

POSUDEK NA DISERTAČNÍ PRÁCI S NÁZVEM
METODIKA KALIBRACE V ÚLOZE BEZKONTAKTNÍHO MONITOROVÁNÍ OBĚŽNÝCH
LOPATEK PARNÍCH TURBÍN

Autor: Ing. Zdeněk Kubín

a) Význam disertační práce pro obor

Problematika, kterou se předložená disertační práce zabývá, je velice aktuální zejména s ohledem na neustále se zvyšující požadavky na flexibilitu provozu jak stávajících elektrárenských bloků s parními turbínami tak nově budovaných. Na evropské úrovni je flexibilita rotačních strojů produkujících elektrickou energii jedním z hlavních směrů výzkumu a vývoje programu Horizon 2020 (projekty FlexTurbine a TurboReflex). Dalším faktorem podtrhujícím aktuálnost problematiky, kterou se předložená disertační práce zabývá, jsou dvě negativní události, které se v nedávné době odehrály na dvou různých tuzemských elektrárnách, a sice extrakce předposlední oběžné lopatky NT rotoru při provozu parní turbíny na sytou páru a extrakce poslední oběžné lopatky NT rotoru při provozu USC parní turbíny (USC = UltraSuperCritical). V obou případech tyto extrakce způsobily poruchové výpadky celých elektrárenských bloků trvajících jednotky měsíců a škody v řádu desítek miliónů korun českých.

b) Postupy řešení problému, použité metody, splnění určených cílů

Cíle předložené disertační práce, které jsou definovány v úvodních kapitolách, byly splněny. V práci jsou postupně diskutovány všechny aspekty BTT (Blade Tip Timing) – typy používaných snímačů a jejich poloha v deflektoru oběžného kola, vzorkovací frekvence a z toho plynoucí decimované signály kmitání lopatek, metody zpracování signálů a specifika jejich použití pro tyto signály, způsoby buzení lopatek a celých oběžných kol, kalibrace měřených výchylek kmitání lopatek vůči dynamickému namáhání listů lopatek a na závěr soubor původních experimentálních výsledků měření kmitání lopatek jak při ostrém provozu parních turbín, tak při řízených experimentech.

c) Výsledky a přínosy disertační práce

Původní výsledky a přínosy disertační práce spočívají především v souboru originálních výsledků měření kmitání lopatek při provozu parních turbín prostřednictvím metody Blade Tip Timing a postupu její kalibrace pro účely analýzy vysoko-cyklového namáhání lopatek. Dalším přínosem disertační práce jsou původní výsledky provedených experimentů, jejichž cílem bylo analyzovat vliv tření na útlum vlastních tvarů kmitu lopatek/oběžného kola. Za největší přínos považuji obrázky 45, 46 a 48, které prezentují exponenciální/kvadratický nárůst logaritmického dekrementu vlastního tvaru kmitu lopatek v závislosti na nárůstu amplitudy kmitání lopatek, které mají mezi sebou implantované frikční členy. Tento nárůst je dále eskalován vyšším uzlovým průměrem oběžného kola.

d) Systematicčnost, přehlednost, formální úprava a jazyková úroveň disertační práce

Disertační práce je čtivá. Provádí čtenáře problematikou Blade Tip Timing a přínosy disertanta. Členění textu do kapitol a podkapitol působí systémově. Ocenil bych větší důraz na oddělení současného stavu problematiky a přínosů disertanta. V textu se občas vyskytují překlepy a gramatické chyby. Kombinace jazyka českého a anglického působí v některých formulacích nepřirozeně.

e) Publikace

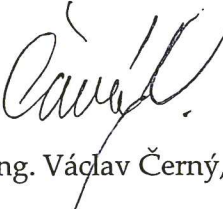
Publikační činnost autora čítá 26 publikací včetně publikace v mezinárodním vědeckém časopisu s IF = 4,4. S ohledem na skutečnost, že disertant pochází z praxe, je to společně s hodnotou H-indexu = 5 skóre dle mého názoru nadstandardní.

