

Doc. Ing. Jaromír Horák, CSc.
Fakulta strojní ZČU

Oponentní posudek

disertační práce k získání akademického titulu doktor

Výzkum a vývoj metod a algoritmů pro detekci a lokalizaci rubbingu na parních turbinách

Autor: Ing. Jan Jakl
Školitel: Doc. Ing. Eduard Janeček, CSc., katedra kybernetiky FAV

a) Zhodnocení významu disertační práce pro obor

K posouzení byla předložena disertační práce výše uvedeného názvu o rozsahu 108 stran. Tématem je přispět ke zvýšení spolehlivosti provozu velkých točivých strojů novou metodou identifikace vzniku kontaktu rotorové a statorové části stroje (rubbingu).

Práce je členěna do 12 kapitol. Je zde uveden popis problematiky, současný stav, návrh metod a postupů pro zpracování měřených signálů. V kapitole 7 je představena nová pokročilá metoda pro automatickou detekci částečného rubbingu.

Důležitá a unikátní metoda axiální lokalizace rubbingu přispěje ke snížení nákladů při eventuelní revizi a opravě.

Je uvedeno provozní ověření metody lokalizace na TG 220MW v ETU.

b) Postup řešení problému

V úvodní teoretické části práce jsou popsány základní jevy rotorových soustav (dynamické vlastnosti, měření kmitání, způsoby reprezentace signálů v časové oblasti, vysvětlení podstaty rubbingu, matematický model kontaktu).

Dále jsou uvedeny výsledky série experimentů na rotorovém standu RK4. Následně pak pilotní ověření příznaků rubbingu na TG 80MW.

Návrh nové pokročilé metody pro automatickou detekci částečného rubbingu je podrobně popsán v kapitole 7. Ověření nového systému RAMS je prezentováno výsledky analýzy měření na turbosoustrojí TG 220MW.

V kapitole 10 je pak tento systém podrobně popsán (výsledek řešení projektu MPO).

c) Stanovisko k výsledkům disertační práce a k původnímu konkrétnímu přínosu předkladatele

Standardní metody umožňují indikovat vznik rubbingu pouze při konstantních otáčkách, nejlépe na provozních. V praxi je však potřebné zjistit počátky kontaktu i při jiných otáčkách (např. při rotaci v natáčecím zařízení).

Nově představená metoda toto umožňuje – v tom je hlavní přínos disertační práce. Významná je rovněž skutečnost, že pro identifikaci rubbingu a jeho lokalizace lze použít standardně používané snímače a vhodným využitím nového SW a HW rozšířit možnosti diagnostiky chování rotorové soustavy.

Dotazy:

- volba počtu intervalů úplného spektra pro kumulaci?
- lze uplatnit pro zjišťování dotyku rotoru v kluzném ložisku?
- existuje možnost detekce rubbingu v axiálním směru?

d) Vyjádření k systematice, přehlednosti, formální úpravě a jazykové úrovni disertační práce

Disertační práce je uspořádána systematicky, vychází ze stávajících znalostí a přispívá k novému přístupu řešení dané problematiky. Formální úprava odpovídá požadavkům na disertační práci. Rovněž jazyková úroveň je ze strany oponenta bez připomínek.

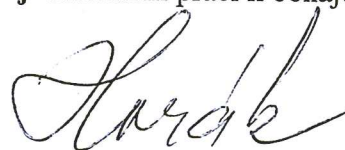
e) Vyjádření k publikacím doktoranda

Ze seznamu použité literatury (celkem 49 odkazů) je zřejmé, že disertant získal potřebné znalosti stavu problematiky (celosvětově). Vlastní publikace (celkem 25) dokumentují přínos doktoranda i pracoviště k rozvoji oboru. V neposlední řadě je významné podání patentu na ÚPV, Evropském patentovém úřadu a na Patentovém a známkovém úřadu USA (podáno společně za ZČU a Doosan Škoda Power, s.r.o.)

f) Vyjádření oponenta

Na základě výše uvedených skutečností jednoznačně **doporučuji** disertační práci k obhajobě.

V Plzni dne 25. 11. 2014



.....
Doc. Ing. Jaromír Horák, CSc.



