

Állapotfüggő Karbantartás Műszaki Diagnosztika I.

Rezgésdiagnosztika

Dr. Nagy István

2006.

Műszaki Diagnosztika
ISBN 963 06 0806 5
Műszaki Diagnosztika I.
ISBN 963 06 0807 3

Copyright © Delta-3N Kft.

Minden jog fenntartva. A könyv másolása egészében, vagy részleteiben jogszerűtlen, törvény által büntetendő cselekmény. A jogtulajdonos írásos engedélye nélkül tilos másolni, sokszorosítani, reprodukálni bármilyen eszközzel, másolatát tilos tárolni bármilyen adathordozón ide értve az elektronikus adattároló eszközöket is.

Kiadó: Delta-3N Kft.
7030 Paks, Jedlik Á. u. 2.
<http://www.delta3n.hu>

Kiadásért felelős: Dr. Nagy István
Tel.: 06-75 / 510-115
Fax: 06-75 / 510114
ügyvezető-igazgató
drnagy@delta3n.hu

Nyomdai előkészítés: Plézer Mátyás
Borító terv: Plézer Mátyás
Nyomda: Pauker Nyomda

Tartalom

Előszó	9
A szerzőről	10
1. Bevezetés	11
2. Karbantartási stratégiák	13
Üzemelés meghibásodásig	13
Tervszerű megelőző karbantartás	13
Állapotfüggő karbantartás	15
Megelőző karbantartás	16
Kockázat alapú karbantartás	18
3. Rezgés tan alapjai	20
Mi a rezgés	20
Alapfogalmak	21
A rezgés vektoros ábrázolása	28
4. Mechanikai rezgés	31
Egyszabadságfokú harmonikus rezgés	31
Harmonikus rezgések összege, lebegés	35
Harmonikus rezgés csillapítással	36
Kényszerrezgés csillapítás nélkül	41
Kényszerrezgés csillapítással	43
Kettő- és több szabadságfokú rezgés	46
Kétszabadságfokú tömeg-rugó rendszer szabad	
harmonikus mozgása	47
Két összekapcsolt inga viselkedése	51
A kétszabadságfokú rendszerek szabad mozgásának	
általános leírása	54
Kétszabadságfokú rendszer gerjesztett	
harmonikus mozgása	55
5. A rezgés vizsgálat néhány alapfogalma	57
A rezgés additivitása, összetett rezgés	57
Rezgés amplitúdó és frekvencia skálák	58
Fázis	64
Idő- és frekvencia tartomány, Fourier transzformáció	66
6. Rezgés jelek mérése és feldolgozása	67
Érzékelők	67
Elmozdulás érzékelők	67
Sebesség érzékelők	68
Rezgésgyorsulás érzékelők	69
Analog-digitális jelátalakítás	72

Aliasing	74
Analizátorok, spektrumanalízis	76
Időben korlátozott jelek spektruma, ablakfüggvények	87
Kifolyás	90
Léckerítés effektus	91
Ablakolás	93
Háromszög (Bartlet) ablak	95
Hann-ablak, vagy Hanning-ablak	95
Hamming-ablak	98
Blackman-ablak	99
Átlagolás	100
Átlapolás	101
7. Rezgésvizsgálat néhány módszere	104
Időjelek vizsgálata	104
Gépek tengelyének mozgása: Orbitok	104
Az orbit és a teljes spektrum kapcsolata	105
Időszinkron mintavételezés	106
Crest Factor	108
Kényszerrezgések vizsgálata	109
Sajátfrekvenciás rezgések, rezonancia jelenségek	110
Teljesítménysűrűség spektrum	114
Cepstrum analízis	114
Demodulált spektrum	118
Amplitúdó moduláció a gépállapot diagnosztikában	119
Root Cause Failure Analysis (RCFA)	123
Fázis vizsgálatok	124
Gépek rezgésszintjének mérése, szabvány-előírások	125
A frekvencia analízis White-féle szabályai	126
8. Rendszerek, szerkezetek dinamikai vizsgálata	130
Parseval teorema	130
Autókorreláció függvény	131
Weiner-Hincsin tétel	132
Rendszer analízis	132
Súly- és átviteli függvény	133
Teljesítmény átviteli függvény	134
Keresztkorreláció- és kereszt-teljesítménysűrűség függvény	134
Koherencia	136
Lineáris és nem-lineáris rendszerek	136
Szerkezetek dinamikai vizsgálata	138
ODS Üzemi rezgésalak vizsgálat	139
Modálanalízis alapjai	140
Mobilitás mérések	142
Kísérleti modálanalízis	147

