

SUSTAV ZA SIMULACIJU VIBRACIJSKIH PROBLEMA-SSV
THE SYSTEM FOR SIMULATING VIBRATION PROBLEMS-SSV

Dr.sc. Davorka Šaravanja
Faculty of engineering, computing and electric engineering
Mostar, B&H

Marko Grbešić, mag stroj.
Faculty of engineering, computing and electric engineering
Mostar, B&H

REZIME

Simulacijski sustav nepravilnosti koje generira vibracije (SSV) je sustav koji sadrži uređaje za prikupljanje i analizu podataka na eksperimentalnom modelu. Ovaj sustav može poslužiti kao nastavna oprema za studente za prikupljanje podataka, montiranje senzora i aktuatora, obrade signala i praćenje vibracija kako bi se osposobili za ovu vrstu vibracijske dijagnostike u cilju proaktivnog održavanja postrojenja. Simulacijski sustav nepravilnosti koji generira vibracije je razvijen budući da su signali vibracija jako važni za otkrivanje njihovih uzroka, a i za otkrivanje i dijagnozu ukupnog tehničkog stanja stroja. Dizajnirana je simulacijska vibracijska platforma sa nepravilnim elementima koji generiraju vibracije kako bi se proučavale u cilju detekcije kvarova na rotacijskim strojevima.

Ključne riječi: SSV, analiza vibracija, model nepravilnosti

ABSTRACT

Vibration Simulation System is a system that consists of devices for data assembling and analysis on an experimental model. This system can be used as data acquisition equipment for students, for sensor and actuator mounting, signal processing and vibration monitoring to fit this type of vibrational diagnostics for proactive maintenance of the plant. Vibration Simulation System was created since vibration signals are very important for detecting their causes, and for detection and diagnosis of the overall technical condition of the machine. Vibration Simulation System with a vibration platform was designed in order to study the detection of rotation-defective failures.

Key words: SSV, vibration analysis, model of irregularity

1. UVOD

Simulacijski sustav nepravilnosti predstavlja sustav za proučavanje različitih vrsta kvarova koje generiraju vibracije na rotacijskim strojevima, a smisao mu je omogućiti studentima da fizički proučavaju vibracijske signale za praćenje stanja. Analiza signala vibracija može se primijeniti u postupcima održavanja i kao takva predstavlja najučinkovitiju metodu za preventivno i predvidivo održavanje (sl.1) .



Slika 1. Metode održavanja

Monitoring i analiza vibracija je vrlo složen postupak, ali se uspješno primjenjuje za određivanja tehničkog stanja rotacijskih stojeva. Vibracija je vrlo važan pokazatelj potencijalnih kvarova, a relativno ga je lako dobiti putem uređaja za mjerenje vibroparametara i pretvarača signala. Promjene karakteristika i uvjeta rada strojeva mijenjaju karakter vibracijskog signala koji se može predstavljati u vremenskoj domeni i kao frekvencijskoj spektar. Dodatna obrada signala može pomoći za dijagnozu i za prognozu potencijalnih kvarova.

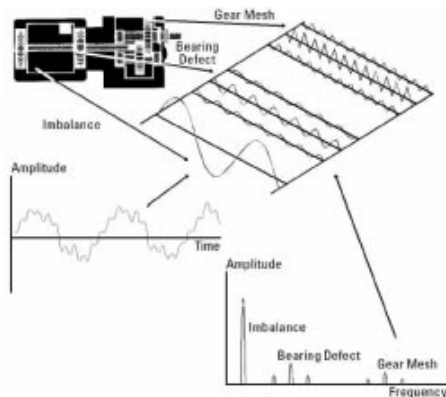
Monitoring i analiza vibracija utječe na smanjenje troškova održavanja iz nekoliko razloga:

- otkrivanje potencijalno ozbiljnih kvarova čije otklanjanje zahtijeva vrlo skup remont;
- održavanje na temelju preventivne zaštite i praćenja promjena na parametrima indikatora prije nastanka kvara.

2. ANALIZA VIBRACIJA

Većina industrijskih postrojenja pod utjecajem je vibracija u određenom obliku. Iz tog razloga postoji potreba za monitoringom i analizom istih. Vibracije u strojevima najčešće su posljedica pojave sila usljed: [1,2]

- trošenja ležajeva;
- stvaranja pukotina;
- mehaničke labavosti;
- problema na elektro postrojenjima;
- neuravnoteženosti pojedinih elemenata;
- nesuosnosti pojedinih elemenata;
- povećane buke koja je uglavnom neugodna za djelatnike u strojarnici.



