

Dr Miloš Milovančević
Savremeni koncept vibrodijagnostike rotacionih mašina

U monografiji su sistematski analizirani standardi koji definišu stanje radne ispravnosti rotacionih mašina na osnovu monitoringa vibracija i utvrđeni tehnički uslovi neophodni za merenje vibracija. Takođe, sagledana je primena PIC mikrokontrolera nove generacije, u minimalnoj konfiguraciji (single chip computer), kao i koncept monitoringa značajnih parametara objekta vibrodijagnostike, u cilju preventivne i proaktivne zaštite rotacionih mašinskih sistema.

U monografiji se ističe da PIC mikrokontroleri omogućavaju da se kapitalizuje postojeća informatička infrastruktura i da se na ekonomičan način kreira sistem za monitoring vibracija. Uređaji bazirani na PIC mikrokontrolerima omogućavaju lako integrisanje sa postojećim hardverskim i softverskim komponentama.

Monografija opisuje pristup utvrđivanju stanja radne ispravnosti sintezom i komparativnom analizom potencijalnih sistema za monitoring vibracija rotacionih mašina i promovise dijagnostički sistem zasnovan na PIC tehnologiji. U delu nisu sagledani aspekti korišćenja PLC-a u vibrodijagnostici.

Savremeni koncept vibrodijagnostike rotacionih mašina

Autor sistametski i kompletno razmatra mogućnosti primene PIC mikrokontrolera u utvrđivanju stanja radne ispravnosti rotacionih mašina, imajući u vidu standarde i norme za merenje vibracija.

Modern concept of vibration-diagnostics of rotation machines

Author systematical and completely considers the possible applications of the microcontroller in determining the proper working order of the rotating machinery, regarding standards and norms for measuring vibration.

Uvod 3

1. Merenje vibracija sa ciljem utvrđivanja stanja radne ispravnosti mašinskih sistema	5
1.2. Vibracija kao parametar stanja.....	6
1.2. Utvrđivanje uzroka neispravnosti tehničkih sistema.....	12
1.3. Ekspertni sistemi za dijagnozu stanja sistema.....	15
1.3.1. Veštačka inteligencija i predstavljanje znanja	15
1.3.2. Ekspertni sistemi bazirani na pravilima	16
1.3.3. Ekspertni sistemi za održavanje i dijagnostiku	16
1.4. Merenje stanja kotrljajućih elemenata ležaja	17
1.5. Vibracija kao parametar stanja sistema.....	19
1.5.1. Parametri vibracija, ubrzanje, brzina i pomeraj	19
2. Vibrodijagnostičke norme i standardi	21
2.1. ISO standardi u oblasti vibrodijagnostike	23
2.2. Merenje vibracija na nerotirajućim delovima mašine	23
2.3. Merenje vibracija na vratilu mašine.....	24
2.4. Ispitivanje vibracionih parametara u eksploataciji.....	25
2.5. Optimizacija vibrodijagnostičkog postupka u eksploatacionim uslovima	25
2.5.1. Postavka problema optimizacije.....	26
2.5.2. Identifikacija uzroka dinamičkog problema.....	28
2.5.3. Jednostavnost u korišćenju i izvođenju.....	28
2.5.4. Rana detekcija uzroka dinamičkog problema	29
2.5.5. Ekonomski aspekt	30
2.5.7. Vrednost funkcije postavljenog cilja.....	31
3. Savremeni merni sistemi u vibrodijagnostici	33
3.1. Osnovne metode merenja.....	35
3.2. Osnovni elementi mernih sistema	38
3.3. PC računari u merno informacionim sistemima.....	42
3.4. Analiza uzroka vibracija rotacionih mašina	42
4. Vibrodijagnostika zasnovana na PIC mikrokontroleru	44
4.1. Opis uređaja	45
4.1.1. Karakteristike MCP3204 A/D konvertora.....	46
4.2. Algoritam pokretanja PIC-a	49
4.2.1. Opis algoritma za pokretanje PIC-a	49
4.3. Algoritam programa za merenje vibracija.....	50
4.3.1. Opis algoritma potprograma za merenje vibracija	51
5. Verifikacija karakteristika mernog pretvarača	53
5.1. Ponovljivost	53
5.2. Stabilnost.....	53
5.3. Rezolucija.....	54
5.4. Ispitivanje stabilnosti signala	54
5.4.1. Ispitivanje sinusnim signalom na 200Hz	55
5.4.2. Ispitivanje Gausovim signalom.....	60
5.4.3. Ispitivanje eksponencijalnim signalom	62
5.4.4. Ispitivanje trougaonim signalom.....	64

