

Dr Ratko Mitrović, Dr Dragoljub Radonjić, Mr Aleksandar Davinić, Slobodan Mitrović

IDENTIFIKACIJA STANJA MAŠINSKIH SISTEMA ANALIZOM
SIGNALA VIBRACIJA

REZIME

U održavanju mašina i uređaja poseban problem predstavlja objektivno utvrđivanje stanja vitalnih komponenata i definisanje perioda njihove zamene, odnosno, revitalizacije. Jedna od pouzdanijih metoda dijagnostike je, svakako, analiza signala vibracija posmatranog mašinskog sistema.

U radu su date teorijske osnove ove metode, a njenim korišćenjem je izvršena analiza stanja mlinova cementa u fabrici cementa "Novi Popovac", nakon revitalizacije pogonskog zupčastog para.

Snimanjem nivoa vibracija na ležištima pogonskih zupčanika utvrđen je viši nivo od dozvoljenog, što je zahtevalo dalju analizu u cilju utvrđivanja uzroka ovakve pojave. Spektralnom analizom signala ubrzanja kućišta ležišta uočen je značajan uticaj ozubljenja revitalizovanog zupčastog para, što je zahtevalo detaljniju analizu oblike profila zuba, međusobnog rastojanja, ekscentričnosti i saosnosti zupčanika i pogonskih vratila. Na bazi ovakvih analiza bilo je moguće predložiti konkretnе mere za dovođenje vibracija ležišta na zahtevani nivo.

1. UVOD

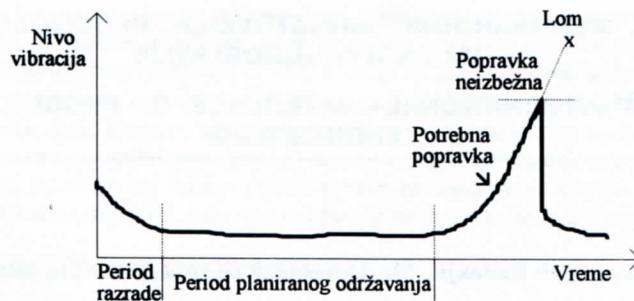
Utvrđivanje realnog stanja mašina i uređaja predstavlja osnovni preduslov njihovog pravilnog održavanja, a samim tim i postizanja projektovanog veka. U toku eksploatacije, pod dejstvom radnih opterećenja i procesa trenja, dolazi do pojava habanja, trošenja, deformisanja ili loma vitalnih delova što dovodi do nepravilnog rada ili potpunog prekida funkcije. Pokretni delovi mašinskih sistema izazivaju u toku rada određeni nivo vibracija koji se za datu vrstu i namenu uređaja nalaze u propisanim granicama. Promene zavora, oblika i dimenzija ovih delova, koje nastaju usled gore navedenih uzroka, povišavaju nivo vibracija na osnovu kojeg se može formirati kriterijum za pristupanje određenom vidu održavanja.

Signal vibracija karakterističnog dela mašinskog sistema može se dvojako iskoristiti u procesu dijagnosticiranja njegovog stanja:

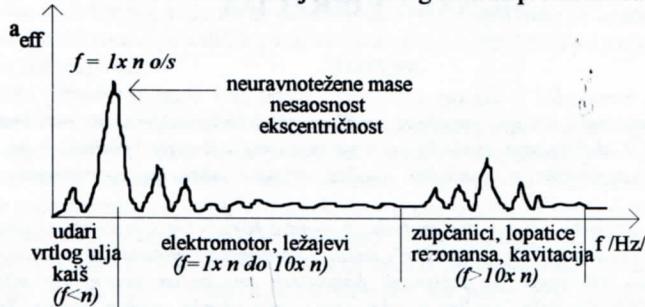
- analizom vremenskog zapisa vršnih ili efektivnih vrednosti puta, brzine ili ubrzanja vibracija, i njihovim poređenjem sa dozvoljenim vrednostima, može se oceniti stanje sistema i neophodnost primene određenih mera održavanja,
- spektralnom analizom signala vibracija, na osnovu njegovog frekventnog sadržaja, moguće je lokalizovati neispravnost koja dovodi do višeg nivoa vibracija.

Primeri korišćenja navedenih postupaka dati su na sl. 1. i 2. respektivno.