f) Doporučení k obhajobě disertační práce

Námítky uvedené výše nikterak nesnižují celkovou úroveň a kvalitu předložené disertační práce, a proto **doporučuji** tuto práci k obhajobě. Zároveň níže uvádím otázky, o kterých předpokládám, že budou náležitě zodpovězeny v rámci obhajoby:

- 1) Vztah pro výchylku $x(t)$ uvedený hned v první řádce pod pohybovou rovnicí (1.1) je bez matice vlastních vektorů V fázovým tokem jejího kanonického tvaru $\dot{x}(t) = Ax(t)$. Převedte pohybovou rovnici (1.1) do tohoto kanonického tvaru. Zapište jeho fázový tok s využitím Jordanova kanonického tvaru matice A a matice vlastních vektorů matice A . Diskutujte strukturu tohoto fázového toku v závislosti na násobnosti vlastních čísel matice A .
- 2) Poněkud nerozumím větě na straně 29 „Pro jeden snímač je ztrátová funkce rovna jedné pro všechny uzlové průměry“, když v předpisu ztrátové funkce (3.12) mimo jiné figuruje vzájemný fázový posun dvou harmonických funkcí se stejnou frekvencí měřených dvěma různými snímači po obvodu oběžného kola.
- 3) Dle mého názoru má být v předpisu ztrátové funkce (3.12) +1 a ne -1, což plyne mimo jiné z grafu vpravo dole obrázku 12. Jestliže je reziduum, které je argumentem funkce cosinus ztrátové funkce (3.12), rovno nule, pak je hodnota funkce cosinus rovna 1 a hodnota ztrátové funkce (3.12) rovna 0. V grafu vpravo dole obrázku 12 však ztrátová funkce (3.12) nabývá pro pátý uzlový průměr hodnoty 1. Mám pravdu nebo se mýlím?
- 4) V textu na straně 29 je prezentováno, že 3 snímače jsou dostatečné pro určení 5. uzlového průměru, přičemž graf vpravo dole obrázku 12 říká, že 5. Co je správně?
- 5) Ve vztazích (3.14)-(3.19) jsou poněkud nepřesně uvedeny indexy časových okamžiků t . V rámci obhajoby disertační práce precizujte. Při určování fází $\Delta\varphi_S$ a $\Delta\varphi_L$ je používáno all blade spektra nebo single blade spektra?
- 6) Čím je způsobena eskalace nárůstu logaritmického dekrementu vlastního tvaru kmitu lopatek v závislosti na nárůstu uzlového průměru oběžného kola s implantovanými frikčními členy mezi lopatkami? Je to způsobeno nárůstem vzájemného fázového posunu kmitání sousedících lopatek?

Datum: 30. listopadu 2018


Doc. Ing. Václav Černý, Ph.D.



Oponentní posudek disertační práce Ing. Zdeňka Kubína s názvem „Metodika kalibrace v úloze bezkontaktního monitorování oběžných lopatek parních turbín“

Význam disertační práce pro obor

Problematika monitorování lopatek analýzou signálu z měření metodou tip-timing je v současnosti aktuální a je předmětem výzkumu a vývoje i některých zahraničních pracovišť. Důležitost monitorování stoupá s rostoucími požadavky na spolehlivost a bezpečnost provozu a s rostoucí variabilitou provozních stavů turbín.

Postup řešení, použité metody a splnění cílů

Cíle práce jsou formulovány velmi vágně v prvním odstavci Úvodu a obsahují pojem „kalibrace“, přičemž je myšleno spíše odhadování veličin a parametrů než skutečná kalibrace (s určením např. nejistot závislostí). Pokud vyjdeme z dosažených výsledků, postup řešení problémů využívá cílevědomou kombinaci modelování a experimentů, použité metody jsou adekvátní a cíle byly splněny.

Výsledky práce, původní přínos

Původním přínosem práce jsou nové znalosti a postupy pro vyhodnocování mechanického namáhání lopatek ze signálů získaných měřeními tip-timing. Zvláště oceňuji, že výsledky byly uplatněny v průmyslovém nasazení.