Slika 2. Vibracije prikazane u vremenskom i frekvencijskom području [3]

Osnovni cilj analize vibracija je odrediti utjecaj unutarnjih sila, njihove međusobne interakcije i promjene u tijeku vremena do stvaranja sloma komponenti. Vibracije kao specifičan oblik mehaničkog gibanja ima najbolje pokazatelje razvoja nepravilnosti u radu strojeva (Tab. 1). [3]

Analiza vibracija počiva na dvije metode praćenja vibracijskih parametara u vremenskoj domeni koja pruža uvid u fizičku prirodu vibracija i frekvencijskoj domeni (frekvencijski spektar) koja je idealna za prepoznavanja vibracijskog signala poznat pod nazivom frekvencijski spektar (sl.2.) [4].

Tablica 1. Vibracija kao najbolji pokazatelj stanja strojeva

Primjeri grešaka	Pokazatelji promjena/parametri dijagnostike						
	Mjerenje duljine deformacije	Snaga	Pritisak	Brzina	Vibracije	Temperatura	Analiza maziva
Oštećenja rotora	*	*	*	*	*	*	*
Oštećenja brtve	*		*	*	*		
Ekscentričan rotor		*	*	*	*	*	
Oštećenje ležaja	*	*		*	*	*	*
Trenje na ležaju	*				*	*	*
Greške montaže					*		
Neuravnoteženost					*		
Nesuosnost	*				*		

3. EKSPERIMENTALNO MODELIRANJE SSV NASLOVI

Sustav za simulaciju vibracijskih problema SSV konstruiran je tako da pokaže neke od najčešćih problema u rotacijskim strojevima kao što su paralelna i kutna nesuosnost, neuravnoteženost, mehanički zazor, savijena osovina, greške u ležajevima i ekscentricitet na remenskom prijenosu (slika 3).

SSV ima neke važne prednosti od kojih izdvajamo:

- mogućnost prikaza vibracijskog problema u bilo kojem stroju;
- korištenje relativno prostih i jeftinih alata za dijagnostiku;
- analiza sa različitim vrstama senzora za pojedina mjerenja i promjenama u načinu njihovog montiranja;
- korištenje različitih metoda za analizu signala (FFT, SED i sl.)
- mogućnost prikaza dobivenih rezultata i njihovu analizu.

SSV sastoji se od osovine koja omogućuje savojnost za simulaciju, rotorski disk koji je dizajniran za simulaciju neuravnoteženosti i dodatno balansiranje za potrebe izazivanja različitih vrsta neuravnoteženosti, ekscentričnog remenskog prijenosa, mjenjačke kutije za simulaciju grešaka na zupčastom prijenosniku; ležaja za simulaciju grešaka u montaži i mogućnost simulacije zazora između statora i rotora Ostale komponente koje su sastavni dio SSV je ploča za montiranje simulacijskih elemenata, fleksibilne spojke, vibroplatforma za izazivanje pobudnih vertikalnih vibracija i izolatori sa mogućnošću montiranja na različitim pozicijama između vibroplatforme i dodatne ploče.



Slika 3. Neke od komponenti koje su sastavni dio SSV

3.1. XMS softver i uređaj za mjerenje vibracija

Za eksperimentalna istraživanja modela SSV i mjerenje vibracijskog odziva na odabranim pozicijama, korišten je analizator za mjerenje vibracija tip VIBROTEST 60, danskog proizvođača Brüel&Kjær Vibro koji je preporučen za uporabu u zemljama EU, a za odgovarajuće frekvencijsko područje odgovarajući davač, tip AC 065 (AS -06X/07X) i XMS (eXtending system Software) kompatibilan sa analizatorom sa svojim programskim okruženjem na temelju programske obrade podataka (slika 4). XMS softver značajke su lake za korištenje, koristi grafičko okruženje koje omogućuje obradu izmjerenih podataka, analizu podataka i njihovu vizualizaciju. [5,6,7]



Slika 4. Uređaj korišten za mjerenje vibracija na SSV

3.1.1. Modularni koncept analizatora

Analizator omogućuje posebnu kombinaciju mjernih funkcija, pa tako i više različitih vrsta primjena. Idealan je za mjerenje vibracijskog odziva jer sa svojim višestrukim funkcijama predstavlja i "dijagnostičkog eksperta" sa rješenjima za opću primjenu. Osnovne prednosti analizatora ovog tipa su:

- istovremeno predstavlja instrument za mjerenje vibracijske amplitude, FFT analizator i balanser za uravnoteženje;
- kompaktan i vrlo lagan (cca. 900 g);
- omogućuje dvo-kanalno mjerenje i mjerenje na više tzv. "ruta" (eng. Route) i procesuiranje slučajnih podataka sa istih;
- posjeduje digitalni signalni procesor (DSP);
- ima visoku mjernu preciznost i dinamičku rezoluciju sa analogno-digitalnom konverzijom (16 Bit ADC);
- FFT analiza spektara sa rezolucijom od max. 12 800 frekvencijskih linija;
- koristi standardne senzore za vibracijsko pomjeranje, brzinu i ubrzanja;
- posjeduje visoko-kontrastni grafički display sa svjetlom pozadinom;
- velik memorijski kapacitet i zaštitu podataka sa PC karticom (Compact Flash/PCMCIA)

koja služi za spremanje podataka i odgovarajućih frekvencijskih spektara (Sl.4). [8]

Primjenom modularne strukture hardverskog dijela ovog analizatora, stanje SSV se može odrediti vrlo brzo i jednostavno primjenom mjerenja vibracija, pomjeranja i procesnih parametara. To se vrši mjerenjem relevantnih parametara i njihovim uspoređivanjem sa graničnim vrijednostima ili formiranjem, tzv. trend mjerenja za neki određeni period. Posebno je važno istaći mogućnost unošenja svih zapaženih i važnih indikatora pojedinih nepravilnosti. Rezultat zaključaka obrade podataka jesu dijagnostičke informacije koje odlučuju može li se nastaviti sa korištenjem opreme ili je potrebno obaviti neophodne popravke. Osnovni Modul analizatora omogućuje mjerenje:

- apsolutnih vibracija na ležajevima;
- relativnih vibracija vratila;
- BCU (eng. Bearing Condition Unit);
- na širim frekvencijskim područjima (eng. bandpass).

Dodatni Modul 1.2. obavlja funkcije mjerenja sveukupnih vibracija u odnosu na brzinu i sveukupnih vibracija u odnosu na vrijeme (eng. Overall Vibration vs. Speed, Overall Vibration vs. Time) dajući mogućnost procjene stanja stroja za neko određeno vremensko razdoblje. Najvažnije karakteristike Modula 1.2 su:

- Svi rezultati mjerenja se spremaju na mjernim listama, memoriraju se i prikazuju preko, tzv. Listing Function.
- Memorija "Report" ima neograničen kapacitet putem PC-kartice koja služi i za transfer podataka i svojim jednostavnim insert-ovanjem omogućuje čitanje podataka.
- Pregledavanje vremenskog perioda većeg od 24 sata moguće je preko maksimalnog broja podataka (većeg od 6 400) na zapisu u odnosu na vrijeme.
- Fleksibilna konfiguracija frekvencijske skale omogućuje korištenje različitih uskopojasnih i širokopojasnih filtera za opsežnija mjerenja, što garantira optimalnu prilagodbu posebnim mjernim zadacima.
- Istovremena obrada vibracijskih i parametara koji se odnose na stanje ležajeva.
- Eliminiranje efekata bijenja ili pulziranja zbog utjecaja buke.

Modul 2.1. omogućuje dobivanje frekvencijskog spektra na osnovu mjerenja amplitude vibracija, tj. prikazivanje frekvencijskog spektra i predstavljanje vibracijske amplitude prema linearnoj ili logaritamskoj frekvencijskoj osi, sa mogućnošću biranja pojasa na frekvencijskoj osi.

3.1.2. XMS software

XMS je profesionalni software za optimalnu implementaciju koncepta održavanja strojeva prema stanju, koji omogućuje savršenu podlogu preko svoje "inteligentne" baze podataka za sustavno korištenje kroz obradu podataka na cijelom stroju, odnosno više strojeva nekog postrojenja [9].

