

Raziskave in razvoj sistema za avtomatsko diagnostiko kompresorjev hladilnih aparatov

Primož POTOČNIK, Peter MUŽIČ, Edvard GOVEKAR

Izvleček: Predstavljen je razvoj sistema za avtomatsko diagnostiko kompresorjev hladilnih aparatov, ki je potekal v sodelovanju med Laboratorijem za sinergetiko, Fakulteta za strojništvo v Ljubljani, in podjetjem Gorenje, d. d. Razviti diagnostični sistem sestavljata mehatronski sklop za avtomatizirano izvajanje meritev vibracij kompresorjev in nadzorna programska oprema za diagnostično analizo signalov in posredovanje rezultatov informacijskemu sistemu podjetja. Sistem je bil uspešno preskušen v testnem obdobju delovanja na proizvodni liniji podjetja in omogoča zaznavanje hrupnih in vibracijsko izstopajočih kompresorjev. Vpeljava diagnostičnega sistema v industrijsko obratovanje omogoča podjetju doseganje višje ravni kakovosti proizvedenih hladilno-zamrzovalnih aparatov z vidika kakovosti vgrajenih kompresorjev.

Ključne besede: statistična industrijska diagnostika, testiranje kakovosti, hladilni aparati, kompresorji, vibracije, mehatronski sistemi

■ 1 Uvod

Podjetje Gorenje kot proizvajalec bele tehnike potrebuje na izhodu proizvodnje zanesljivo končno kontrolo kakovosti izdelkov, s čimer zagotavlja visoko kakovost proizvodov ter konkurenčnost in uspešnost na tujih trgih. Zahteve glede končne kakovosti izdelkov, predvsem glede hrupa in vibracij pri hladilnih aparatih in pralnih strojih, se nenehno zaostrojujejo, zato bo obstoječe načine vzorčnega ročnega testiranja izdelkov v prihodnosti potrebno nadomestiti z naprednejšimi avtomatiziranimi diagnostičnimi sistemi, ki omogočajo 100-odstotno končno kontrolo tako izbranih sestavnih komponent izdelka kakor tudi izdelka v celoti.

V članku je predstavljen prvi del rezultatov raziskav in razvoja sis-

Doc. dr. Primož Potočnik, univ. dipl. inž., inž. Peter Mužič, prof. dr. Edvard Govekar, univ. dipl. inž., vsi Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo

temov za avtomatsko diagnostiko komponent pralnih strojev in kompresorjev hladilnih aparatov, ki so plod sodelovanja med podjetjem Gorenje, d. d., in Laboratorijem za sinergetiko na Fakulteti za strojništvo v Ljubljani. Sodelovanje je potekalo v sklopu javnega razpisa »Raziskovalni vavčer« v okviru Operativnega programa krepitve regionalnih razvojnih potencialov za obdobje 2007–2013 in je bilo delno podprto s strani Evropske unije, in sicer iz Evropskega sklada za regionalni razvoj (ESRR). Projekt je potekal v času od 1. 1. 2013 do 31. 7. 2014. Članek predstavlja prvi del aktivnosti, ki se nanašajo na razvoj diagnostičnega sistema za avtomatsko diagnostiko kompresorjev hladilnih aparatov.

Hladilni aparati podjetja Gorenje so opremljeni z različnimi tipi kompresorjev različnih proizvajalcev. Ker predstavlja kompresor eno izmed kritičnih komponent hladilnega aparata, je potrebno med končno kontrolo aparata preveriti tudi kakovost delovanja kompresorja.

V sklopu predstavljenega sodelovanja smo razvili diagnostični sistem, ki na osnovi izmerjenih vibracij kompresorja ugotavlja njegovo kakovost. Predstavljeni so razvoj mehatronskega diagnostičnega sistema in pripadajoče programske opreme ter uvodni rezultati industrijskega testiranja diagnostičnega sistema.