Uvod

Vibracije su davno prestale predmet interesovanja ljudi, još od pojave prvih muzičkih instrumenata. Međutim, to još uvek ne možemo nazvati naukom, iako su još tada uočene određene zakonitosti i pravila koja se odnose na vibracije, pre svega vezene za muzičke instrumente.

Smatra se da je prvi koji je na neki način posmatrao i na naučnoj osnovi objasnio vibracije, objašnjavajući zvuke i muziku kroz zavisnost tona koji se proizvodi od dužine i napetosti žice, bio grčki filozof i matematičar Pitagora (582-507 p.n.e.), iako od njegovih istraživanja nije ostalo ništa zapisano.

Osnivačem moderne eksperimentalne nauke smatra se Galileo Galilej (1564-1642). On je posmatrao i proučavao jednostavna klatna jedne crkve u Pizi. Kako mu je jednoga dana služba u crkvi bila dosadna, zagledao se u plafon i pažnju mu je privukla svetiljka koja se klatila. Merenjima kretanja svetiljke, ustavovio je na svoje zaprepašćenje, da je period pomeranja klatna nezavistan od amplitude kojom se klatno pomera. Galileo je na ovu temu ostavio i pisana dela. Od poznatih matematičara i fizičara koji su se bavili problemom vibracija, tu su još i: Sir Isaac Newton (1642-1727), Brook Taylor (1685-1731), Daniel Bernoulli (1700-1782), Jean D'Alembert (1717-1783), Leonard Euler (1707-1783), Simeon Poisson (1781-1840), G. R. Kirchoff (1842-1887)... pa sve do savremenih.

Veliki broj ljudskih aktivnosti uključuje vibracije u nekom od njihovih pojava oblika. Na primer: disanje je povezano sa vibracijama naših pluća, možemo čuti jedni druge zahvaljujući vibraciji bubne opne, govorimo zahvaljujući vibriranju glasničkih žica, hodanje uključuje periodične oscilacije naših ruku i nogu, a i zvuk koji čujemo kada ugledamo pčelu kako leti predstavlja vibraciju koju proizvode njena krila.

Takođe, većina vozila ima problema sa vibracijama zbog neuravnoteženosti motora, pa se može desiti da zbog neuravnoteženosti dizel motora dođe do stvaranja talasa velike jačine koji mogu da predstavljaju smetnju za normalno funkcionisanje u urbanim predelima. Sem toga, točkovi lokomotive takođe se zbog neuravnoteženosti mogu odvojiti od pruge i više od centimetra pri velikim brzinama, a vibracije u turbinama mogu da izazovu izuzetno velike mehaničke kvarove. Uopšteno gledano, rezultat vibracija su, sem buke, brzo trošenje i kvarovi delova motora.

Sem štetnih, vibracije mogu imati i pozitivne efekte, koji se, sem za simulacije potresa kod geoloških istraživanja, ili za istraživanje dizajna nuklearnih reaktora, poslednjih godina sve više koriste kod određenih uređaja od kojih neke svakodnevno upotrebljavamo. Tako su dobre strane vibracija iskorišćene kod: mašina za pranje rublja, električnih masažnih uređaja, električnih četkica za zube, zubarskih bušilica..., ali i kod sejača ili sita, kao i nekih drugih mašina i uređaja koji se koriste u industriji.

Mašine su deo našeg svakodnevnog života i značajno utiču na naš životni standard. Operativni razvoj mašina postaje sve bliži perfekciji dok u isto vreme mašine postaju sve kompleksnije. Mi danas od mašina očekujemo viši kvalitet, pouzdano funkcionisanje, održavanje propisanog nivoa mera za zaštitu čovekove okoline, visoku bezbednost funkcionisanja, dug radni vek i efikasne performanse.

