

Sistem za avtomatsko končno kontrolo kakovosti elektromotorjev

Dejan Tinta¹, Janko Petrovčič¹, Jože Tavčar², Gregor Dolanc¹, Bojan Musizza¹, Janez Koblar²

¹Odsek za sisteme in vodenje
Institut Jožef Stefan, Jamova 39, 1000 Ljubljana

²Domel, Otoki 21, 4228 Železniki
dejan.tinta@ijs.si

A SYSTEM FOR AUTOMATIC END-QUALITY ASSESSMENT OF ELECTRIC MOTORS

Abstract: In this paper a diagnostic system for quality end-test of vacuum cleaner motors is presented. The system relies on innovative mechatronic solutions, which combine custom designed handling of units under test, laser vibrometry, electrical measurements and advanced signal processing. The result of processing the measured signals are the so called features based on which the system detects and localizes even the most tiny faults in electrical or mechanical part of the motor. The accurate, reliable and sensitive diagnostic procedures allow for entirely fault-free final products.

1 Uvod

Konkurenčne razmere na trgu malih elektromotorjev silijo proizvajalce k nenehnemu zniževanju stroškov proizvodnje in izboljševanju kakovosti svojih izdelkov. Domel Železniki je eden izmed vodilnih proizvajalcev elektromotorjev za sesalnike – sesalnih enot (Slika 1). Navkljub hudim konkurenčnim razmeram, predvsem zaradi nizkih cen proizvajalcev z Daljnega vzhoda, namerava Domel ohraniti prednost na trgu z dvigovanjem kakovosti in daljšanjem življenjske dobe izdelkov ter hkratnem zniževanju stroškov proizvodnje. Ena izmed možnosti za doseg tega cilja se kaže v izpopolnjevanju sistema nadzora kvalitete in sicer predvsem v avtomatizaciji končne kontrole kvalitete z namenom zagotavljanja 100 % brezhibnih

dobavljenih elektromotorjev ob nespremenjeni ceni.

Na trgu sicer obstaja nekaj ponudnikov avtomatskih testnih postaj za manjše elektromotorje, npr. Vogelsang & Benning [1], Schenck [2] in Artesis [3]. Glavni problem z nakupom tovrstnih kontrolnih naprav, poleg visokih cen, je ta, da omenjeni sistemi le delno rešujejo specifični problem kontrole kvalitete Domel-ovih sesalnih enot. Na primer, sistem Vogelsang & Benning-a omogoča merjenje vibracij le v eni točki, kar pa ne ustreza zahtevam kupcev. Podobno je s Schenck-ovim sistemom. Zato z njihovo uporabo ne bi v celoti odpravili potrebe po ročni kontroli.



Slika 1: Sesalna enota

Velja poudariti, da so Domel-ove sesalne enote zahtevnejše od običajnih elektromotorjev zaradi posebnosti konstrukcije in specifičnih zahtev kupcev. Celovita rešitev avtomatske kontrole kakovosti zahteva upoštevanje posebnosti Domel-ovih izdelkov in poglobljeno razumevanje zveze med napakami in izmerjenimi veličinami [4]. Zato splošnonamenske izvedbe, ki jih predlagajo nekateri avtorji (npr. Edwards, Lees in Friswell [5] ter Yang in Penman [6]) ne pridejo v poštev.

Kot alternativa naštetim rešitvam je bil v okviru sodelovanja med Odsekom za sisteme in

vodenje z Instituta Jožef Stefan in orodjarno Domel zgrajen popolnoma avtomatski diagnostični sistem za celovito končno kontrolo sesalnih enot (Slika 2), ki je sposoben na podlagi kratkotrajnih testov vsake proizvedene enote

- natančno ugotoviti ključne parametre kakovosti sesalne enote,
- izločiti sleherno enoto, katere parametri kvalitete odstopajo od predpisanih meja ter
- v primeru slabe enote ugotoviti vzrok napake in s tem
- omogočiti sledljivost parametrov kakovosti ter tako doseči
- zmanjšanje stroškov procesa zagotavljanja kakovosti in s tem stroškov proizvodnje.