Modularna struktura XMS softwara omogućuje prikaz cijele konstrukcije stroja, ali i posebnih dijelova, odnosno sklopova, koji se mogu birati prema individualnim zahtjevima, što je iskorišteno na modelu ovog SSV. Posebno je važno naglasiti postojanje dodatka u osnovnom modulu (Basic Module) koji se odnose na data-collector i analizator podataka, odnosno dva interfejs modula (Interface Modules): modul za analizu i dijagnostiku (Analysis Module, Diagnosis Module). [10,11]

3.2. Metode mjerenja i snimanja vibracija na SSV

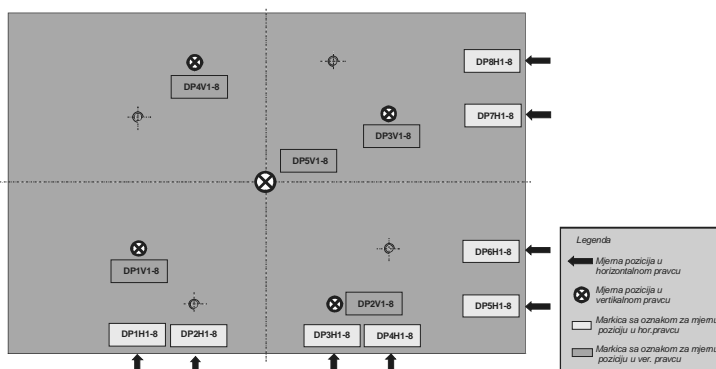
Nakon razrađenih modela za eksperimentalno istraživanje SSV, utvrđene su mjerne pozicije za montiranje senzora za mjerenje vibracija na svakom modelu.

Eksperimentalno istraživanje počinje utvrđivanjem vibracijskog odziva izazvanog pobudom vibracijske platforme (VP) za različite vrijednosti pobudne frekvencije i amplitude vertikalnog pomjeranja, bez montirane dodatne ploče (DP) i elemenata SSV. Za potrebe istraživanja na eksperimentalnim modelima u još tri različita slučaja montiranja 4, 6 i 8 izolatora između vibracijske platform i dodatne ploče, koristile su se slijedeće vrijednosti vibracijskih karakteristika: [12]

- pobudna frekvencija od 5 Hz, 15 Hz, 30 Hz i 45 Hz za vibracijsku platformu;
- pobudna frekvencija od 49,2 Hz (2950 ob/min) kod elemenata SSV na dodatnoj ploči;
- amplituda pomjeranja od 0,025 mm.

3.3. Rezultati mjerenja na planiranim pozicijama sa sukladnim parametrima

Primjenom hardverskog dijela instrumenta VIBROTEST 60 i odgovarajućeg akcelerometra, kao i njemu odgovarajućeg XMS software, dobili su se podaci, a zbog opsežnosti baze prikupljenih podataka za sva četiri eksperimentalna modela SSV i za sve varijante sustava vibroizolatora predstavljen je samo primjer u Tab.2. i na Sl.4. i 5.



Slika 5. Shema DPI-8 sa označenim mjernim pozicijama

Tablica 2. Rezultati izmjerenih odziva na pozicijama dodatne ploče

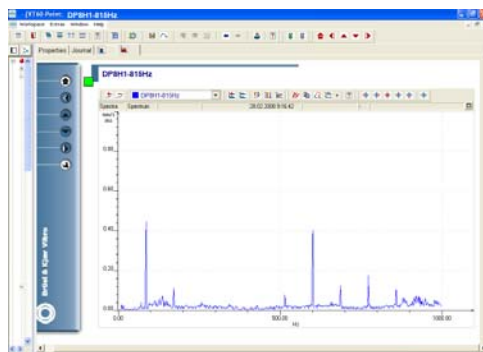
Mjerna pozicija/FFT spektar	Amplituda 0,025 mm=0,001"			
	Frekvencija (Hz)			
	5	15	30	45
Vibracijska brzina (mm/s)				
DP1H1-8	0,1489	0,828	1,385	1,942
DP2H1-8	0,1617	0,733	2,633	4,15
DP3H1-8	0,211	0,874	0,732	6,0508
DP4H1-8	0,2041	0,5366	1,301	4,719
DP5H1-8	1,2529	0,579	2,099	5,517
DP6H1-8	0,2796	0,2232	2,786	6,0204
DP7H1-8	1,0118	0,3184	0,793	4,211
DP8H1-8	0,1641	0,485	0,960	3,8808
DP1V1-8	5,461	20,350	49,46	85,7626
DP2V1-8	5,4261	20,5287	49,639	88,5038
DP3V1-8	5,3467	21,0581	50,168	81,609
DP4V1-8	5,376	20,979	50,089	81,53
DP5V1-8	5,5199	20,8845	49,994	81,435

3.4. Obrada i analiza rezultata mjerenja-istraživanja

Rezultati mjerenja, dobiveni opcijom na instrumentu Overall Vibration/BCU, analizirali su se primjenom opcije Spectrum/Cepstrum, dakle metodom na temelju koje su se dobili odgovarajući FFT spektri za svako mjerenje posebno. Obradu rezultata mjerenja omogućio je XMS software sa VIBRO-REPORT modulom za prikaz analiziranih rezultata (Sl. 6).