*Dr Ratko Mitrović, Dr Dragoljub Radonjić, Mr Aleksandar Davinić - Mašinski fakultet Kragujevac
*Slobodan Mitrović, "Multicomp" Kragujevac



Sl. 1. Ocena stanja mašinskog sistema prema nivou vibracija /2/.

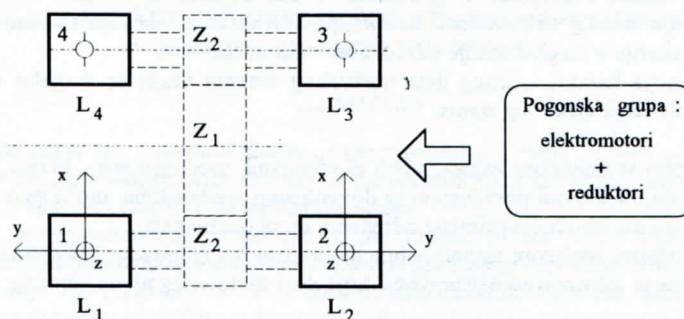


Sl. 2. Frekventna područja vibracija karakterističnih komponenti mašinskih sistema /3/.

Opisana metodologija je upravo korišćena pri utvrđivanju uzroka povišenog nivoa vibracija ležišta pogonskih zupčanika mlina cementa nakon revitalizacije pogonskog para zupčanika.

2. MERENJE I ANALIZA VIBRACIJA KUĆIŠTA LEŽAJEVA MLINA

Nakon reparacije zupčastog para mlina cementa pojavio se viši nivo vibracija kućišta ležajeva od dozvoljenih, što je pored navedenih analiza zahtevalo i kompleksnije merenje vibracija na ovim mestima. Uprošćena šema pogona mlina sa oznakama mernih mesta data je na sl. 3.



Sl. 3. Šema pogona mlina i oznake mernih mesta: L_1, \dots, L_4 -ležajevi, Z_1, Z_2 -zupčanici, 1, ..., 4 -merna mesta.

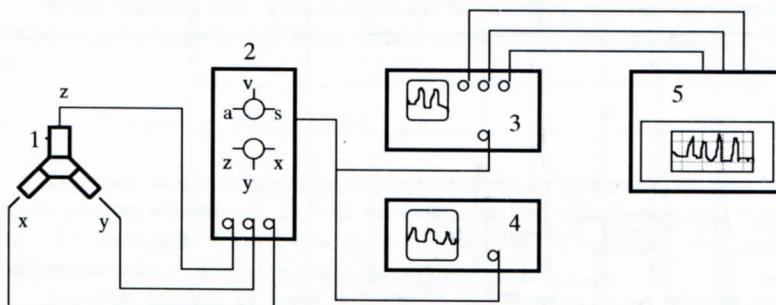
Prema kontrolnim merenjima, izvršenim nakon remonta mлина, dobijene su sledeće efektivne vrednosti vibracija na mernom mestu 1, izražene u mm/s:

- u pravcu h -ose: 45 mm/s, dozvoljeno: 19
- u pravcu u -ose: 15 " dozvoljeno: 15
- u pravcu z -ose: 37 " dozvoljeno: 16.

2.1. Metod merenja i merni lanac

U cilju istraživanja uzroka povećanog nivoa vibracija bilo je potrebno izvršiti spektralnu analizu signala ubrzanja ili brzine vibracija kako bi se iz njihovog frekventnog sadržaja identifikovao i glavni uzročnik.

Shodno prednjem zahtevu, formiran je merni lanac čija je uprošćena šema data na sl. 4.:



Sl. 4. Šema mernog lanca za merenje vibracija i spektralnu analizu.

Legenda:

1. Piezoelektrični troosni davač ubrzanja BRUEL & KJAER TYP 4340
2. Predpojačavač za piezoelektrične davače ubrzanja BRUEL & KJAER TYP 2625
3. Spektralni analizator HEWLETT - PACKARD TYP 3582 A
4. Osciloskop
5. Merni sistem sa ploterom HEWLETT - PACKARD TYP 7090 A

Pre povezivanja mernog lanca izvršeno je bažđarenje davača ubrzanja 1 na kalibratoru BRUEL & KJAER TYP 4291, kako bi se podešilo pojačanje predpojačavača 2 i na taj način dobile podešne razmere za ubrzanje (a), brzinu (v), odnosno, put (s).