9. Gépek rezgésvizsgálata a gyakorlatban	155
Mérőpontok elhelyezése	156
Egyirányú- és triaxiális érzékelők	157
Érzékelő orientáció	157
Mérési körülmények	158
Rezgésfelügyelet	159
Mérési ciklusidők	160
Spektrumok összehasonlítása, normalizáció	161
Referencia spektrum	162
Spektrum maszk	163
Trendelemzés	164
Gerjesztési frekvenciák	165
Rezgésspektrumok kiértékelése	167
Rezgéselemzéshez szükséges gépadatok	167
Adat validitás	168
A spektrumelemzés lépései	170
10. Gépállapot diagnosztika	172
Mechanikai hibák	173
Kiegyensúlyozatlanság	173
Statikus kiegyensúlyozatlanság	174
Dinamikus kiegyensúlyozatlanság	175
Összetett kiegyensúlyozatlanság	176
Egyoldalt csapágyazott forgórész kiegyensúlyozatlansága	176
Kiegyensúlyozatlanság vertikális gépek esetén	177
Excentrikus forgórész	178
Tengely beállítási hiba	178
Párhuzamos tengely beállítási hiba	179
Szögbeli tengely beállítási hiba	180
Összetett tengely beállítási hiba	181
Hőmérséklet hatása a tengelybeállításra	182
Görbült tengely	182
Tengely beállítási hiba és a görbült tengely megkülönböztetése	183
Ferdén beépített csapágy	183
Kuplunghibák	185
Siklócsapágyas gépek diagnosztikája	186
Olajörvénylés, olajfilm instabilitás (whirl) és olajütés (whip) a siklócsapágyakban	188
Siklócsapágy lazulás, hézagprobléma	189
Siklócsapágy kenési hiányosságok, surlódás	191
Siklócsapágyas gépek támcsapágy kopása	192
Siklócsapágyas gépek tengely beállítási hibája	192
Gördülőelemes csapágyak hibái	194
Gördülőelemes csapágy kopása, lazulása	202

Mechanikai lazulás	202
Forgórész belső megfogásának lazulása	203
Strukturális lazulás	204
Talpcsapágy lazulás	205
Rezonancia Jelenségek	205
Gépek rezonancia problémája	206
Külső gerjesztés	207
Forgórész tengelyrepedés, tengelytörés	218
Villamos eredetű hibák	211
AC motorok	211
Zártatos vasmag	213
Laza áramszedők, fázis-probléma	213
Forgórész deformációja hő hatására	214
Légrés excentrikusság, laza forgórész	214
Laza forgórész rudak	215
Görbült, vagy törött forgórész rúd	216
Rotor rúd monitorozás motoráram analízissel	217
Excentrikus forgórész	218
Állórész ovalitása, excentricitása	218
Állórész tekercsszám frekvencia	219
Laza állórész tekercselés	220
Motor puhaláb	220
DC motorok vizsgálata	221
Áramlás keltette rezgés	222
Centrifugális szivattyúk, ventilátorok vizsgálata	222
Kavitáció centrifugális szivattyúkban	224
Áramlási turbulencia	225
Turbina diagnosztika	227
Fogaskerekes szivattyúk diagnosztikája	228
Csavarszivattyúk felügyelete	228
Axiális átfolyású ventilátorok	228
Centrifugális ventilátorok	229
Centrifugális kompresszorok	229
Szíj- és lánchajtású gépek vizsgálata	230
Rosszul illesztett, kopott, vagy megnyúlt szíj, lánc	230
Excentrikus tárcsa, tárcsaütés	231
Szíj, vagy lánc beállítási hiba	232
Szíj, lánc rezonancia, vagy ütés	233
Hajtóművek rezgésfelügyelete	234
Fogaskerék áttétel	234
Fogaskerék kopás	235
Fogaskerék túlterhelés	236
Fogaskerék foghézag, túl nagy holtjáték	237

