	Popis měření	79
12.3.	Vyhodnocení měření	80
12.3.1.	Grafické vyhodnocení měření	80
12.3.2.	Vyhodnocení podle poměrné odchylky od Ohmova zákona	80
12.3.3.	Vyhodnocení podle dynamické časové konstanty	81

13.	Zkoušky zvýšeným napětím	81
13.1.	Zkoušky střídavým napětím s kmitočtem 50 Hz	84
13.2.	Zkouška napětím tvaru jedné půlvlny	86
13.3.	Zkouška napětím nízkého kmitočtu	87
13.4.	Zkouška stejnosměrným napětím	87
14.	Kapacita statorové izolační soustavy	89
14.1.	Zjišťování tyčí s navhlou izolací	89
15.	Ztrátový činitel	92
15.1.	Princip metody	92
15.2.	Způsob měření	93
15.3.	Přístroje	93
15.4.	Chyby při měření	94
15.5.	Vyhodnocení výsledků měření ztrátového činitele	95
16.	Měření částečných výbojů	98
16.1.	Vznik částečných výbojů	98
16.2.	Metody měření částečných výbojů	99
16.2.1.	Měření ztrátové charakteristiky	100
16.2.2.	Měření ionizačního proudu	100
16.2.3.	Měření částečných výbojů pomocí magnetické sondy	102
16.3.	Vyhodnocení měření	102
17.	Aplikace strukturálních metod v diagnostice generátorů	103
18.	Závěr	104
III.	Izolační oleje	106
19.	Izolační soustavy olej — papír	106
20.	Stárnutí izolačních olejů	107
20.1.	Tepelné stárnutí izolačních olejů	107
20.2.	Oxidační stárnutí izolačních olejů	109
20.3.	Stárnutí izolačních olejů vlivem cizích příměsí	110
21.	Metodika odběru vzorků izolačních olejů ze strojů	110
22.	Diagnostické metody pro určení stupně zestárnutí izolačních olejů	113
22.1.	Barva izolačního oleje	115
22.2.	Zákal izolačního oleje	118
22.3.	Přítomnost inhibitorů	118
22.4.	Číslo kyselosti	119
22.5.	Číslo zmydlnění	120

22.6.	Usazeniny a rozpustné kaly	121
22.7.	Obsah vody v izolačním oleji	122
22.8.	Obsah inhibitoru	123
22.9.	Elektrická pevnost	123
22.10.	Rezistivita	127
22.11.	Ztrátový činitel	130
22.12.	Poměrná permitivita	134
22.13.	Mezipovrchové napětí na rozhraní voda — olej	135
22.14.	Index lomu a měrná optická disperze	137
22.14.1.	Stanovení ukazatele zestárnutí	138
22.15.	Chromatografický rozbor	141
22.15.1.	Diagnostika stupně tepelného zestárnutí a určení druhu poruchy	147
22.15.2.	Rozbor příčin poruchy stroje při signalizaci plynového relé	149
22.16.	Infračervená spektroskopie	150
23.	Zkoušky urychleného stárnutí izolačních olejů	152
24.	Vyhodnocení stupně zestárnutí izolačních olejů	154
IV.	Výkonové transformátory	159
25.	Úvod	159
26.	Příprava stroje k měření	161
27.	Určení teploty stroje	162
27.1.	Obecné zásady při měření činného odporu vinutí	163
27.2.	Výpočet teploty stroje a měření činného odporu	164
27.2.1.	Návrh postupu pro určení parametrů měřicího obvodu	166
28.	Izolační odpor	167
28.1.	Všeobecné požadavky a využití metody měření izolačního odporu	167
28.1.1.	Činitel polarizace	170
28.1.2.	Časová konstanta	171
28.2.	Měření izolačního odporu	173
28.2.1.	Způsoby zapojení měřeného stroje	173
28.2.2.	Chyby měření a opatření k jejich omezení	178
28.2.3.	Vliv vnitřního odporu zdroje při měření izolačního odporu	180
28.3.	Vyhodnocení měření izolačního odporu	182
29.	Ztrátový činitel a kapacita vinutí	183
29.1.	Některé druhy náhradních obvodů pro vyjádření vlastností izolačních soustav při střídavém napětí	183
29.1.1.	Paralelní kombinace <i>RC</i>	184
29.1.2.	Sériová kombinace <i>RC</i>	185
29.1.3.	Dvě kapacity paralelně	186
29.1.4.	Dvě kapacity v sérii	187
29.1.5.	Dvě kapacity v sérii, popř. paralelně s odporem	188

29.2.	Měření na neuzemněných objektech	190
29.2.1.	Měření velkých kapacit	192
29.3.	Měření na uzemněných objektech	193
29.3.1.	Měření s obráceným můstkem	193
29.3.2.	Měření s uzemněnou diagonálou	194
29.4.	Rušivé vlivy při měření	197
29.4.1.	Zvětšení přesnosti měření v podmínkách rušení	198
29.4.2.	Parazitní vazby	200
29.4.3.	Chyby měření způsobené indukčností vinutí	204
29.5.	Diagnostické možnosti a vyhodnocení naměřených výsledků	205
29.5.1.	Měřicí napětí	206
29.5.2.	Určení stavu pevné izolace a dílčích vlastností jednotlivých vinutí z výsledků měření	207
29.5.3.	Vyhodnocení měření	213
30.	Diagnostické jevy využívající polarizační jevy v dielektriku	215
30.1.	Metoda kapacita — čas	215
30.2.	Metoda kapacita — kmitočet	217
30.3.	Metoda kapacita — teplota	218
31.	Teplotní závislosti izolačních charakteristik	219
31.1.	Přepočty výsledků měření a stanovení absolutních hodnot teplotních konstant K	221
31.2.	Změny teplotních konstant vyvolané provozními stavy	225
32.	Další diagnostické metody	226
32.1.	Střídavé metody	226
32.2.	Stejnoseměrné metody	227
32.3.	Neelektrické metody	227
32.4.	Nové progresivní diagnostické metody	228
32.4.1.	Metoda nízkonapěťových rázů	228
32.4.2.	Měření částečných výbojů	230
33.	Několik poznámek k revizím strojů z hlediska diagnostiky	232
V.	Kondenzátorové průchodky	234
34.	Úvod	234
35.	Konstrukce průchodek vvn	235
35.1.	Průchodky s bariérovou izolací	235
35.2.	Průchodky s papírovou izolací napuštěnou izolačním olejem (měkká izolace)	235
35.3.	Průchodky s izolací z tvrzeného papíru (tvrdá izolace)	235
36.	Teplota průchodek	236
37.	Soubor metod používaný v diagnostice průchodek	237
37.1.	Měření izolačního odporu	237
37.2.	Měření kapacity	238

37.3.	Měření ztrátového činitele	239
37.3.1.	Konstrukce měřicích vývodů a postup při měření	240
37.3.2.	Vyhodnocení měření ztrátového činitele	242
37.4.	Měření izolačního oleje	243
37.5.	Měření částečných výbojů	244
	Literatura	245
	Rejstřík	251