

1	ÚVOD	14
2	KDE ZAČÍT SE SPOLEHLIVOSTÍ ASYNCHRONNÍCH ELEKTROMOTORŮ	16
3	BEZDEMONTÁŽNÍ TECHNICKÁ DIAGNOSTIKA	17
3.1	MOŽNOSTI POSUZOVÁNÍ TECHNICKÉHO STAVU ASYNCHRONNÍCH ELEKTROMOTORŮ	23
3.2	ZAČLENĚNÍ VIBRODIAGNOSTIKY DO PRŮBĚHU TECHNICKÉHO ŽIVOTA STROJŮ – ASYNCHRONNÍCH ELEKTROMOTORŮ	27
3.2.1	KONSTRUKČNÍ DIAGNOSTIKA	28
3.2.2	KONTROLNÍ DIAGNOSTIKA	28
3.2.3	PROVOZNÍ DIAGNOSTIKA - PROVOZNÍ SPOLEHLIVOST	29
3.2.4	DIAGNOSTIKA TECHNOLOGICKÝCH PROCESŮ	31
4	VZNIK VIBRACÍ U ROTUJÍCÍCH STROJŮ	32
4.1	ZÁKLADNÍ PRINCIPY VZNIKU VIBRACÍ	32
4.2	ANALÝZA SIGNÁLŮ BUZENÝCH CHVĚNÍM	35
4.2.1	ČASOVÁ OBLAST	35
4.2.2	FREKVENČNÍ OBLAST	36
4.2.3	MODÁLNÍ OBLAST	37
4.2.4	ZÁVISLOSTI MEZI ČASOVOU, FREKVENČNÍ A MODÁLNÍ OBLASTÍ	39
4.3	KLASIFIKACE SIGNÁLŮ	40
5	MECHANICKÝ PŮVOD VIBRACÍ ROTUJÍCÍCH STROJŮ A ASYNCHRONNÍCH ELEKTROMOTORŮ	43
5.1	NEVYVÁŽENOST	43
5.1.1	STATICKÁ NEVYVÁŽENOST	44
5.1.2	MOMENTOVÁ NEVYVÁŽENOST	45
5.1.3	KVAZISTATICKÁ NEVYVÁŽENOST	45
5.1.4	DYNAMICKÁ NEVYVÁŽENOST	46
5.2	OHNUTÁ HŘÍDEL	47
5.3	NESOUOSOST HŘÍDELEÍ, SPOJKY, VŮLE	47
5.4	SPOJKY	48
5.5	VŮLE V ULOŽENÍ AGREGÁTU	49

5.6	VYŠŠÍ A SUBHARMONICKÉ FREKVENCE	49
5.7	SAMOBUDÍCÍ VIBRACE LOŽISEK	51
5.8	VALIVÁ LOŽISKA JAKO ZDROJ VIBRACÍ	52
5.8.1	KINEMATIKA POHYBU A OTÁČKOVÁ FREKVENCE	52
5.8.2	KINEMATIKA PŘI ČISTÉM VALENÍ	54
5.8.3	REZONANCE KONSTRUKČNÍCH DÍLŮ	56
5.8.4	SHRNUTÍ PRO VIBRACE VALIVÉHO LOŽISKA	58
5.9	VIBRACE PŘEVODOVÝCH SKŘÍNÍ	61
5.10	KLUZNÁ LOŽISKA JAKO ZDROJ VIBRACÍ	69
5.10.1	LOŽISKOVÁ VŮLE	72
5.10.2	PŘÍVOD OLEJE DO LOŽISKA A MAZACÍ DRÁŽKY	73
5.10.3	MAZÁNÍ	74
5.10.4	OPOTŘEBENÍ KLUZNÝCH LOŽISEK	74
5.10.5	VIBRAČNÍ OPOTŘEBENÍ	75
5.10.6	ŽIVOTNOST LOŽISKA	76
5.10.7	FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ ŽIVOTNOST KLUZNÉHO LOŽISKA ZA PROVOZU	76
5.11	NÁVRH DIAGNOSTICKÉHO SYSTÉMU	77
5.11.1	TRIBODIAGNOSTIKA	78
5.11.2	METODY SLEDOVÁNÍ STAVU OPOTŘEBENÍ STROJNÍHO ZAŘÍZENÍ	78
5.11.3	VIBRODIAGNOSTIKA	79
5.11.4	MOŽNÉ ZÁKLADNÍ PROBLÉMY KLUZNÝCH LOŽISEK:	79
5.11.5	RENOVACE LOŽISKOVÝCH PÁNVÍ	80