Svaki FFT spektar predstavljao se kao odnos amplitude vibracijske brzine [mm/s] u odnosu na frekventijsko područje [Hz]. Frekventijsko područje moglo se podešavati pomoću funkcije Diagram configuration koja omogućuje utvrđivanje amplitude vibracijske brzine i određivanje značajnijih harmonika, na temelju kojih se može odrediti frekventijska karakteristika i povezati sa frekvencijom pobude koja ju izaziva.

Uvidom u rezultate mjerenja i njima odgovarajuće FFT spektre, njihovom detaljnom analizom i usporedbom može se konstatirati da je, kad je u pitanju ovaj eksperimentalni model SSV, došlo do povećanja sile pobude od 10, 15 do maksimalno 20% i da to povećanje sile predstavlja novonastalu situaciju u odnosu na silu bez koeficijenata utjecaja nepravilnosti koja predstavlja repenu, početnu silu, i koja je mjerodavna za konačan izbor i raspored sustava vibroizolatora. Ako je povećanje sile od 10, 15 ili 20%, dakle koeficijenti utjecaja nepravilnosti su $1 < k_N < 1,3$.



Slika 6. Prikaz FFT spektra mjerne pozicije M2V4-615Hz

Dakle, izborom varijanti eksperimentalnog modela, utvrđivanjem prioriteta i koeficijentom utjecaja nepravilnosti, izborom i rasporedom sustava vibroizolatora dokazalo se kako se najbolje može utjecati na rezultate vibracijskog odziva SSV u funkciji zaštite i izolacije vibracija. Svaka pojedina nepravilnost sa svojim karakteristikama, ali i njihov međusobni utjecaj diktira izbor tipa izolacije vibracija, a zadatak istraživača je ukazati na onaj koji je najoptimalniji u toj ulozi.

4. ZAKLJUČAK

U ovom radu je pokazano kako je važno proučavati monitoring vibracija kako bi se došlo do spoznaja kako se ponašaju sustavi u realnim uvjetima na temelju eksperimentalne analize na SSV. Također, pokazano je i kako na razvijenom modelu SSV vršiti podučavanje studenata za svladavanje znanja i metoda iz ovog područja .

SSV je konstruiran tako da pokazuje signale o nepravilnostima kao što su: su paralelna i kutna nesuosnost, neuravnoteženost, mehanički zazor, savijena osovina, greške u ležajevima i ekscentricitet na remenskom prijenosu

Cilj ovog rada bio je pokazati i kako se metode obrade signala, odabir senzora i mjernih mjesta za njihovu montažu mogu koristiti za optimiranje izolacije od vibracija u svrhu prediktivnog održavanja.

Dakle, postupak optimiranja izolacije vibracija ne može izbjeći korekciju distribucijskih parametara SSV i postizanja odgovarajućeg kompromisa pri njihovom pravilnom izboru, što će imati za rezultat smanjenje razine prenosivosti vibracija, bilo kao funkcije pomjeranje/pomjeranje, pomjeranje/sila ili sila/sila.

5. LITERATURA

- [1] D. J. Inman: *Engineering Vibration*, Pearson Prentice Hall, New Jersey, 2007.
- [2] C. W. de Silva: *Vibration Fundamentals and Practice*, Taylor & Francis Group, London-NY, 2006.
- [3] A. Bilošova; J. Biloš: *Vibration diagnostics*, OSTRAVA 2012.
- [4] Randall, R.B. *Frequency Analysis*, Denmark: Brüel&Kjær, 1987.
- [5] Monografija 1-6: *Vibracije u mašinstvu*, Mašinstroenie, Moskva, 1981.
- [6] D. Rašković: *Teorija oscilacija*, Naučna knjiga, Beograd, 1965.
- [7] www.shenck.com
- [8] Brüel & Kjær, Vibro: *VIBROTEST 60 Handbook*
- [9] Brüel & Kjær, Vibro: *eXtended Monitoring Software Handbook*
- [10] www.bkvibro.com
- [11] www.bkcms.com
- [12] Šaravanja, D.; Cigić, A.: *Sustav definiranja i izbora nepravilnosti u radu rotacijskih strojeva*, Zbornik radova Fakulteta strojarstva i računarstva Sveučilišta u Mostaru, ISSN 1986-5236, Mostar 2009.