Na ta način so izpolnjene vse zahteve, ki jih postavlja Domel pri končnem testiranju svojih izdelkov.



Slika 2: Diagnostični sistem za sesalne enote

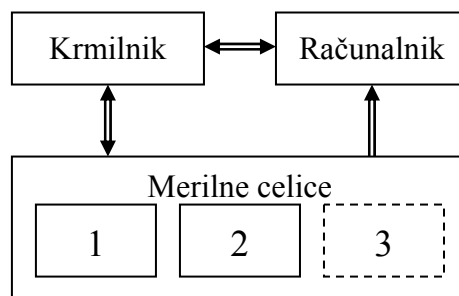
Glavni namen tega prispevka je predstaviti avtomatski diagnostični sistem za sesalne enote, ki je implementiran na proizvodnji liniji v Domel-u. V nadaljevanju je najprej prikazana zgradba diagnostičnega sistema, sledita pa opis merilnih celic in prikaz delovanja obravnavanega sistema.

2 Zgradba diagnostičnega sistema

Diagnostični sistem temelji na ugotavljanju nekaterih parametrov kakovosti, ki jih zahtevajo kupci pri točno določenih pogojih. Poleg tega pa se iz izmerjenih veličin da sklepati na vzroke za morebitne napake na enotah. Sistem zmore avtomatsko izvajati meritve devetih fizikalnih veličin in sicer: napetosti, toka, podtlaka, moči, hitrosti vrtenja, in vibracij, za korekcijo meritev pa še temperaturo zraka, vlažnost in atmosferski tlak. Naknadno pa bo možna še meritev zvoka, ki ga sedaj merimo le v eksperimentalne namene.

Diagnostični sistem je sestavljen iz petih glavnih modulov (Slika 3):

- treh merilnih celic,
- krmilnika in
- računalnika s karticama za zajem podatkov.



Slika 3: Zgradba diagnostičnega sistema

Za usklajeno delovanje vseh operacij diagnostičnega sistema skrbi zelo zmogljiv Mitsubishi-jev krmilnik MELSEC-Q. Le-ta daje takt diagnostičnemu sistemu, ki mora ustrezati taktu ostalega dela proizvodne linije. S pomočjo informacij, ki jih dobi s pozicijskih senzorjev na liniji, ter pnevmatskih aktuatorjev skrbi za pravilno pozicioniranje in vklapljanje testiranih sesalnih enot v različnih fazah testiranja. Obenem pa skrbi tudi za transport enot skozi diagnostični sistem.

Uporabljeni krmilnik je preko vodila RS 232 povezan z računalnikom. Le-temu narekuje, kdaj naj izvede predpisane meritve, računalnik pa mu vrača signal, ko opravi zahtevano operacijo.



Slika 4: Krmilniška omara

Zaradi omejenega časa, ki ga določa takt proizvodne linije, se meritve, ki so potrebne za določitev parametrov kakovosti sesalnih enot, izvajajo v treh zaporednih merilnih celicah. Vsaka izmed njih je opremljena s pozicijskimi senzorji in aktuatorji, ki omogočajo transport, pozicioniranje in vklapljanje sesalnih enot, ter ustreznimi senzorji in merilnimi pretvorniki za zaznavanje želenih fizikalnih veličin. Merilna celica št. 3, ki bo omogočala merjenje zvoka pri nižjih vrtiljajih sesalnih enot, je v fazi implementacije.