6 ELEKTROMAGNETICKÝ PŮVOD VIBRACÍ ROTUJÍCÍCH STROJŮ A ASYNCHRONNÍCH ELEKTROMOTORŮ **81**

6.1	HLUK ELEKTROMAGNETICKÉHO PŮVODU	82
6.2	HLUK MECHANICKÉHO PŮVODU	83
6.3	ELEKTROMAGNETICKÝ HLUK ASYNCHRONNÍCH STROJŮ	85
6.3.1	Vliv stupňových harmonických na radiální síly	85
6.3.2	Vliv drážkování statoru a rotoru	90
6.3.3	Vliv deformace vzduchové mezery	91
6.3.4	Vliv neharmonického napájení	92

7 PRINCIP ASYNCHRONNÍHO ELEKTROMOTORU **94**

7.1	PRINCIP PŮSOBENÍ ASYNCHRONNÍHO MOTORU	95
7.2	USPOŘÁDÁNÍ ASYNCHRONNÍCH ELEKTROMOTORŮ	96
7.3	VINUTÍ INDUKČNÍCH STROJŮ	100

8.1	POSUZOVÁNÍ STROJŮ NA ZÁKLADĚ ZNALOSTI SKUTEČNÉHO TECHNICKÉHO STAVU OBJEKTU	102
8.2	ZPŮSOBY OVĚŘOVÁNÍ TECHNICKÉHO STAVU STROJŮ POMOCÍ TECHNICKÉ BEZDEMONTÁŽNÍ DIAGNOSTIKY	103
8.3	ÚČINNOST ZAVEDENÍ BEZDEMONTÁŽNÍ TECHNICKÉ DIAGNOSTIKY OBECNĚ	105
8.4	EFEKTY ZAVEDENÍ TECHNICKÉ BEZDEMONTÁŽNÍ TECHNICKÉ DIAGNOSTIKY	107
8.4.1	ALTERNATIVNÍ NÁVRHY VYČÍSLNÍ EKONOMICKÉHO PŘÍNOSU TECHNICKÉ DIAGNOSTIKY PŘI ÚDRŽBĚ HMOTNÉHO INVESTIČNÍHO MAJETKU	108
8.5	TECHNICKÁ BEZDEMONTÁŽNÍ DIAGNOSTIKA STROJŮ V APLIKACI NA STROJNÍ ZAŘÍZENÍ A ASYNCHRONNÍ ELEKTROMOTORY	110
8.5.1	STROJE S JEDNODUCHOU KINEMATIKAU	110
8.5.2	DIAGNOSTIKA STROJŮ SE SLOŽITOU KINEMATIKAU	110
8.6	DIAGNOSTICKÁ METODA A DIAGNOSTICKÝ PARAMETR	111
8.7	VIBRODIAGNOSTICKÁ MĚŘENÍ VIBRACÍ	111
8.7.1	PŘÍPRAVA MĚŘENÍ	111
8.8	MĚŘÍCÍ PŘÍSTROJ	113
8.8.1	ZPŮSOB VIBRODIAGNOSTICKÝCH MĚŘENÍ STROJŮ SE SLOŽITOU KINEMATIKAU	116
8.8.2	INTENZITA MĚŘENÍ	117
8.8.3	KVALIFIKACE PRACOVNÍKŮ	117
8.8.4	RUTINNÍ ČINNOST ÚTVARU BEZDEMONTÁŽNÍ TECHNICKÉ DIAGNOSTIKY	118
8.8.5	ZKUŠENOSTI SE ZAVÁDĚNÍM BEZDEMONTÁŽNÍ TECHNICKÉ DIAGNOSTIKY	118

9 METODIKA PRO PROVÁDĚNÍ VIBRAČNÍ DIAGNOSTIKY STROJŮ SE SLOŽITOU KINEMATIKAU **119**

9.1	URČENÍ MĚŘÍCÍCH BODŮ	119
9.2	URČENÍ LOŽISKOVÝCH A ZUBOVÝCH FREKVENCÍ	120

10 BEZDEMONTÁŽNÍ TECHNICKÁ DIAGNOSTIKA ELEKTROMOTORU **123**

10.1	VIBRODIAGNOSTIKA	123
10.2	ZKOUŠKA VÝKONOVÝCH PARAMETRŮ	126
10.2.1	ZKRATY V MAGNETICKÝCH OBVODECH	127
10.2.2	PŘERUŠENÉ ROTOROVÉ VINUTÍ	129
10.2.3	ŠPATNĚ PROVEDENÁ IZOLACE VINUTÍ	129
10.2.4	NEDOKONALÁ IMPREGNACE VINUTÍ	129
10.2.5	DIAGNOSTIKA IZOLACE	130