Da bi se zadovoljili ovi zahtevi potrebno je adekvatno praktično iskustvo, teorijsko znanje i konstrukcione veštine. Takođe je potrebno poznavanje dinamičkog ponašanja i izdržljivosti mašina, i angažovanje unapred određene strategije održavanja sa redovnom inspekcijom slanja i ranim uočavanjem grešaka u slučaju oštećenja.

Dijagnoza mašina omogućava isplativ i pouzdan metod merenja, analize i evaluacije stanja mašine. Procenom mehaničkih i akustičnih vibracija, poremećaji u operativnom funkcionisanju i poremećaji koji su u toku mogu se prepoznati u njihovim ranim stadijumima. Onda se mogu locirati uzroci i planirati korektivne mere mnogo pre nego se jave ozbiljna, direktna i značajna oštećenja i neplanirani kvarovi.

Ova monografija će pokušati da objasni način kako stići do tog cilja. Osnovi predmet interesovanja će biti moderne metode i instrumenti za dijagnozu mašina kao i interpretacija rezultata a sve u cilju prevencije oštećenja i kvarova samih mašina.

1. Merenje vibracija sa ciljem utvrđivanja stanja radne ispravnosti mašinskih sistema

Medjunarodnu konkurentnost kompanija utvrđuje tri faktora:

- kvalitet proizvoda
- produktivnost i
- struktura troškova

Da bi se zadržala leaderska pozicija, postavlja se sve veći broj zahteva pred proizvodnju i organizacione tehnike kompanije. S jedne strane, mora se stalno povećavati obim proizvodnje, dok se u isto vreme mora voditi računa o rastućim obavezama u domenu operativne sigurnosti i zaštite okoline.

Ovakvo stanje stvari ima ogroman uticaj na instalisane mašine i samu fabriku:

- kontinualno povećanje performansi vodi do većih operativnih brzina i jedinične proizvodnje,
- potreba za racionalizacijom povećava primamljivost automatizacije,
- želja za gotovo neograničenom raspoloživošću mašina javlja potrebu za uposljavanjem najnovijih tehnologija i efikasnih strategija održavanja,
- sve veće kapitalne investicije podrazumevaju korišćenje fabrike u najdužem mogućem životnom veku.

U nastojanju da se ispune svi ovi zahtevi, servis i održavanje mašina igraju ključnu ulogu u oblastima istraživanja i razvoja, kao i kod kontrole proizvodnje i kvaliteta.

Rezultati svakog ispitivanja će pokazati kakva je aktivnost preduzeta i kakvi su efekti na troškove i strukturu personala.

U poslednjih 20 godina u 20 hemijskih fabrika statistike su se kretale na sledeći način:

- smanjenja u proizvodnom personalu - oko 80%
- povećanje personala u održavanju - oko 75%

Sličan trend je evidentan kao rezultat automatizacije kompanija u oblasti metalne industrije:

- smanjenje osoblja u proizvodnji - oko 80%
- povećanje broja osoblja u održavanju - oko 100%

Cilj svih poduhvata mora biti da se naprave moderne i efikasne mašine sa kojima će se raditi uz najviše stepene pouzdanosti i raspoloživosti za najduži mogući životni vek. Sve veći naponi u oblasti istraživanja i razvoja, kontrole proizvodnje i kvaliteta kao i u oblasti usluga i održavanja upravo su dokaz da su mnoge kompanije priznale ove ciljeve kao svoje.

Ovakvi trendovi zahtevaju angažovanje modernih metoda i sredstava, efikasnijih operacija kao i smanjenje operativnih troškova. Drugi važni ciljevi su sledeći:

- istraživanja u oblasti mehanizma oštećenja mašina,
- saznanje o rezervama mašina da bi se omogućila prognoza preostalog životnog veka,
- konstrukcija mašina koja omogućava smanjenje održavanja,
- usvajanje predvidljivih strategija održavanja, i
- poboljšani protok informacija između kompanija koje se bave sličnom delatnošću.

Dijagnoza mašina obezbeđuje neophodnu bazu informacija za ostvarenje ovih ciljeva jer omogućava:

- evaluaciju stanja mašine,
- prepoznavanje simptoma oštećenja koja su u toku,