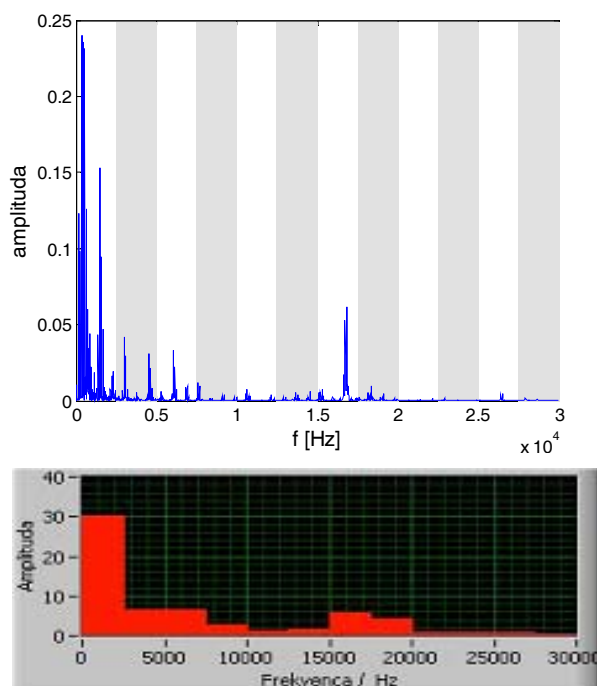
Računalnik z dvema merilnima karticama NI 6220 in NI 6221 služi vzorčenju merjenih veličin. Poleg tega obdeluje izmerjene signale, izračunava parametre kakovosti sesalnih enot ter prikazuje in shranjuje diagnostične rezultate. Vsa programska oprema je izdelana v grafičnem okolju LabVIEW.

3 Diagnostične celice in njihove funkcije

Prva merilna celica je namenjena preverjanju karakterističnih veličin sesalnih enot in kvalitete komutacije. Ob tem se kontrolirajo tudi merilni pogoji in sicer napajalna napetost (RMS – koren povprečja kvadratov, ang. root mean square), temperatura okolice, vlažnost ter atmosferski tlak. Karakteristične veličine sesalnih enot so: tok (RMS), podtlak, ki ga ustvari sesalna enota, moč, ki jo enota troši, in hitrost vrtenja enote. Pri tem se podtlak najprej korigira glede na atmosferski tlak in temperaturo okolice, nato pa

se vse karakteristične veličine korigirajo še glede na razliko med nazivno (230 V) in dejansko napajalno napetostjo. Naštete veličine se vzorčijo s frekvenco 1 kHz.

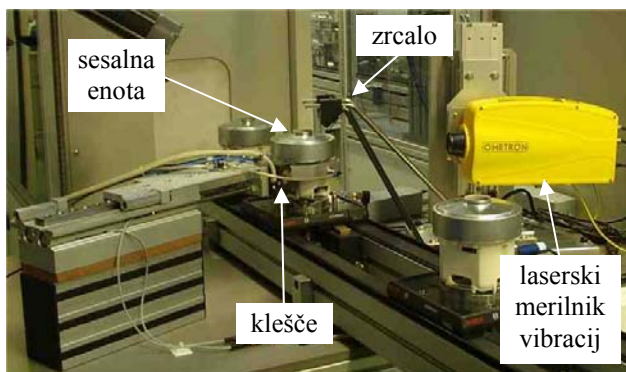
Kvaliteta komutacije se preverja na podlagi merjenja RMS vrednosti toka v 12 frekvenčnih področjih širine 2.5 kHz in sicer od 0 do 30 kHz. V ta namen tok vzorčimo s frekvenco vzorčenja 60 kHz, izračunamo njegov frekvenčni spekter in iz tega določimo RMS vrednosti posameznih pasov (Slika 5).



Slika 5: Primer frekvenčnega spektra toka (zgoraj) in pripadajočih značilk oz. RMS vrednosti posameznih pasov (spodaj)

Druga merilna celica, ki je prikazana na sliki 6, služi merjenju vibracij. Le-te je na zahtevo kupca potrebno pomeriti v treh točkah in sicer: na turbini v aksialni smeri, na turbini v radialni smeri in na ohišju sesalne enote v radialni smeri.

Meritev vibracij poteka na sledeč način. Najprej posebne klešče primejo sesalno enoto. S tem jo vibracijsko ločijo od okolice (palette) in tako preprečijo, da bi na meritev vplivale vibracije, ki jih povzročata proizvodna linija. Sledi meritev vibracij na turbini v aksialni smeri.

