

Oponentní posudek

disertační práce pana Ing. Vladimíra Zábranského: Měření hluku a vibrační točivých strojů.

Disertační práce se zabývá měřením hluku a vibrační turbogenerátorů.. Autor uvádí že se jedná o „rozvinutí“ používaných postupů pro měření a vyhodnocování hluku a vibrační. Cílem je dále vytvoření aplikací v programu MATLAB pro 3D zobrazení naměřených hodnot. Uvedená měření jsou částí technické diagnostiky těchto strojů. Snad mohly být alespoň uvedeny i jiné diagnostické metody, které hodnotí stav zvláště aktivních částí těchto strojů.

V úvodu autor konstatuje, že bude „hledat měřicí metody a postupy nad rámec mezinárodních norem.“ Dále konstatuje, že „v rámci výzkumných měření je potřeba najít přesnou příčinu těchto jevů I když v následující větě konstatuje, že „příčinou jsou ve většině případů rezonance...“, pokusí se v dalším textu najít odpovědi na tato konstatování.

V první kapitole jsou uvedeny cíle práce. Současný stav měření představuje v druhé kapitole. Zmiňuje se o nutnosti dodržování mezinárodních norem, ale nezmiňuje normy české. Vedle akreditování laboratoří by bylo vhodné zmínit i nutnost *certifikace osob* provádějících diagnostiku.

Krátký popis točivého (elektrického) stroje je uveden ve třetí kapitole. Pokud zde popisuje parametry turbogenerátorů, pak jednotky wattů zde jistě nepatří. Ke způsobům chlazení patří i chlazení vodou. Zarážející je výraz „plynová mezera“! Vždy se v naší literatuře uvádí **vzduchová mezera**, tak jak to definuje i ČSN IEC 50(411)! Popis vinutí strojů je poněkud chaotický. Totéž platí i o ztrátách v čelech vinutí. Na závěr kapitoly je zařazena v předstihu zmínka o měření vibrační.

Ve čtvrté kapitole jsou uvedeny obecné poznatky o hluku, jeho zdrojích, frekvenčních složkách, rezonanci apod. Je popsáno akustické vlnění, akustické veličiny a měření akustického tlaku. Zmíněny jsou také nejistoty měření. Podstatnou částí je podkapitola 4.9, která popisuje vytvoření aplikace pro zobrazení akustických veličin v 3D grafu. *Uvítal bych popsání závěrů z měření a konstatování, zda je z těchto měření možno určit, která část stroje je největším zdrojem hluku.*

Měření vibrační je popsáno v páté kapitole. Úvod kapitoly 5.1 bylo by vhodnější zařadit až za Teorii vibrační. U obr. 24, 25,26 i dalších chybí pramen. Jsou to výsledky práce autora? Jaké je vysvětlení pro frekvenci v okolí 500Hz u obr.28? Na str. 64 chybí komentář ke snímačům na čelech vinutí. Po představení měřicích systémů a vyvažování rotorů jsou uvedeny příčiny vibrační turbogenerátorů a uvedeny výsledky některých měření. Naměřené výsledky nejsou obvykle komentovány (obr.60). Grafické znázornování naměřených hodnot uváděné v podkapitole 5.15 (i když výsledky nejsou podrobně komentovány) je možno hodnotit jako přínos autora pro hodnocení stavu stroje a tedy i pro technickou diagnostiku.

Doktorand uvedl v závěru práce tři vlastní články publikované ve sborníku z konference, u jednoho příspěvku, publikovaného v časopise, je spoluautorem, stejně jako u dalších dvou příspěvků publikovaných ve sbornících.

Závěrečná konstatování:

Uvedený postup řešení je sice správný, ale často nelogicky doktorand uvedl nejdříve měření a pak teprve obecnou teorii. Je možno konstatovat, že cíle, které si vztýčil, tj. vytvoření aplikací

v programu MATLAB, byly splněny. Za *nedostatek* považuji, že u provedených měření není uvedeno za jakých provozních stavů byla tato měření provedena (naprázdno, zatížení, stav nabuzení apod.), i když v cílech práce autor uvádí, že vhodným nástrojem předávání informací jsou grafické výstupy veličin změřených při různých provozních stavech strojů.

Výsledky mohou být použity v praxi. Za konkrétní přínos práce je možno považovat vytvoření metody hodnocení výsledků měření v programu MATLAB.

Jak již bylo uvedeno je popis a postup řešení vcelku správný. Text je srozumitelný. U mnoha obrázků není jasné zda se jedná o výsledek vlastní práce nebo je obrázek převzatý od jiného autora. Jistým nedostatkem je nepoužívání termínů dle českých norem.

Publikace nejsou četné, ale zřejmě se jedná o studenta kombinovaného studia a tedy jejich počet je možno akceptovat.