Sérült, repedt, vagy törött fog.....	238
Excentrikus fogaskerék, vagy görbült tengely.....	239
Tarokkírozó hajtómű fogak.....	239
Fogaskerekek tengely bellítási hibával.....	240
Bolygó hajtómű.....	241
Fogaskerék szellemfrekvencia.....	243
Fogszámok közös osztóval.....	243
Dugattyús gépek rezgésvizsgálata.....	243
Dugattyús kompresszorok, robbanó- és diesel motorok.....	243
12. Irodalomjegyzék.....	245
11. Név és tárgymutató.....	249

Köszönetnyilvánítás

Nagy hálával gondolok vissza Dr. Keviczky Lászlóval és Dr. Bokor Józseffel közös projektek időszakára, ami megalapozta szakmai irányultságomat.

Keviczky professzor, akadémikus világszerte elismert és nagyra értékelt iskolát teremtett a sztochasztikus jelek vizsgálata, modellezése, a folyamatszabályozás, a diagnosztikai mérések és analízis területén. Én is ezen iskola követőjének vallom magam.

Bokor professzor, akadémikus barátom mély elméleti ismeretével és kivételes gyakorlati érzékével a gépállapot diagnosztika, az irányítás és a szabályozás területének egyik nemzetközileg is elismert vezető szakértője.

Szerencsésnek mondhatom magam, hogy éveken keresztül dolgozhattam együtt e két szaktekintéllyel és munkatársaival gépfelügyelő diagnosztikai rendszerek fejlesztésén. Mindkettőjüknek szeretnék köszönetet mondani szakmai fejlődésem támogatásáért.

Mint annyi más könyv, ez sem született volna meg, ha csak a szerzőre van bízva.

Hogy megjelenhetett, köszönet illeti Dr. Szántó Jenő barátomat, a Dunaújvárosi Főiskola rektor-helyettesét, aki biztatott, hogy mielőbb írjam meg ezt a könyvet, ami olyan gépállapot diagnosztikai ismereteket tekint át, ami az egyetemi, főiskolai oktatásban éppúgy használható, mint a gyakorlatban, a termelésben, a karbantartásban.

Pap Norbert barátom és munkatársam végigkísérte a könyv megírását, az elejétől egészen a nyomtatás előkészítéséig és aktívan közreműködött annak teljessé tételében. Az ábrák döntő részét ő készítette el, ami nagyban hozzájárul a könyv mondanivalójának megértéséhez.

Plézer Mátyás komoly munkával segítette a könyv megjelenését a rajzok, ábrák szerkesztésével és a szakszerű, professzionális nyomdai előkészítéssel. A borító is tetsetősre sikeredett.

Végül, de nem utolsósorban szeretnék köszönetet mondani feleségemnek, Zsuzsannának, aki biztatott és türelmes volt aszerint, hogy éppen mire volt szükségem.

Hálával tartozom az olvasóimnak is azért, hogy drága idejüket áldozzák arra, hogy ezt a könyvet kezükbe fogják, olvassgatják. Remélem nem minden haszon nélkül.

A szerző

Előszó

Tisztelt Olvasóm! Ezt a könyvet három kötetesre tervezem.

Az első kötet a rezgésdiagnosztikával foglalkozik, ami a műszaki diagnosztika leginkább kiforrottnak mondható területe. Remélem, hogy elegendő mélységű információt tartalmaz ahhoz, hogy aki ezen a területen szeretne boldogulni, az kellőképpen fel legyen vértézve azokkal az ismeretekkel, melyek a mérések korrekt elvégzéséhez és a diagnózisok szakszerű felállításához szükségesek.