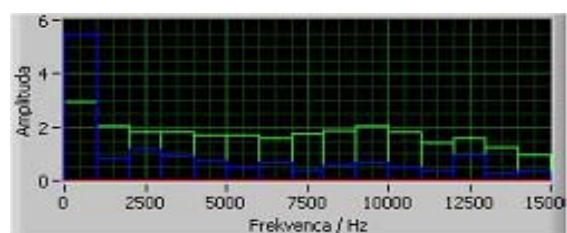
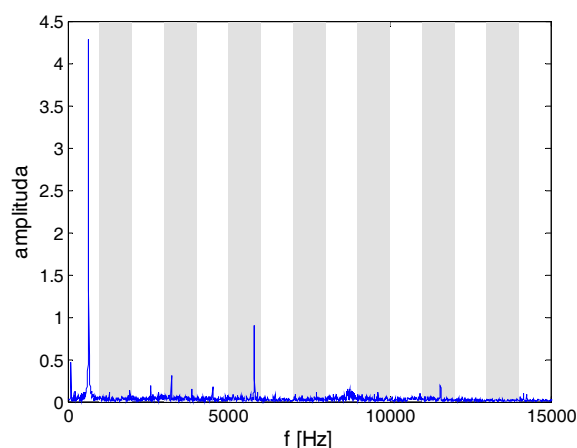


Slika 6: Merjenje vibracij

Vibracije enot se merijo s pomočjo laserskega merilnika Ometron VQ-500-D. Le-ta je pritrjen na pozicionirni mehanizem, ki omogoča njegovo vertikalno premikanje, in meri vibracije v horizontalni smeri. Meritev v aksialni smeri enote (vertikalni smeri) se izvede s pomočjo zrcala, ki laserski žarek preusmeri v omenjeno smer. Nato pozicionirni mehanizem premakne laserski merilnik v še dve točki, tako da se lahko izmerijo še vibracije v radialni smeri in sicer na turbini ter na ohišju. Po končanih meritvah se laserski merilnik vrne v začetni položaj, klešče pa izpustijo sesalno enoto.

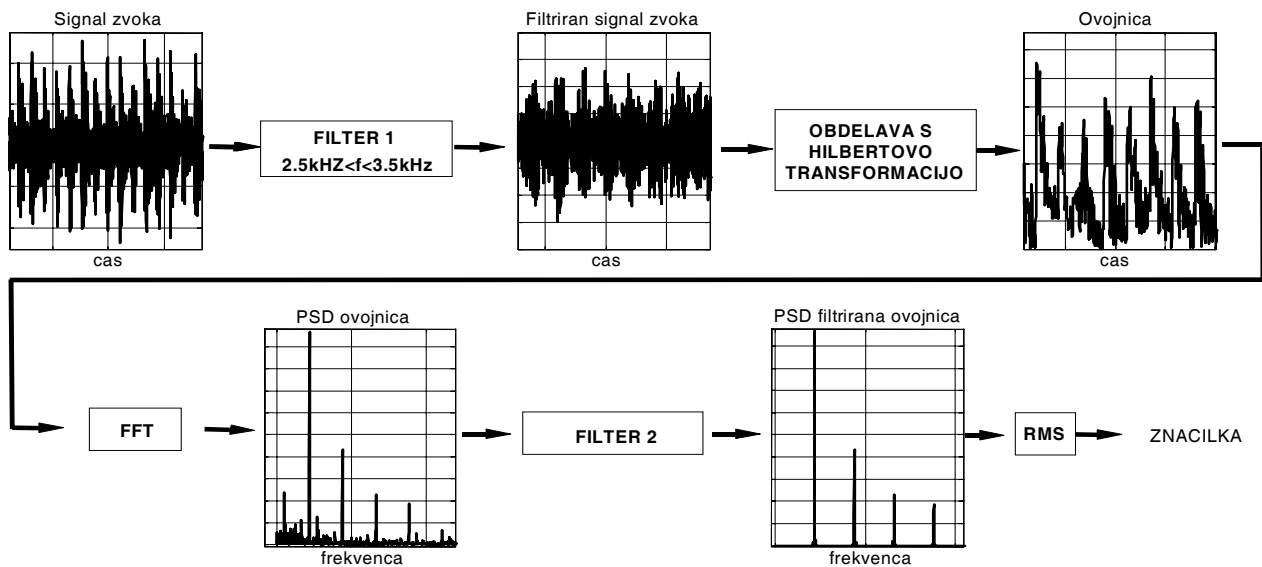
Vibracije sesalne enote se ovrednotijo na podlagi njihovih RMS vrednosti v 15 frekvenčnih pasovih širine 1 kHz in sicer od 0 do 15 kHz. V ta namen se signal vibracij vzorči s frekvenco 60 kHz, izračuna njegov frekvenčni spekter in iz tega določi RMS vrednosti posameznih pasov (Slika 7).