■ 2 Razvoj mehatronskega diagnostičnega sistema

Cilj raziskav in razvoja metod za avtomatsko diagnostiko kompresorjev hladilno-zamrzovalnih aparatov je razvoj metod za avtomatizirano 100-odstotno zagotavljanje kakovosti kompresorjev, vgrajenih v hladilno-zamrzovalne aparate. Na osnovi uvodnih ročnih laboratorijskih in industrijskih meritev vibracij kompresorjev smo razvili mehatronski diagnostični sistem, ki s pomočjo pnevmatskih manipulatorjev pozicionira hladilni aparat ter namešča senzor vibracij na kompresor hladilnega aparata. Sistem je nameščen



Slika 1. Mehatrični sistem za zaznavanje kakovosti kompresorjev hladilnih aparatov

ob proizvodni liniji hladilnih aparatov in omogoča avtomatsko zaznavanje kakovosti kompresorjev vseh hladilnih aparatov v bazi izbranih tipov kompresorjev. Diagnostični sistem je prikazan na *sliki 1* in ga sestavljajo naslednji sklopi:

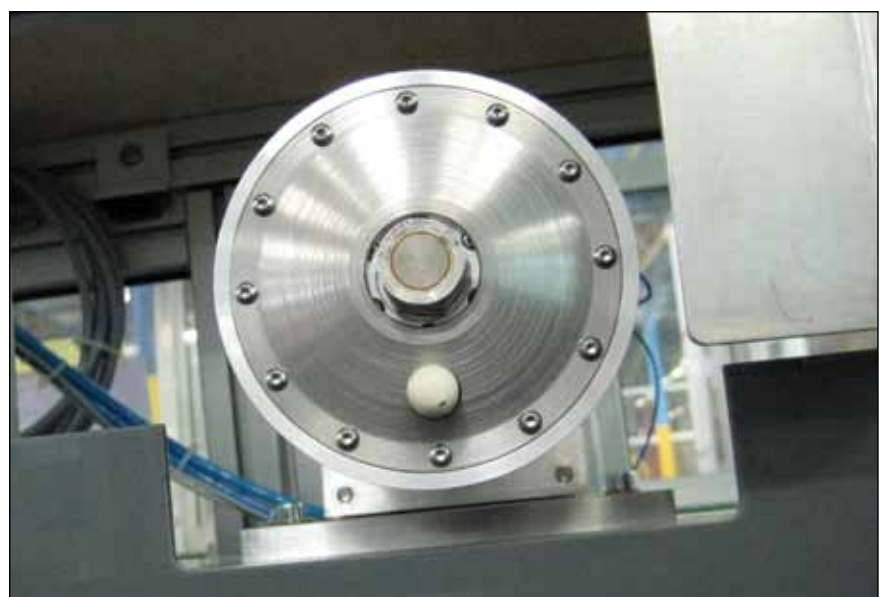
- ohišje z računalniškim zaslonom za prikaz rezultatov,
- zapornica za pozicioniranje aparatov,
- pnevmatski manipulatorji za izvajanje pomikov,
- senzorska glava za izvajanje meritev,
- induktivni senzorji za lastno diagnostiko sistema,
- elektronska, računalniška in merilna oprema
- in programska oprema.

Namensko razvita senzorska glava, prikazana na *sliki 2*, predstavlja eno izmed ključnih inovacij razvitega sistema in omogoča prilagodljivo nameščanje senzorja vibracij različnim konfiguracijam kompresorjev. Senzor je vpet v membrano, kar dovoljuje potrebne pozicijske tolerance namestitve senzorja na ohišje kompresorja ter hkrati zagotavlja mehansko izolacijo senzorja od okolice. S tem so dovoljena določena odstopanja oblik ohišij kompresorjev in pozicioniranja hladilnih aparatov na proizvodni liniji ter hkrati zmanjšano širjenje motenj iz okolice preko vpetja in ohišja senzorja na meritev vibracij kompresorja. Namestitev senzorske glave na kompresor hladilnega aparata med merjenjem vibracij je prikazana na *sliki 3*.