**Posudek disertační práce Ing. Jana Jakla s názvem:
Výzkum a vývoj metod a algoritmů pro detekci a lokalizaci rubbingu na
parních turbínách**

Disertační práce pana Ing. Jana Jakla se zabývá metodami pro detekci a případnou lokalizaci rubbingu v energetických zařízeních z vibračních signálů.

Vlastní text práce zabírá 104 stran. Práce je členěna do dvanácti kapitol, obsahuje seznam použitých symbolů. V textu je uvedeno 49 literárních odkazů, uveden je také seznam 26 publikací autora.

Z pohledu významu disertační práce pro obor je zvolené téma práce vysoce aktuální, přesnější metody detekce rubbingu umožní lépe předcházet poruchám či haváriím a dovolí snižovat náklady na provoz zařízení.

V úvodní kapitole autor shrnuje motivaci pro detekci rubbingu a současný stav výzkumu. V druhé kapitole uvádí systémový rozbor vzniku rubbingu. Třetí kapitola je věnována detailnímu rozboru současného stavu výzkumu, je škoda, že známé metody nejsou seříděny do kategorií podle přístupu k analýze (spektrální, wavelet, EMD apod.). Čtvrtá kapitola se zabývá analýzou vibračních signálů použitím STFT, keprsta a liftrace. V páté kapitole je popsán experiment na jednoduchém rotorovém standu a provedena analýza signálů vibrací pomocí úplných spekter a orbit. V další kapitole jsou stejné metody analýzy použity na reálné signály z provozu turbíny 80 MW. V sedmé kapitole je navržena metoda založená na kumulovaném úplném spektru. Osmá kapitola působí nedokončeně a přes svůj název "Unikátní způsob detekce ..." popisuje aplikaci známých amplitudových a fázových veličin spolu se spectrogramem pro detekci rubbingu z reálných signálů 220 MW turbíny. Devátá kapitola se zabývá metodami lokalizace místa vzniku rubbingu, kde klíčovým prvkem je procedura nalezení počátku projevu rázu ve vibračním signálu. Kapitola 10 stručně popisuje realizovaný systém pro detekci rubbingu vytvořený v prostředí LabView. Jedenáctá kapitola přináší shrnutí výsledků práce, neobsahuje návrh dalších směrů výzkumu. Řazení kapitol 5 až 8 a jednotlivých částí textu znesnadňuje orientaci. Text je někdy inkonzistentní, (např. na str.33 se mluví o okénkové fci h , která se ale dále v textu ani vzorcích nevyskytuje, pak ve vzorci 4.12 se vyskytne \bar{h} bez bližšího popisu vztahu těchto objektů; u obr.6-2, 6-3 není vysvětleno slovo Amager; časté používání anglických pojmů i při existenci českých ustálených ekvivalentů – threshold místo práh; pojednání o vlivu přenosové cesty na keprstrum je ukončeno bez závěru, kterým zřejmě mělo být konstatování, že v praktickém použití je při změně místa snímání keprstrum ovlivněno aditivně.) Mezi typografická opomenutí patří zejména častá sazba matematických symbolů někdy správně kurzívou jindy stojatě.

Postup řešení problému ukazuje cílevědomou kombinaci teoretické a experimentální práce, použité metody jsou adekvátní a vytčené cíle byly splněny.


Počet publikací autora je značný, jde vesměs o konferenční příspěvky a výzkumné zprávy. Nenalezl jsem publikace v impaktovaných časopisech (což zřejmě souvisí s

požadavky patentového řízení a průmyslovým využitím), je to však vyváženo spoluautorstvím patentové přihlášky.

Předloženou prací pan Jan Jakl prokázal schopnost samostatné tvůrčí vědecké práce v teoretické i experimentální oblasti. Práce obsahuje původní přínos autora v oblasti metod detekce rubbingu a je zřejmé, že doktorand si zkoumanou problematiku osvojil na vysoké odborné úrovni, úspěšně navrhl a ověřil řešení dílčích problémů. Zvláště oceňuji praktickou implementaci navržených metod v software, který je nasazen průmyslově.

Práci proto jednoznačně **doporučuji** k obhajobě.

V Praze, 20.11.2014



doc. Ing. Radislav Šmíd, Ph.D.