

Obsah

1 ÚVOD	11
2 TECHNICKÁ DIAGNOSTIKA: ZÁKLADNÍ POJMY	13
2.1 Diagnostické prostředky	14
2.2 Technický stav objektu	15
2.3 Porucha, vada, provozuschopnost, funkčnost	16
2.4 Údržba objektu	17
2.5 Diagnostický model	19
2.5.1 Definice a členění diagnostických modelů	19
2.5.2 Analytický model	19
2.5.3 Parametrický model	20
2.5.4 Logický model	21
2.5.5 Topologický model	21
2.6 Defektoskopie	22
2.6.1 Úvod	22
2.6.2 Základní defektoskopické metody	23
2.6.3 Detekční schopnost defektoskopických metod	25
Doporučená literatura	27
3 ANALÝZA A ZPRACOVÁNÍ DIAGNOSTICKÝCH SIGNÁLŮ	29
3.1 Signály a jejich rozdělení	30
3.2 Digitalizace signálů	31
3.2.1 Aliasing	31
3.2.2 Analogově číslicový převod	34
3.3 Amplitudové popisy signálů	35
3.4 Integrální transformace	38
3.5 Autokorelace, vzájemná korelace	38
3.6 Spektrální analýza pomocí Fourierovy transformace	40
3.6.1 Výkonová spektrální hustota	48
3.6.2 Režimy spektrální analýzy	50
3.6.3 Zvětšování rozlišení spektrální analýzy	51
3.6.4 Krátkodobá DFT (STFT)	54

3.7	Kepstrální analýza	56
3.8	Analýza obálky, Hilbertova transformace, analytický signál	59
3.9	Vlnková (wavelet) transformace	63
3.9.1	Spojité vlnková transformace	63
3.9.2	Diskrétní vlnková transformace	65
3.9.3	Diskrétní stacionární vlnková transformace	71
3.9.4	Vlnkové pakety	71
3.10	Potlačování šumu a ostatních rušivých složek	73
3.10.1	Číslicová filtrace FIR a IIR filtry	73
3.10.2	Nekauzální filtrace	77
3.10.3	Nelineární filtry, mediánový filtr	78
3.10.4	Synchronní průměrování	81
3.10.5	Potlačování šumu pomocí vlnkové transformace	84
3.11	Kalmanova a Vold-Kalmanova filtrace	86
3.12	Amplitudová modulace, lock-in zesilovač	89
3.13	Slepé zpracování signálů	91
3.14	Beamforming	93
	Doporučená literatura	94
4	AUTOMATIZACE DIAGNOSTICKÝCH SYSTÉMŮ	97
4.1	Rozpoznávání v technické diagnostice	99
4.1.1	Statistický pohled na klasifikaci a odhadování	100
4.1.2	Metodické přístupy v klasifikaci	101
4.1.3	Návrh systému pro klasifikaci	104
4.1.4	Předzpracování signálů	105
4.2	Výpočet příznaků	105
4.2.1	Výběr příznaků	107
4.2.2	Extrakce příznaků	109
4.3	Statistické metody klasifikace	112
4.3.1	Bayesovské metody	112
4.3.2	Nebayesovské metody	113
4.3.3	Parametrické a neparametrické odhady	113
4.3.4	Klasifikace metodou nejbližšího souseda	115
4.3.5	Support Vector Machines	116
4.3.6	Učení bez učitele, shluková analýza	118
4.3.7	Testování a vyhodnocování	120

4.4	Neuronové sítě v diagnostice	123
4.4.1	Neuron a neuronové sítě	124
4.4.2	Perceptron	128
4.4.3	Vícevrstvé sítě	130
4.4.4	Neuronová síť s radiálními bázovými funkcemi	133
	(RBF) 133	
4.4.5	Hopfieldova neuronová síť	135
4.4.6	Kohonenova neuronová síť	138
4.4.7	Pravděpodobnostní neuronové sítě	140
4.5	Diagnostické expertní systémy	141
4.5.1	Expertní systémy založené na pravidlech	145
4.5.2	Neurčitost	148
4.5.3	Pseudobayesovské rozhodování	149
4.5.4	Diagnostické úlohy	150
4.5.5	Vývoj a aplikace expertních systémů	152
4.6	Fuzzy systémy v diagnostice	154
4.6.1	Fuzzy množiny	154
4.6.2	Logické operace s fuzzy množinami	157
4.6.3	Lingvistické proměnné	159
4.6.4	Fuzzifikace, defuzzifikace	160
4.6.5	Inference	162
4.6.6	Fuzzy expertní systémy	166
4.6.7	Adaptivní neuro-fuzzy inferenční systém	167
	Doporučená literatura	168