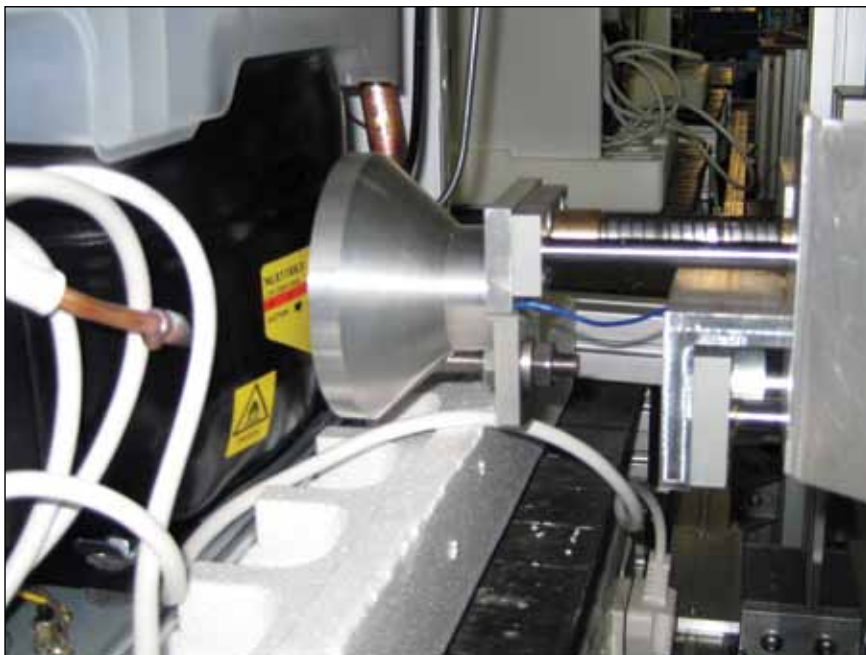
■ 3 Razvoj programske opreme

Za ustrezno krmiljenje mehatronskega sistema in komunikacijo z industrijskim informacijskim sistemom smo razvili namensko programsko opremo, ki omogoča naslednjo funkcionalnost:

- krmiljenje zapornice za pozicioniranje aparatov v ustrezno pozicijo za meritev,
- krmiljenje mehatronskega sistema za nameščanje in odmikanje senzorske glave,