A második kötetben kollégáimmal a termográfiát, a forgógépek kiegyensúlyozását és tengely-beállítását, valamint az ExpertALERT rezgésdiagnosztikai szakértői rendszer működését tekintjük át.

A harmadik kötetben kerítünk sort az ultrahangos hibadetektálás, az olajanalízis, a ferrográfia, a mozgásanimációs vizsgálatok, a gépvédelmi rendszerek és a reaktor-diagnosztika tárgyalására.

Remélem, hogy jelen munkám elolvasása után szívesen veszik majd kézbe a készülő másik két könyvet is.

A szerzőről

Dr. Nagy István
arckép.

A szerző Dr. Nagy István, nukleáris mérnök-fizikus, diplomáját a Moszkvai Energetikai Műszaki Egyetem Atomerőművek és Nukleáris Kísérleti Berendezések szakán szerezte 1977-ben. A műszaki tudományok kandidátusa fokozatot Moszkvában szerezte 1988-ban reaktordiagnosztika témában elért eredményei révén. Egyetemi doktori címét a Budapesti Műszaki egyetemen kapta, kandidátusi fokozatát a Magyar Tudományos Akadémia honosította 1990-ben.

Dolgozott az MTA Központi Fizikai Kutató Intézetében, ahol az első hazai atomerőmű fizikusi feladatainak ellátására készült fel. A Paksi atomerőműben több munkakörben dolgozott: reaktorfizikus, majd a fizikusok vezetője, később a reaktordiagnosztikai részleg vezetője. Dolgozott műszaki referensként az Atomerőmű létesítésének Kormánybiztosa mellett, majd üzembe helyezőként. Később megalakítja az Olajterv Paksi Kirendeltségét, melynek egy ideig vezetője. Dolgozott az MTA SZTAKI főmunkatársaként is.

Jelenleg a Dunaújvárosi Főiskolán tanít és saját vállalkozását, a Delta-3N Kft-t irányítja.

A Delta-3N Kft. (www.delta3n.hu) profilja a műszaki diagnosztika. Ezen belül kiemelkedő helyet foglal el a forgógépek rezgésdiagnosztikája, amit az egyedülálló teljesítménnyel rendelkező ExpertALERT szakértői rendszer tesz nagyon hatékonyá, amit a DLI Engineering Corp. (www.dliengineering.com)fejlesztett ki a US NAVY követelményei alapján. A cég foglalkozik még forgógépek kiegyensúlyozásával, lézeres tengely beállítással, termográfiával, ferrográfiával, ultrahangos szivárgás- és hibadiagnosztikával. A cég gépállapot diagnosztikai szolgáltatásokon kívül gépvédelmi és diagnosztikai rendszerek fejlesztésével, eszköz és műszer kereskedelemmel, és diagnosztikai oktatással is foglalkozik. A cég kiemelkedő ipari megrendelői a MOL Nyrt., a Paksi Atomerőmű Zrt. és a Nitrogénművek Zrt.

A szerző nagy ipari tapasztalattal rendelkezik gépek állapotvizsgálata, és diagnosztikai rendszerek fejlesztése területén. A témában több képzésen is részt vett és oklevelet szerzett az Egyesült Államokban, és maga is rendszeresen oktat.