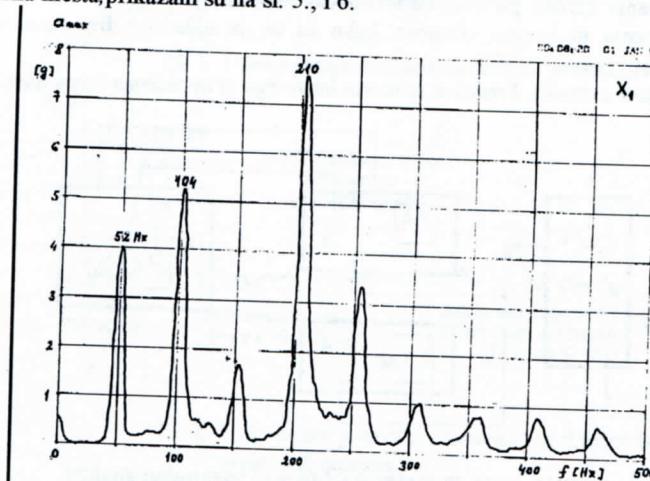
Davač ubrzanja 1, daje na svom izlazu naponačke signale proporcionalne trenutnim vrednostima ubrzanja vibracija u pravcima tri upravne ose (x, y, z). Zbog niskog naponskog nivoa ovih signala vrši se njihovo pojačanje u predpojačavaču 2, koji pomoću odgovarajućih preklopnika omogućava praćenje ubrzanja, brzine ili puta u pravcu svake od tri ose. Uvođenjem signala ovih veličina u spektralni analizator 3, mogu se dobiti njihovi spektri, koji se po potrebi mogu zapisati na ploteru 5.

Osciloskop 4, u mernom lancu ima ulogu kontrole signala na izlazu iz predpojačavača 2. Opisani merni lanac omogućava praćenje i zapisivanje trenutnih vrednosti ubrzanja, brzine i puta vibracija, njihovih srednjih i efektivnih vrednosti, kao i njihovih spektara. U konkretnom

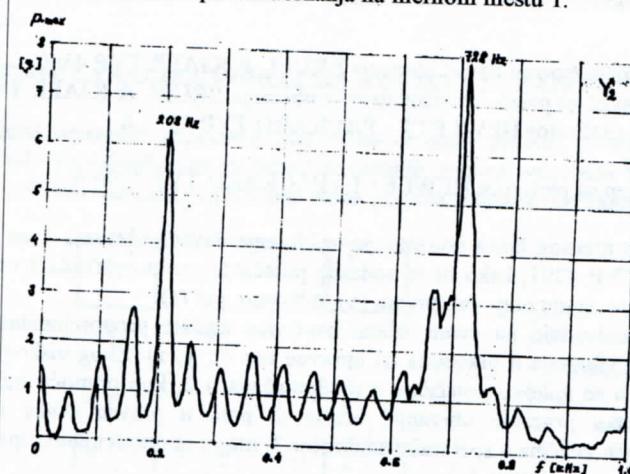
slučaju, zbog zahteva iznetih na početku ovog poglavlja, snimani su i analizirani samo spektri vršnih (maksimalnih) vrednosti ubrzanja vibracija na određenom mernom mestu.

2.2. Postupak i rezultati merenja

Snimanje spektara vršnih vrednosti ubrzanja vibracija obavljeno je na mernim mestima 1 i 2 (sl. 3.) uz korišćenje napred opisanog mernog lanca i metoda merenja. Mlin je bio u radnom stanju sa otprilike 1/3 punjenja. U toku merenja zapisani su spektri ubrzanja vibracija na oba merna mesta i po pravcima osa koje su označene na sl. 3. Rezultati merenja po pravcu ose x , za oba merna mesta, prikazani su na sl. 5., i 6.



Sl. 5. Spektar ubrzanja na mernom mestu 1.



Sl. 6. Spektar ubrzanja na mernom mestu 2.

Kao što se na navedenim slikama vidi, spektri su dati u koordinatnom sistemu maksimalno ubrzanje, a_{max} , /g/ i učestanost vibracija f /Hz/, pri čemu su dominantne učestanosti označene brojnim vrednostima na samom dijagramu. Na svakom dijagramu je

takođe označeno na koje merno mesto i na koju osu se odnosi dobijeni spektar. Naprimer, X_1 - spektar ubrzanja na mernom mestu 1 i u pravcu ose x itd.