Systematika, přehlednost, formální úprava a jazyková úroveň

Text práce je sice členěn do kapitol, ale postrádá hierarchickou strukturu s odlišením zásadních věcí a detailů. Kvalita prezentace myšlenek je neuspokojivá. Kapitoly často obsahují velké množství nic neříkající výplně na úkor stručných a přesných popisů problému a výsledků řešení, mnoho věcí je nutno domýšlet. Často chybí informace o osách grafů, legendy apod. V kap. „Závěr“ autor rezignoval na oddělování odstavců. Další drobné připomínky jsou uvedeny v příloze.

Publikace studenta

Student je hlavním autorem článku v prestižním časopise s mezinárodním recenzním řízením Mechanical Systems and Signal Processing (Elsevier), což dokazuje jeho schopnost vytvářet vědecko-výzkumné výsledky s mezinárodní relevancí. Kromě toho je (spolu)autorem většího množství příspěvků na mezinárodních konferencích, z nichž některé byly oceněny.



Strana 2/3

Závěr

Práce obsahuje velké množství náročné experimentální práce velké komplexnosti, oceňuji také snahu o interdisciplinární pohled. Vlastní text je na neuspokojivé úrovni.

Protože však odborné přínosy práce dle mého soudu jednoznačně převyšují výše uvedené nedostatky, **doporučuji disertační práci k obhajobě.**


doc. Ing. Radislav Šmíd, Ph.D.

Příloha

1. Str. 24: zavádějí tvrzení: "přenosová funkce je generována Fourierovou nebo Laplaceovou transformací"
2. str. 25: "Pro dobré rozlišení je zapotřebí alespoň deseti sekundové okno" platí jen v konkrétním případě daném frekvenčním obsahem a vzrakovací frekvencí, která není uvedena.
3. běžný český výraz pro "kros-spektrum" je spektrum křížové
4. str. 29 obr. 12 není legenda ani jednoznačný popis v textu, nemá zřejmé, jaké situace odpovídají jakým grafům
5. obr. 20 srovnání s reálným signálem,
6. str. 39 naprosto nejasný popis spouštění, zmínka o armování a filtraci, chybí časy, frekvence atd.
7. obr. 22 indikované chyby jsou odbyty konstatováním např. pocházející z "obtížných" kontaktů mezi bandážemi, není zřejmé, co autor myslí "obtížným" kontaktem
8. rovnice 4.2 není možné zkontrolovat rozměrovou správnost, protože není uveden rozměr kalibračního faktoru k
9. není uvedeno proč v rovnici 4.2 vystupují 2 teploty, T a T_{sensor} , navíc záhadný "materiál v senzoru" má teplotu T nikoliv T_{sensor}
10. str.43 Kde je a co dělá zmíněný "low pass filtr"?
11. str. 43 V dalším odstavci (po výše uvedených poznámkách) je uvedena vodivost a permeabilita lopatek stejnými symboly jako v předchozím odstavci "... konstantou μ_0 materiálu v senzoru".
12. Závěry na str.43 jsou všeobecně známé již dlouho.
13. obr. 25 jsou uvedeny dva reálné signály, který je ten odpovídající špatné poloze senzoru, žlutý?
14. str. 51 byla pozorována "divergence" v napětí mezi jednotlivými tenzometry
15. str. 57 není zdůvodněno, proč bylo zvoleno okolí $\pm 50\text{Hz}$
16. str. 59 obr. 39 Damping ratio místo "ration"
17. str. 61 "Hlavní nevýhodou permanentního magnetu je indukce vířivých proudů", vířivé proudy vznikají i v případě elektromagnetu
18. str. 62 obr. 42 jaký význam má "Požadovaný signál", je to budicí síla ? Proč má napětí do elektromagnetu poloviční frekvenci?
19. str. 63 obr. 43 chybí popis osy frekvence buzení
20. str. 73 obr. 55 chybí popis významu os
21. str. 78 "funkce speciálního okna a speciální filtrace", co to je?
22. str. 78 "vybití indukovaného proudu", při snímání polohy lopatek určitě nedochází k žádnému "vybití proudu"