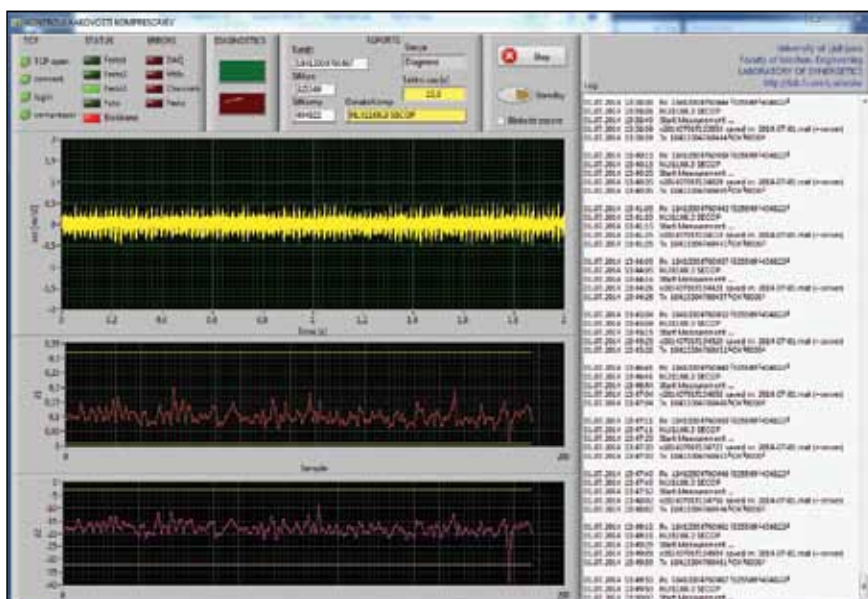


Slika 2. Senzorska glava z membransko vpetim senzorjem vibracij



Slika 3. Senzorska glava med merjenjem vibracij kompresorja

- izvajanje merjenja vibracij med delovanjem kompresorja,
 - analiza in shranjevanje zbranih signalov,
 - izračun in posredovanje diagnostičnih rezultatov,
 - komuniciranje z industrijskim informacijskim sistemom preko TCP-protokola:
 - prejemanje tehnoloških informacij o aparatu,
 - posredovanje diagnostičnih rezultatov,
 - komuniciranje z industrijsko linijo preko digitalnih žičnih povezav:
- prejemanje informacije o fizičnem prihodu palete na merilno lokacijo,
 - zaklepanje pozicije palete (blokada proizvodne linije),
 - sporočanje zaključka meritve in odklepanje pozicije palete (sprostitvev linije),
 - lastno diagnostiko mehatronskega sistema v primeru okvar in nepravilnega delovanja mehatronskih komponent.
- Zgled programskega vmesnika med izvajanjem meritev je prikazan



Slika 4. Programski vmesnik diagnostičnega sistema za spremljanje meritev vibracij in diagnostike kompresorjev

na *sliki 4*. Vmesnik prikazuje oznake merjenega aparata in kompresorja, zajeti signal vibracij kompresorja in vrednosti izpeljanih značilk z diagnostičnimi pragovi.

4 Rezultati industrijskega testiranja delovanja sistema

Na osnovi uvodnih avtomatskih meritev vibracij kompresorjev na proizvodni liniji hladilnih aparatov v podjetju Gorenje smo z razvitim mehatronskim diagnostičnim sistemom zbrali 1102 meritev vibracij kompresorjev različnih hladilnih aparatov. Analiza meritev je potekala v naslednjih korakih:

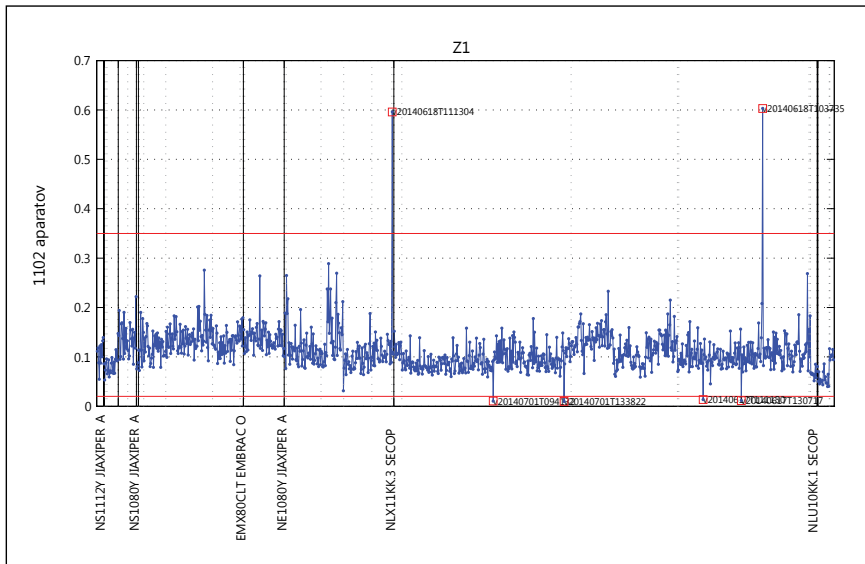
- izpeljava značilk,
- diagnostično vrednotenje vrednosti značilk.

Ker za analizo signalov vibracij nimamo na voljo pripadajočih podatkov o stanju kompresorjev, je diagnostika stanja kompresorjev zasnovana na zaznavanju odklonov od statistično določenih standardnih vrednosti značilk. V ta namen smo izpeljali nabor značilk (Z_1, Z_2, \dots) in jih ovrednotili glede na statistično določene meje. *Slika 5* prikazuje primer izpeljane značilke Z_1 , ki zaznava izstopajoča kompresorja. Vrednosti značilke so zbrane v skupinah različnih tipov kompresorjev.