11 VLIV NESYMETRIE ELEKTROMAGNETICKÉHO POLE ELEKTROMOTORU NA POHÁNĚNÝ MECHANISMUS

142

11.1	IDENTIFIKACE PORUCHY ELEKTROMOTORU ZAPŘÍČINĚNÉ NESYMETRIÍ ELEKTROMAGNETICKÉHO POLE A JEHO VLIV NA POHÁNĚNÝ MECHANISMUS	143
11.2	METODA VYVAŽOVÁNÍ NELINEÁRNÍCH SOUSTAV	147
11.3	EXPERIMENTÁLNÍ SIMULACE A ANALÝZA NESYMETRIE ELEKTROMAGNETICKÉHO POLE ASYNCHRONNÍHO ELEKTROMOTORU	151
11.3.1	NÁVRH KONSTRUKCE ZKUŠEBNÍHO AGREGÁTU	151
11.3.2	ZAPOJENÍ AGREGÁTU A ŘÍZENÍ OTÁČEK	152
11.4	POSTU MĚŘENÍ PŘI ZJIŠŤOVÁNÍ NELINEARITY ELEKTROMAGNETICKÉ POLE	153
11.4.1	POLOHA STATORU VŮČI ROTORU UPRAVENÉHO ELEKTROMOTORU	154
11.4.2	MĚŘENÍ VIBRACÍ NA EXPERIMENTÁLNÍM MODELU	154
11.4.3	MĚŘENÍ TEPLOTNÍCH POLÍ AGREGÁTU	155
11.4.4	MĚŘENÍ ELEKTRICKÝCH VELIČIN AGREGÁTU	157
11.5	ANALÝZA CELKOVÝCH HODNOT VIBRACÍ A FREKVENČNÍCH SPEKTER VIBRACÍ	157
11.6	VÝHODNOCENÍ VLIVU NESYMETRICKÉHO ELEKTROMAGNETICKÉHO POLE NA VIBRACE ELEKTROMOTORU V ZÁVISLOSTI NA VELIKOSTI VZDUCHOVÉ MEZERY	159
11.6.1	ANALÝZA ELEKTRICKÝCH VELIČIN	160
11.7	METODIKA STANOVENÍ KVALITY SYMETRIE ELEKTROMAGNETICKÉHO POLE POMOCÍ ANALÝZY VIBRACÍ	164
11.8	EXPERIMENTÁLNÍ STANOVENÍ VLIVU NEVYVÁŽENOSTI ROTORU ASYNCHRONNÍHO ELEKTRICKÉHO MOTORU NA VLASTNÍ MECHANICKOU SOUSTAVU A POHÁNĚNÝ MECHANIZMUS	167

12 OBVYKLÁ FREKVENČNÍ SPEKTRA ZÁVAD POHONŮ A ASYNCHRONNÍCH ELEKTROMOTORŮ

170

12.1	NEVYVÁHA	170
12.1.1	STATICKÁ NEVYVÁHA	170
12.1.2	MOMENTOVÁ NEVYVÁHA	171
12.1.3	NEVYVÁHA PŘEVISLÉHO ROTORU	172
12.1.4	EXCENTRICKÝ STŘED OTÁČENÍ	172
12.1.5	OHNUTÁ HRÍDEL	173
12.2	NESOUOSOST	174
12.2.1	ÚHLOVÁ NESOUOSOST	174
12.2.2	ROVNOBĚŽNÁ NESOUOSOST	174
12.2.3	NESOUOSÉ LOŽISKO	175
12.3	REZONANCE	176
12.4	MECHANICKÉ UVOLNĚNÍ	176
12.5	PŘIDÍRÁNÍ ROTORU	177