Tuto závěrečnou práci, i přes výše uvedené připomínky, **doporučuji k obhajobě.**

V Havířově 1.11. 2015


doc. Ing. Karel Chmelík

Vedle výše uvedených připomínek uvádím další poznámky a dotazy:

Str. 7 – „ n “ obvykle neznačíme pouze synchronní otáčky

Str. 14 – „,,,,, mechanická energie hřídele...“ snad přivedená na hřídel.

Str. 15 – činitel vinutí by bylo vhodné popsat lépe.

Str. 47 – navaření výztuh *se jistě neprovádí* u všech vibrujících částí stroje.

Str. 50 – konstatování v prvním odstavci by bylo nutno dokázat.

Str. 51 – 2 odstavce zde logicky nepatří.

Str. 55 – jaké další veličiny působí na velikost tlumení vibračí vedle olejového filmu v ložiskách?

Str. 64 – uvítal bych komentář k obr. 34.

Str. 71 – „Postup vykreslení.....z obr. 41“ není jasné o co jde.

Str. 81 – obr. 53, z čeho se dá soudit, že „.....dochází k rezonanci...“?

Oponentní posudek na disertační práci doktoranda Ing. Vladimíra Zábranského :

Měření hluku a vibrací točivých strojů

Disertační práce je zcela jistě přínosem pro oddělení zkušebny závodu BRUSH SEM s.r.o, obecně pak pro obor a to znázorněním rozložení akustického tlaku programem MATLAB – 3D v okolí generátoru. Jedná se o měření na generátoru typu BDAX o výkonu cca 50 MW, v provedení „package“, určeného převážně pro spojení s plynovými turbinami.

V úvodu práce jsou popsány obecné zásady návrhu elektrických strojů točivých s několika technickými nepřesnostmi (magnetické klíny v rotoru). Vlastní měření hluku a chvění je popsáno ve 4. kapitole a to jak teoreticky, tak i prakticky aplikací systémů Betly Nevada, Bruel Kjaer a hlukoměru detekující akustický tlak (obr.č.12). Měření tlaku je provedeno na boční rovině generátoru (80 bodů) a na rovině čelní (48 bodů), vždy ve vzdálenosti 1 m od generátoru, jak je patrné z obr.č.16. Výsledky jsou shrnuty v tabulkách 2. až 7. a na grafech na obr. 17. a 18., (u barevné stupnice nejsou uvedeny odpovídající hodnoty).

Těžištěm a současně přínosem práce pro obor je kapitola 5. Jako příčiny chvění jsou posuzovány mechanické nevyváženosti rotujících hmot, elektromagnetické síly a aerodynamické vlivy chladicího systému. Podrobně je vysvětleno vyvažování rotorů včetně odpovídající metodiky. Jako řešení zvýšených vibrací jsou ve většině případů uváděny blíže nespecifikované konstrukční úpravy. Zdůrazněna je problematika vlastních frekvencí a nebezpečné vlivy rezonance. Měření se provádí v celém otáčkovém rozsahu generátoru. Grafické výstupy v 3D polárních grafech jsou uvedeny na obr.č.66 až 69.

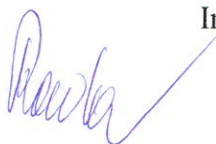
Přehledně zpracovaná práce má celkem 108 stran psaného textu, tabulek, grafů a schémat. V seznamu použité literatury je citováno 8 norem, 34 knižních publikací a 21 ostatních zdrojů. Dále je uvedeno 6 autorových publikací (převážně článků ve sbornících a časopisech) a 5 účastí na odborných konferencích. Přílohy (4 ks) se týkají převážně kalibračních listů použitých zařízení.

V rámci diskuse by bylo vhodné, aby se doktorand vyjádřil k připomínkám uvedeným v posudku.

**Disertační práci doktoranda Ing. Vladimíra Zábranského doporučuji,
(dle zákona č.111/1998 Sb. § 47), k obhajobě.**

V Plzni 30.10.2015

Ing.Petr Rada, CSc



V rámci obhajoby mám následující otázky:

1. Jak se konkrétně přepočítávají hodnoty měřeného akustického tlaku v tabulkách č.2 až 5 na akustický výkon, (dle vztahu 4.5.5.1. nebo je programováno v MATLABU)?
2. Jaké konstrukční úpravy byly provedeny mezi měřeními 1. a 2. (str.44 dole)?
3. Jak se hlukově liší vzduchové generátory s otevřenou ventilací (sání přes filtry a výfukem do okolí) a s uzavřeným oběhem vzduchu (s výměníkem voda - vzduch)?