Tretja merilna celica, ki je v fazi implementacije, bo namenjena merjenju zvoka sesalnih enot pri nizkih hitrostih vrtenja (okrog 30 vrtljajev na minuto). Zaradi nizke intenzitete zvoka pri omenjenih vrtljajih bo potrebno meritve izvajati v akustično izolirani komori, s čimer se bo zmanjšal vpliv motilnega hrupa iz okolice.



Slika 7: Primer frekvenčnega spektra vibracij (zgoraj) in pripadajočih značilnk oz. RMS vrednosti posameznih pasov (spodaj)

Pri nizkih hitrostih vrtenja sesalnih enot pridejo v signalu zvoka do izraza značilni vzorci, ki so posledica napak v ležajih ali drgnjenja med rotirajočimi in statičnimi deli. Ti vzorci imajo obliko izbruhov, katerih pogostost pojavljanja je v primeru napake v ležaju odvisna od dimenzij ležaja in hitrosti vrtenja enote, v primeru drgnjenja pa ustreza frekvenci vrtenja enote oz. njenim večkratnikom [7]. S pomočjo Hilbert-ove transformacije najprej določimo ovojnico signala zvoka, nato pa izračunamo njen frekvenčni spekter [8]. Prisotnost določene napake se odrazi v RMS vrednosti ovojnice v ustreznih frekvenčnih pasovih, ki so značilni za posamezno napako. Postopek ilustrira slika 8.



Slika 8: Obdelava signala zvoka

4 Delovanje diagnostičnega sistema

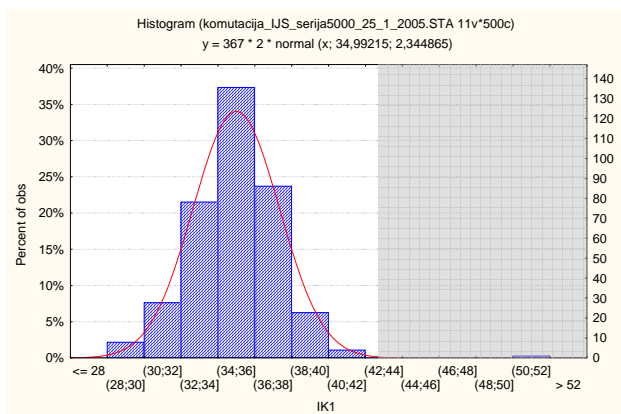
Na vходу v diagnostični sistem se najprej odčita številka palete, na katero je postavljena sesalna enota. Pod to številko se nato v računalniku shranjujejo diagnostični rezultati določene sesalne enote. S tem se zagotovi sledenje enoti medtem, ko le-ta potuje skozi posamezne merilne celice diagnostičnega sistema. Številka palete se ponovno prebere na izhodu sistema in primerja s tisto v računalniku. Če se številki ujemata, pomeni, da se je testiranje izvršilo uspešno. V nasprotnem primeru pa se sproži ustrezeni alarm. V zadnji operaciji diagnostičnega sistema se v čip na paleti testirane sesalne enote vpiše, ali je le-ta brezhibna, oz. ustrežno kodo morebitne napake.

Uporabniški vmesnik obravnavanega sistema (Slika 9) je namenjen prikazu diagnostičnih rezultatov testiranih sesalnih enot. Poleg tega nam omogoča še nastavitve mejnih vrednosti značilk v obeh merilnih celicah, izračun nekaterih statističnih parametrov na izmerjenih vrednostih in pregled preteklih rezultatov testiranja.