5 VIBRODIAGNOSTIKA STROJNÍCH OBJEKTŮ 169

5.1	Základní pojmy	170
5.2	Absolutní senzor výchylky	175
5.3	Absolutní senzory rychlosti	178
5.4	Absolutní senzory zrychlení – akcelerometry	179
5.4.1	Piezoelektrický akcelerometr	180
5.4.2	Piezorezistivní a kapacitní akcelerometry	188
5.5	Senzory výchylky, polohy a posuvu	190
5.6	Senzory otáček ve vibrodiagnostice	191
5.7	Laserové interferometrické vibrometry	192
5.8	Analýza vibrodiagnostického signálu v časové oblasti	195
5.8.1	Celkové vibrace stroje	196

5.8.2	Měření kinematické dráhy hřídele	198
5.9	Frekvenční analýza vibrodiagnostického signálu	199
5.9.1	Rozbor závad rotačních systémů dle pásma kmitočtového spektra	199
5.9.1.1	Oblast nízkých kmitočtů	199
5.9.1.2	Oblast středních kmitočtů	202
5.9.1.3	Oblast vysokých a velmi vysokých kmitočtů	207
5.10	Odhadování otáčkové frekvence	211
	Doporučená literatura	213
6	HLUKOVÁ DIAGNOSTIKA	215
6.1	Hluk a technický stav objektu	216
6.2	Akustické veličiny	216
6.3	Interference vln a rázy	219
6.4	Zvukoměr, mikrofon	221
6.4.1	Dvougromfonní sonda intenzity zvuku	222
6.5	Akustická holografie	225
	Doporučená literatura	226
7	AKUSTICKÁ EMISE	227
7.1	Fyzikální podstata akustické emise	228
7.2	Nespojitá (impulzní) akustická emise	229
7.2.1	Jednorozměrná lokalizace zdroje emisní události	230
7.2.2	Dvojrozměrná hyperbolická lokalizace emisní události ...	231
7.3	Spojité akustická emise	233
7.3.1	Kavitace	234
7.3.2	Lokalizace netěsnosti nebo trhliny v potrubí	235
7.3.3	Kaiserův efekt	236
7.4	Vybrané principy vyhodnocování signálů akustické emise	237
	Doporučená literatura	238
8	TERMOGRAFIE	239
8.1	Pasivní termografie	240
8.2	Aktivní termografie	241
8.2.1	Teorie tepelné vlny	242
8.2.2	Pulzní termografie	243
8.2.3	Lock-in termografie	244

8.2.4	Aktivní pulzní a lock-in ultrazvuková termografie	245
8.2.5	Ukázky termogramů	247
8.2.6	Aktivní termografie s využitím kapalných krystalů	247
8.2.7	Vibrotermografie	248
	Doporučená literatura	248
9	PRŮMYSLOVÉ ENDOSKOPY	249
9.1	Boroskopy	250
9.2	Fibroskopy	251
9.3	Videoskopy	251
9.4	Videomikroskop	252
9.5	Endoskopická měření	253
9.5.1	Srovnávací měření	253
9.5.2	Stanovení geometrických rozměrů	253
	Doporučená literatura	255
10	INTERFEROMETRIE V DEFEKTOSKOPII	257
10.1	Holografické interferometrie	259
10.1.1	Optická holografie	259
10.1.2	Metody holografické interferometrie	261
10.2	Číslicová spekl interferometrie	261
10.3	Shearografie	264
	Doporučená literatura	266
11	ULTRAZVUKOVÁ DEFEKTOSKOPIE	267
11.1	Úvod	268
11.2	Ultrazvukové sondy	272
11.2.1	Piezoelektrické měniče	272
11.2.2	Piezoelektrické sondy	274
11.2.3	Piezoelektrické kompozity	276
11.2.4	Elektromagnetický měnič (EMAT)	277
11.2.5	Základní parametry ultrazvukových sond	279
11.3	Metody zkoušení	280
11.3.1	Impulzová průchodová metoda	281
11.3.2	Impulzová odrazová metoda	282
11.3.3	Imerzní metoda	282
11.3.4	Metoda fázového pole	283