FAKULTA
ELEKTROTECHNICKÁ
ZÁPADOČESKÉ
UNIVERZITY
V PLZNI

Fakulta
elektrotechnická

Katedra elektromechaniky a
výkonové elektroniky

Elektrotechnická fakulta

DFEL
Západočeská univerzita v Plzni
Univerzitní 8
PLzeň
306 14 – ČR

VÁŠ DOPIS ZNAČKY / ZE DNE	NAŠE ZNAČKA	VYŘIZUJE / LINKA	DATUM
DFEL/Le15/12.10.2015	22160-1/10/15	Skala /+420 377 634 473	27.10.2015

Věc : **Oponentský posudek disertační práce studenta**

Ing. Vladimír Zábranský – Měření hluku a vibrací točivých strojů

1. Aktuálnost zvoleného tématu

Práce je zaměřena na synchronní stroje velkých výkonů. Tento druh stroje se používá převážně jako generátor tepelných elektráren. Disertační práce se soustřeďuje nejen na specifikaci veličin, hluk a modální analýzu, ale zejména na přehled metod měření vibrací, vyvažování rotorů a vibrační diagnostiku stroje. Vzhledem k tomu, že výroba elektrické energie pro energetické účely je možná téměř výhradně jen pomocí synchronních generátorů, jedná se o téma vysoce aktuální a proto i téma je dizertabilní. Jedná se navíc o velice složitou oblast, kterou se zabývá jen málo pracovníků.

2. Cíle práce a reálnost časového harmonogramu

Na základě předložených tezí lze konstatovat, že student si vytkl za cíl

- *Rozvíjení a podpora stávajících diagnostických postupů*
- *Vytvoření SW nástroje pro 3D zobrazení akustického tlaku na měřicí ploše a výpočet akustického výkonu*
- *Vytvoření SW nástroje pro 3D zobrazení polárních grafů v závislosti na rychlosti otáčení stroje*

Konstatuji, že tyto cíle jsou splnitelné a v práci splněny byly.

3. Zvolené metody řešení, zdroje informací

Student v práci používal kromě literatury a teoretických poznatků zejména praktické zkušenosti a výsledky experimentálních měření. SW nástroje pro 3D grafy naprogramoval pomocí základních příkazů v prostředí MATLAB.

4. Dosažené výsledky, původní přínos práce, nové poznatky

V disertační práci student uvádí podrobný popis současného stavu problematiky a provádění měření v technické praxi. Přestože se jedná především o údaje z norem a běžné firemní provozní zkušenosti, je nutné vyzdvihnout veliký význam know-how. Hlavním přínosem práce je naprogramování aplikace v prostředí MATLAB pro 3D zobrazování naměřených veličin.

5. Přínos pro obor, další rozvoj vědy, techniky a pro praxi

Přínosem je uvedení některých příčin vibrací TBG, jejich projevy a protipatření. Dále je to vytvoření 3D grafů pro zobrazení akustického tlaku a vibrací.

6. Formální úprava, jazyková úroveň

Po formální stránce je práce zpracována na velmi vysoké úrovni. Práce je napsána v českém jazyce. Obrázky, grafy a schémata jsou zpracovány kvalitně. Vhodné je též zařazení názorných dokumentačních fotografií a obrázků zkušebního pracoviště. Z typografického hlediska též nemám vážnějších připomínek.

7. Publikace studenta

Dle seznamu publikací, uvedeného v disertační práci, lze konstatovat, že student Ing. Vladimír Zábranský se v letech 2010-2012 třikrát zúčastnil Přehlídky doktorských prací Fakulty elektrotechnické. Všechna tato jeho vystoupení jsem měl možnost sledovat a proto mohu prohlásit, že vlastní jádro studentovy práce bylo publikováno tímto způsobem. Dále je spoluautorem 3 odborných článků – z toho 2 byly prezentovány na mezinárodní konferenci.

8. Dotazy a připomínky

Formální připomínky a dotazy:

- s.16,18 a další - termín „plynová mezera“ zde nahrazuje termín „vzduchová mezera“. Je to v souladu s normou platnou v ČR?
- s.40 – spočíte – lépe „spočítá“
- s.51 výstřednost – „... je nejmenší vzdálenost ...“ v případě mimoběžných přímek – os
- s.51 – vychýlení = vzdálenost ?
- s.52 – časové – má být časově
- s.61 – fungují – lépe „pracují“
- obr. 33 – jednotky na osách grafů jsou μm ?

Věcné připomínky a dotazy:

- s.18 – V práci je uvedeno, že klíny statorových drážek jsou nemagnetické. Jaký je vliv velikosti vzduchové (autorem však nazývané „plynové“) mezery a je možné/nutné pro synchronní stroje použít klíny magnetické?
- s.48 – „momentová nevyváha“ – dále v práci ze s. 75 plyne, že má autor na mysli deviační moment?
- s.55 – Za jak dlouho [s] vyroste výchylka vibrací TBG na nebezpečnou hodnotu, kdy je nutno stroj odstavit? Jinak řečeno: Jaké zrychlení musí mít rotor, aby byly kritické otáčky bezpečně překročeny (podkročeny) bez vzniku nadměrných vibrací?

9. Doporučení k obhajobě

Na základě výše uvedených skutečností disertační práci „Ing. Vladimíra Zábranského – Měření hluku vibrací točivých strojů“ doktorského studijního programu

doporučuji předložit k obhajobě.

V Plzni dne 27.10.2015



Doc. Ing. Bohumil Skala, Ph.D.
oponent