1. Bevezetés

A gépek karbantartása, vagy ahogy napjainkban korszerűen nevezik az üzemfenntartás, mindig a termelés alapja volt és valószínűleg ez így is marad, amíg gépekkel termel az emberiség. Ennek ellenére úgy tekintenek rá, mint szükséges rosszra, ami növeli a költségeket, bizonyos időnként pedig még a termelést is le kell állítani miatta. Az a tapasztalatom, hogy a legtöbb ipari termelő vállalatnál a karbantartás rovására próbálják meg lefaragni a költségeket, így az üzemfenntartást a cégek egy kicsit mostoha gyerekként kezelik, pedig sok múlik rajta. Ha a karbantartás szót kiejtjük a szánkon, akkor egy rossz régi beidegződés révén a legtöbb ember szemei előtt egy olajos ruhás idősebb szaki jelenik meg. Ez a kép - habár erősen tartja magát - már egy kissé elavult. Napjaink karbantartójait valószínűleg jobban jellemzi az a szakember, aki több időt tölt a számítógépe előtt mérési eredményeket kiértékelve, karbantartási háló- és ütemterveket készítve, Interneten információk után kutatva, hálózaton adatbázisokban dolgozva, mint az általa felügyelt gépek mellett, melyek ráadásul nagy valószínűséggel tiszták, pedánsak.

Napjaink karbantartói ugyanis korszerű állapot-felügyelő és diagnosztikai módszereket használnak a karbantartandó gépek hibáinak feltárására és mérések alapján hoznak döntést arra vonatkozóan, hogy kell-e valamilyen beavatkozás az egyes gépeknél és ha igen, akkor konkrétan mit kell csinálni és milyen sürgősséggel. Karbantartó szakemberünk megteheti, hogy öltönyben és nyakkendőben dolgozson, vagy legalábbis elegáns sportos ruhát viseljen munka közben.

Az ipari forradalom hőskora óta nagyon nagy változáson ment keresztül az ipari termelés gyakorlata és maga a karbantartás, vagy üzemfenntartás is. A korszerű karbantartási szervezetek munkájukat mérésekre alapozottan a gépek állapotának

függvényében szervezik meg, szolgáltatóként kielégítve a termelést irányító szervezetek igényeit. A mérésekhez igen korszerű műszereket, analizátorokat és feldolgozó szoftvereket használnak, nemegyszer még mesterséges intelligenciával működő szakértői rendszereket is.

A karbantartási programok egyik legfontosabb célja az idők során nem változott. Ez pedig a gépkiesések elkerülése. A váratlan gépkiesés - túl a termelés kiesése által okozott káron - olyan jelentős géphibát is okozhat, amelynek felszámolása nagy költségekkel lehetséges csupán. A gépmeghibásodások az anyagi károkon kívül az üzemeltetők egészségét és a környezetet is veszélyeztethetik attól függően, hogy a technológia milyen anyagokat használ és a sérülés milyen következményekkel jár.

A karbantartás második legfontosabb célja a gépek állapotának pontos ismeretével felmérni és pontosan tervezni a karbantartási és javítási munkákat, ezeknek a munkáknak a szükségleteit. Ez azt jelenti, hogy minimalizálni kell a raktárkészletet és a túlórákat. A termelő gépek és rendszerek javítását, karbantartását ideális esetben a tervezett üzemleállás ideje alatt kell elvégezni előre tervezetten, ütemtervek alapján.

A karbantartás harmadik legfontosabb célja, a gyár vagy üzem termelésének növelése a termelés alatti gépleállások valószínűségének jelentős csökkentése révén, és azáltal, hogy a kritikus gépek állásidejének csökkentésével a termelő rendszerek és gépek kapacitás-kihasználását a lehetséges legnagyobb értéken tartja.

A karbantartás céljai között van az is, hogy előre tervezhető és ésszerű munkaidő kihasználást biztosítson a karbantartó személyzet számára.

Egyik barátom, aki az amerikai hadsereg mellett szolgált polgári műszaki szakemberként, egyszer azt mondta, hogy az amerikai hadsereg azért sikeres, mert a gépei működőképesek, jól szervezett a karbantartása, amely gépállapot diagnosztikai vizsgálati módszerekre támaszkodik.

Ennek fontossága szerintem fokozottan érvényes a polgári ipari termelő vállalatoknál. Azok a cégek sikeresek, azok képesek a termelést, a termelékenységet és a minőséget növelni megőrizve a biztonságot, nem károsítva a környezetet, amelyek jól szervezik meg gépeik karbantartó-javító tevékenységét, és ehhez használják a műszaki diagnosztika sokféle mérési és kiértékelési módszerét is.