12.6	KLUZNÁ LOŽISKA	178
12.6.1	OPOTŘEBENÍ NEBO VŮLE	178
12.6.2	NESTABILITA OLEJOVÉHO FILMU, VÍŘENÍ OLEJE	179
12.6.3	NESTABILITA OLEJOVÉHO FILMU, TLUČENÍ OLEJE	180
12.7	VALIVÁ LOŽISKA	180
12.7.1	1. FÁZE PORUCHY VALIVÉHO LOŽISKA	180
12.7.2	2. FÁZE PORUCHY VALIVÉHO LOŽISKA	181
12.7.3	3. FÁZE PORUCHY VALIVÉHO LOŽISKA	182
12.7.4	4. FÁZE PORUCHY VALIVÉHO LOŽISKA	182
12.8	LOPATKOVÉ FREKVENCE	183
12.9	TURBULENCE	184
12.10	KAVITACE	185
12.11	OZUBENÉ PŘEVODY	185
12.11.1	SPEKTRUM OZUBENÉHO PŘEVODU	185
12.11.2	OPOTŘEBENÍ ZUBŮ	186
12.11.3	ZATÍŽENÍ ZUBU	187
12.11.4	EXCENTRICITA KOLA	187
12.11.5	NESOUOSOST KOL	188
12.11.6	HLEDÁNÍ PROBLÉMU OZUBENÍ	189
12.11.7	ZLOMENÝ ZUB	189
12.12	PROBLÉMY NA ELEKTRICKÝCH TOČIVÝCH STROJÍCH	190
12.12.1	MAGNETICKO-MECHANICKÉ ZÁVADY STATORU ASYNCHRONNÍHO ELEKTROMOTORU	190
12.12.2	EXCENTRICKÝ ROTOR ASYNCHRONNÍHO ELEKTROMOTORU	190
12.12.3	ROTOROVÉ PROBLÉMY ASYNCHRONNÍHO ELEKTROMOTORU	191
12.13	PROBLÉMY ŘEMENOVÝCH POHONŮ	192
12.13.1	VADNÉ ŘEMENY	192
12.13.2	NESOUOSOST ŘEMENE A KLDKY	192
12.13.3	EXCENTRICITA KLDKY	193

13 STANOVENÍ MAXIMÁLNĚ PŘÍPUSTNÝCH HODNOT VIBRACÍ PROVOZOVANÝCH STROJŮ

13.1	NÁRŮST VIBRACÍ V URČITÉM NÁSOBKU REFERENČNÍHO SPEKTRA	194
13.2	POSOUZENÍ POROVNÁNÍM NAMĚŘENÝCH HODNOT S MEZNÍMI HODNOTAMI Z NOREM A SMĚRNIC	195
13.2.1	STATISTICKÉ METODY VÝPOČTU MAXIMÁLNÍCH HODNOT VIBRACÍ	200
13.2.2	STANOVENÍ MAXIMÁLNĚ PŘÍPUSTNÝCH HODNOT VIBRACÍ ZE ZATÍŽENÍ LOŽISKA	202
13.2.3	URČENÍ MAXIMÁLNĚ PŘÍPUSTNÝCH HODNOT VIBRACÍ PRO DIAGNOSTIKOVANÁ LOŽISKA STROJE SE SLOŽITOU KINEMATIKAU, KTERÝM JE DOBÝVACÍ KOMBAIN	208
13.2.4	ANALÝZA NAMĚŘENÝCH HODNOT	210

14	POHONNÉ MECHANISMY A JEJÍCH NEDOSTATKY	213
14.1	PODDIMENZOVANÝ PŘÍVOD POHÁNĚCÍ ENERGIE	214
14.2	PŘI POUŽITÍ ELEKTRICKÉ ENERGIE REGULOVANÉ STŘÍDAČI, SÍŤ JE ŠPATNĚ NEDOSTATEČNĚ NAVRŽENA	223
14.3	NELINEARITY SYSTÉMU REGULACE OTÁČEK ASYNCHRONNÍCH ELEKTROMOTORŮ S KOTVOU KROUŽKOVOU	234
14.4	NEDOSTATEČNĚ A NEKVALITNĚ PROVEDENÝ ZÁKLAD POD POHON	240
14.5	PORUŠENÝ ZÁKLAD POHONU PROVOZOVÁNÍM	245
14.6	MĚKKÝ ZÁKLADOVÝ RÁM POD POHONEM	254
14.7	NEODBORNĚ PROVEDENÁ MONTÁŽ POHONU NA ZÁKLADOVÝ RÁM	255
14.8	VLIV POHONU NA PROSTŘEDÍ A PROSTŘEDÍ NA POHON	257
14.9	NEVYHOVUJÍCÍ SOUOSOST HNACÍHO A HANĚHO MECHANISMU POHONU	259
14.10	REZONANCE POHONU	265
14.11	VÝROBNÍ NEBO PROVOZNÍ ZÁVADY NA HNACÍM A HANĚM MECHANISMU	269
14.12	ŠPATNĚ PROVEDENÁ FREKVENČNÍ ANALÝZA NAMĚŘENÝCH SPEKTER V JEDNOTLIVÝCH BODECH POHONU	280
14.13	MĚŘENÍ PROVEDENO POUZE NA STROJNÍ NEBO ELEKTRICKÉ ČÁSTI POHONU	286
14.14	KONSTRUKČNÍ NEZNALOST DIAGNOSTIKOVANÉHO POHONU	286
15	DOSLOV	288
16	PUBLIKACE	290
17	SEZNAM LITERATURY	295