2.3. Analiza rezultata merenja

S obzirom da su dominantne učestanosti vibracija kućišta ležajeva koje izazivaju različiti izvori gotovo uvek proporcionalne broju obrtaja vratila (celi ili razlomljeni umnožci broja obrtaja), to je prethodno potrebno poznavati ovu veličinu. U konkretnom slučaju je broj obrtaja pogonskog motora $n_M = 750 \text{ o/min}$, prenosni odnos reduktora, $i_{red} = 6.19$, pa broj obrtaja pogonskog vratila iznosi:

$$n = 750 / 6.19 = 121.16 \text{ o/min} \approx 2 \text{ o/s}.$$

Pošto zupčasti par, kao mogući uzrok vibracija, izaziva vibracije na ležaju čija je učestanost jednaka proizvodu broja obrtaja vratila i broja zuba zupčanika, to će u ovom slučaju biti:

$$f = n \cdot z_2 = 2 \cdot 26 = 52 \text{ Hz}.$$

Dijagram na sl. 5., koji se odnosi na merno mesto 1, upravo daje prve harmonike spektra koji su pri ovoj učestanosti, ali i viši nivo vibracija kod viših harmonika. Najviši nivo vibracija ima 2 i 4 harmonik. Razlog ovoj pojavi treba tražiti u koncepciji dvostrukog pogona i ne-sinhronizovanosti obrtanja oba pogonska vratila.

Rezultati merenja na mernom mestu 2, (dijagram na sl. 6.) ukazuju na uticaj ozubljenja pri učestanosti 208 Hz (4-ti harmonik), ali i na znatan nivo vibracija pri višim učestanostima (728 Hz), koje su posledica neodgovarajućih zazora u kliznom ležишtu L_2 . Ova vrednost učestanosti istovremeno predstavlja i 14-ti harmonik pobude od ozubljenja što govori o superponiranju ove dve vrste vibracija. Slični zaključci se mogu izvesti analizom spektara dobijenih za ostale dve ose (y i z) na mernim mestima 1 i 2.

3. ZAKLJUČCI

Analizom signala vibracija ležajeva pogonskih zupčanika mlina cementa utvrđeno je sledeće:

- nakon revitalizacije pogonskog zupčastog para i remonta mlina registrovan je viši nivo vibracija od dozvoljenog, što je ukazivalo na nekorektnost obavljenih radova,
- spektri ubrzanja dobijeni na mernim mestima 1 i 2 pokazali su najveći uticaj ozubljenja i neodgovarajućeg zazora u ležишtu L_2 ,
- podsecanjem bokova zubaca pogonskih zupčanika i korekcijom međuosnog rastojanja, kao i zamenom ležišta L_2 , mlin je ponovo doveden u ispravno pogonsko stanje.

4. LITERATURA

/1/. Mitrović, R., i dr.: Mogućnosti ocene kvaliteta revitalizacije pogonskog zupčastog para mlina cementa, II međunarodni skup "Teška mašinogradnja", Kraljevo 1996.

/2/. Brüel & Kjaer : Merimo vibracije, Priručnik.

/3/. Wark, W.: Machinery Vibration, Measurement and Analysis, McGraw-Hill, Inc., 1991.

IDENTIFICATION OF THE STATE OF MACHINE SYSTEMS BY THE ANALYSIS OF VIBRATION SIGNALS

SUMMARY

SUMMARY
The special problem in the maintenance of machines is the objective identification of the state of vital components and definition of their replacement period or revitalization. One of most confident diagnostic methods is the analysis of the vibration signals at the observed machine system.

This paper gives the theory basics of this method, and it is implemented for the analysis of the state of a cement mill in the cement factory "New Popovac", after the revitalization of the drive gear pair.

By the recording the vibration level at the bearings of the driving gears, the higher vibration level was established than permitted, which required the further analysis to establish the causes of this phenomenon. The spectral analysis of acceleration signals the significant influence of the gear tooth profile of the revitalized pair on the vibrations, which required the detail analysis of the tooth profile form, distance between the axles, eccentricity and the parallelism of the shafts.

Based on such examinations, proposing measures for the reduction of the vibrations to the required level was possible.