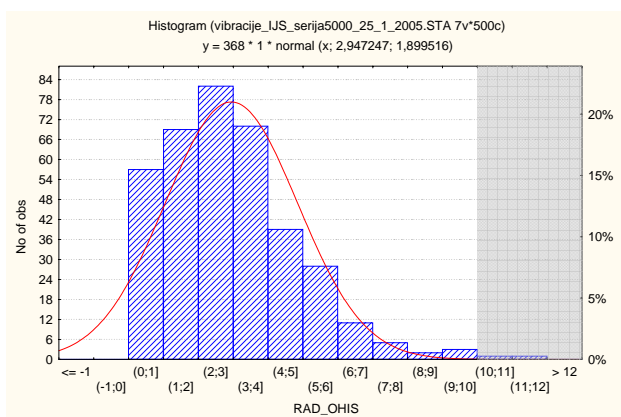
Slika 9: Uporabniški vmesnik

Na sliki 10 je prikazana porazdelitev RMS vrednosti signalov tokov v frekvenčnem področju od 0 do 2.5 kHz za poskusno serijo sesalnih enot, ki so bile izdelane v fazi testiranja proizvodne linije. Vidimo, da je pri večini sesalnih enot kvaliteta komutacije ustrežna. Le pri nekaterih značilka preseže še dopustno mejo (osenčeno področje na grafu).



Slika 10: Porazdelitev značilke kvalitete komutacije za serijo 367-ih sesalnih enot

Slika 11 prikazuje porazdelitev značilke vibracij, tj. RMS vrednosti signalov vibracij v frekvenčnem pasu v okolici frekvence vrtenja sesalnih enot (600-800 Hz) za serijo 368-ih enot. Predstavljene so vibracije na ohišju v radialni smeri. Vibracije večine enot so v še dopustnih mejah (pod 10 mm/s), le pri nekaterih enotah jo prekoračijo (osenčeno področje na grafu). Pri tem je potrebno omeniti, da je srednja vrednost vibracij precej pod postavljeno mejo.



Slika 11: Porazdelitev značilke vibracij za serijo 368-ih sesalnih enot

5 Sklep

V prispevku je predstavljen sistem za avtomatsko končno kontrolo sesalnih enot, ki

omogoča ovrednotenje vseh njihovih najpomembnejših parametrov kvalitete. Njegova odlika je neprimerno večja zanesljivost in natančnost v primerjavi z ročno kontrolo. Sistem nam daje tudi globlji vpogled v stanje sesalne enote. Spremljanje trendov kvalitete pa omogoča hitre reakcije na proizvodni liniji.

Popolna avtomatizacija končne kontrole in zagotavljanje visokih standardov kvalitete posledično omogočata zmanjšanje stroškov procesa zagotavljanja kakovosti ter dvig zaupanja kupcev.

6 Zahvala

Avtorji se zahvaljujemo sodelavcem orodjarne iz Domela za prispevek pri konstrukciji linije.

7 Literatura

- [1] Vogelsang & Benning (2005). Routine test systems, URL: www.vogelsangbenning.de/intro.html.
- [2] Schenck (2005). Schenck Motor Test Systems, URL: www.schenck-usa.com/prod_motor_test.html.
- [3] Artesis (2005). Motor Quality Monitor, URL: www.artesis.com/mqm.asp.
- [4] Tinta, D., J. Petrovčič, U. Benko, Đ. Juričić, A. Rakar, M. Žele, J. Tavčar, J. Rejec in A. Stefanovska (2005). Fault diagnosis of vacuum cleaner motors. *Control Engineering Practice*, **13**, 177-187.
- [5] Edwards, S., A.W. Lees in M.I. Friswell (1998). Fault diagnosis of rotating machinery. *Shock and Vibration Digest*, **30**, 1, 4-13.
- [6] Yang, D. M. in J. Penman (2000). Intelligent detection of induction motor bearing faults using current and vibration monitoring. *Proceedings of COMADEM 2000*, Houston, 461-470.
- [7] Benko, U., J. Petrovčič, Đ. Juričić, J. Tavčar in J. Rejec (2005). An approach to fault diagnosis of vacuum cleaner motors based on sound analysis. *Mech. syst. signal process*, **19**, 427-445.
- [8] Randall, R.B. (2002). State of the art in monitoring rotating machinery. *Proceedings of ISMA 2002*, **4**, 1457-1477.