11.3.5	Metoda SAFT	285
11.4	Impulzový ultrazvukový přístroj	285
11.5	Metody zobrazení ultrazvukových signálů	287
11.6	Ultrazvuková spektrometrie	289
11.7	Vyhodnocovací diagramy	290
11.7.1	DGS-diagram, AVG-diagram	291
11.7.2	DAC diagram	294
11.8	Technika zkoušení úhlovou sondou	295
11.9	Ultrazvukové kalibrační měrky	295
11.9.1	Kalibrační měrka K1	296
11.9.2	Kalibrační měrka K2	296
11.9.3	Stupňová kalibrační měrka	297
11.10	Filtrace ultrazvukových signálů	297
	Doporučená literatura	301

12 MAGNETICKÁ DEFEKTOSKOPIE

A MAGNETO-INDUKTIVNÍ TESTOVÁNÍ 303

12.1	Základní magnetické veličiny	304
12.2	Magnetická defektoskopie	307
12.3	Způsoby magnetování	308
12.3.1	Podélné (pólové) magnetování	308
12.3.2	Příčné (cirkulární) magnetování	309
12.3.3	Kombinované magnetování	309
12.3.4	Magnetovací elektrický proud	310
12.4	Metody indikace rozptylových polí	312
12.4.1	Zviditelnění rozptylových polí	312
12.4.2	Elektrické metody snímání rozptylových polí	313
12.5	Magneto-induktivní testování	315
	Doporučená literatura	316

13 ELEKTROMAGNETICKÁ DEFEKTOSKOPIE

(DEFEKTOSKOPIE VÍŘIVÝMI PROUDY) 319

13.1	Vířivé proudy a hloubka vniku	320
13.2	Typy sond	323
13.2.1	Absolutní sondy	324
13.2.2	Diferenční sondy	325

13.3	Způsoby vyhodnocování defektů	326
13.4	Speciální metody	329
13.4.1	Impulzní napájení budicí cívky	329
13.4.2	Multifrekvenční napájení budicí cívky	329
13.4.3	Skenovací rotační sondy	329
13.4.4	Pole sond	331
13.4.5	Metoda vzdáleného pole	331
13.4.6	SQUID gradiometr	332
13.5	Automatizace testování metodou vířivých proudů	334
13.5.1	Vyhodnocování defektoskopie vířivými proudy pomocí expertních systémů	343
	Doporučená literatura	343
14	PRŮMYSLOVÁ RADIOLOGIE	345
14.1	Fyzikální princip radiologie	346
14.2	Zeslabení rentgenového záření	349
14.3	Radiografie	351
14.4	Radioskopie	352
14.4.1	Paměťová folie	352
14.4.2	Zesilovač obrazu	353
14.4.3	Plošné detektory	354
14.5	Číslicové zpracování obrazu	355
14.6	Počítačová rentgenová tomografie	356
14.7	Modulační přenosová funkce	360
	Doporučená literatura	362
15	POTENCIOMETRIE	365
15.1	Napájecí proud	366
15.2	Vyhodnocení hloubky a sklonu trhliny	367
	Doporučená literatura	368
16	KAPILÁRNÍ DEFEKTOSKOPIE	369
16.1	Princip	370
16.2	Postup kapilární defektoskopické zkoušky	370
16.3	Kapilární skenovací metoda	372
16.4	Kapilární měřky	373
	Doporučená literatura	374

PŘÍLOHY

PŘÍLOHA I:

Výběr z ČSN ISO 13379 375

PŘÍLOHA II:

Výběr norem pro vibrodiagnostiku a hlukovou diagnostiku 380

REJSTŘÍK **383**

Adresy prodejen BEN technické literatury **407**

Pár slov o nakladatelství **408**