Izločene kompresorje bo v nadaljnji testni fazi avtomatiziranega delovanja potrebno označiti in podrobneje proučiti vrste in vzroke napak. Na osnovi podrobnejših analiz in povratnih informacij iz podjetja bo kasneje mogoče natančneje določiti statistične diagnostične meje za učinkovito zaznavanje neustreznih kompresorjev.

5 Zaključek

V članku so predstavljeni rezultati sodelovanja med Laboratorijem za sinergetiko (Fakulteta za strojništvo, Univerza v Ljubljani) in podjetjem Gorenje v okviru projekta »Raziskovalni vavčer« z naslovom



Slika 5. Izpeljana značilka z_1 za diagnostiko vibracij kompresorjev

»Raziskave in razvoj sistemov za avtomatsko diagnostiko pralnih strojev in kompresorjev hladilnih aparatov«. Predstavljeni so rezultati prvega dela raziskav, ki se nanašajo na raziskave in razvoj sistema za avtomatsko diagnostiko kompresorjev hladilnih aparatov.

Razvili smo mehatronski diagnostični sistem za avtomatizirano iz-

vajanje meritev na proizvodni liniji hladilnih aparatov. Mehanski del razvitega sistema sestavljajo pozicijska zapornica, namensko razvita senzorska glava za nameščanje pospeškomera na kompresor, pnevmatski manipulatorji za izvajanje pomikov zapornice in senzorske glave, induktivni senzorji za lastno diagnostiko sistema ter ustrezna elektronska, merilna in programska

oprema. Razvita programska oprema omogoča povezavo sistema z informacijskim sistemom podjetja, avtomatizirano izvajanje meritev vibracij kompresorjev hladilnih aparatov ter diagnostiko kompresorjev na osnovi izmerjenih signalov vibracij kompresorja.

Sistem je bil uspešno preskušen v testnem obdobju obratovanja na proizvodni liniji podjetja. Obstoječa izvedba sistema omogoča zaznavanje hrupnih in v splošnem izstopajočih kompresorjev. Na osnovi zbiranja večje baze meritev vibracij kompresorjev, podrobnejših analiz meritev in povratnih informacij v podjetju bo v nadaljevanju mogoče še natančneje določiti statistične diagnostične meje za zaznavanje neustreznih kompresorjev. Z uporabo sistema je predvideno, da bo mogoče doseči znatno višjo raven kakovosti proizvedenih hladilno-zamrzovalnih aparatov z vidika kakovosti vgrajenih kompresorjev. Zajeti podatki bodo omogočali tudi analizo kakovosti dobaviteljev kompresorjev in ustrezno gručenje dobavljenih kompresorjev

Research and development of an automatic diagnostic system for compressors in refrigeration appliances

Abstract: The development of an automatic diagnostic system for compressors in refrigeration appliances, which is a result of cooperation between the Laboratory of Synergetics at the Faculty of Mechanical Engineering in Ljubljana and the company Gorenje, is presented. The developed diagnostic system consists of a mechatronic unit for automated measurements of the vibrations of compressors, and the control software for the diagnostic analysis of the signals and the transmission of the results to the information system of the company. The system has been successfully tested on the production line of the company and it enables the detection of noisy compressors. By introducing the diagnostic system into industrial operation, the company achieves an increased quality of produced refrigeration appliances in terms of the quality of built-in compressors.

Keywords: statistical industrial diagnostics, quality testing, refrigeration appliances, compressors, vibrations, mechatronic systems




Mednarodni sejem za avtomatiko, robotiko, mehatroniko ...
International Trade Fair for Automation, Robotics, Mechatronic ...



Celje, Slovenija
28.-30.01.2015
www.ifam.si