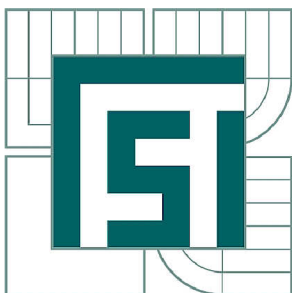


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV MECHANIKY TĚLES, MECHATRONIKY A
BIOMECHANIKY

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF SOLID MECHANICS, MECHATRONICS AND
BIOMECHANICS

ANALÝZA DYNAMIKY ROTORU ASYNCHRONNÍHO GENERÁTORU SPOJENÉHO PEVNOU SPOJKOU S HŘÍDELÍ VODNÍ TURBÍNY

ROTOR DYNAMICS OF ASYNCHRONOUS GENERATOR FAST FIXED WITH WATER TURBINE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. PETR BLAŽEK

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. DANIEL DUŠEK, Ph.D.

BRNO 2011

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav mechaniky těles, mechatroniky a biomechaniky

Akademický rok: 2010/2011

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Petr Blažek

který/která studuje v **magisterském navazujícím studijním programu**

obor: **Inženýrská mechanika a biomechanika (3901T041)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Analýza dynamiky rotoru asynchronního generátoru spojeného pevnou spojkou s hřídelí vodní turbíny

v anglickém jazyce:

Rotor dynamics of asynchronous generator fast fixed with water turbine

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Zadání firmy TES Vsetín s.r.o.

Při návrhu generátoru GAK710 malé vodní elektrárny nebylo zákazníkem specifikováno uložení generátoru a vodní turbíny a bylo zděleno že na generátor nebude působit žádná přídavná radiální síla od turbíny. Běžně se v takovýchto případech používá spojení pomocí pružné spojky. V tomto případě však bylo použito zákazníkem spojení pomocí pevné spojky. Následně při provozu soustavy došlo k havarijnímu stavu vlivem zvýšení reakčních sil v ložiskách generátoru.

Cíle diplomové práce:

Určení vlivu spojení generátoru s vodní turbínou pomocí pevné spojky na reakce v ložiskách.

Řešení by mělo probíhat v následujících krocích:

- 1) Statický výpočet uložení (tj. staticky neurčitý nosník na třech podporách) a zjištění reakcí v ložiskách
- 2) Výpočet dynamiky rotoru s otrojí
- 3) zahrnutí vlivu nepřesností montáže do řešení (např. nesouosost spojky, nesouosost rotoru generátoru a hřídele turbíny atd.)

Seznam odborné literatury:

Kratochvíl, C., Slavík, J. Dynamika, Skripta VUT BRno

ANSYS, ANSYS reference manual

Gash, R., Pfutzner, H., Dynamika rotorů, SNTL, Praha, 1980

Vedoucí diplomové práce: Ing. Daniel Dušek, Ph.D.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2010/2011.

V Brně, dne 18.11.2010

L.S.

prof. Ing. Jindřich Petruška, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá analýzou dynamiky rotoru asynchronního generátoru spojeného pomocí pevné spojky s hřídelí vodní turbíny. Cílem práce bylo určit vliv spojení generátoru s vodní turbínou pomocí pevné spojky na reakce v ložiskách. Tento problém byl řešen ve dvou variantách v první variantě byl uvažován model bez vlivu nepřesností, ve variantě druhé byly do řešení zahrnuty nepřesnosti způsobené montáží. Problém byl řešen výpočtovým modelováním pomocí programu Ansys.

Klíčová slova

Dynamika rotorů, metoda konečných prvků, modální analýza, harmonická analýza, přechodová analýza.

Abstrakt

This Master's thesis deals with rotordynamics analysis of asynchronous generator rigid coupling with water turbine shaft. The purpose of this thesis was to determine influence of connection of generator with water turbine by rigid coupling to reactions in bearings. This problem was solved in two ways. The first option focused on model without influence of inaccuracies whereas there were inaccuracies included in the second option. The problem was solved by computational modeling by software Ansys.

Key words

Rotordynamics, finite element method, modal analysis, harmonic analysis, transient analysis.

Bibliografická citace

BLAŽEK,P. Analýza dynamiky rotoru asynchronního generátoru spojeného pevnou spojkou s hřídelí vodní turbíny. Brno: Vysoké učení technické Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 54 s. Vedoucí diplomové práce: Ing. Daniel Dušek, Ph.D.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci „Analýza dynamiky rotoru asynchronního generátoru spojeného pevnou spojkou s hřídelí vodní turbíny“ vypracoval samostatně pod vedením Ing. Daniela Duška, Ph.D. s využitím doporučené literatury.

V Brně dne 10. května 2011

.....

Bc. Petr Blažek

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval vedoucímu diplomové práce Ing. Danielu Duškovi, Ph.D. za odborné vedení, připomínky a cenné rady při realizaci této práce.

Obsah

1. Úvod.....	7
2. Formulace problému.....	8
3. Cíle diplomové práce.....	8
4. Rešerše dostupné literatury.....	8
5. Teoretický úvod řešení problémové situace.....	9
6. Systém podstatných veličin.....	14
6.1 Výběr metody řešení.....	15
7. Možnosti programu ANSYS při řešení dynamiky rotorů.....	16
8. Tvorba jednotlivých dílčích modelů.....	18
8.1 Model geometrie.....	18
8.1.1 Model geometrie hřídele.....	18
8.1.2 Model geometrie vodní turbíny.....	19
8.1.3 Model geometrie pevné spojky.....	19
8.1.4 Model geometrie soustavy.....	20
8.1.5 Diskretizace modelu geometrie.....	21
8.2 Model materiálu.....	21
8.3 Model vazeb.....	22
8.3.1 Model ložisek.....	22
8.3.2 Vazba mezi hřídelí a vodní turbínou pomocí pevné spojky.....	24
8.4 Model ovlivňování soustavy.....	24
8.5 Charakteristika použitých prvků.....	24
8.6 Model okrajových podmínek.....	25
8.7 Restrikce výpočtových modelů.....	27
9. Postup řešení.....	27
10. Analýza problému bez uvažování nepřesností.....	28
10.1 Statická analýza.....	28
10.2 Modální analýza.....	30
10.3 Harmonická analýza.....	36
10.4 Přechodová analýza.....	39

11. Analýza problému s uvažováním nepřesností.....	49
11.1 Model geometrie soustavy.....	49
11.2 Model vazeb.....	49
11.3 Model okrajových podmínek.....	50
12. Závěr.....	51
Seznam použitých symbolů.....	53
Seznam použité literatury.....	54

1. Úvod

Pokrok v oblasti vědy a techniky jde neustále dopředu s tímto pokrokem se zvyšují nejen požadavky kladené na technické objekty, ale i možnosti těmto požadavkům vyhovět. Rozvoj počítačových technologií zasáhl snad všechny vědní obory. V oblasti inženýrských analýz jde o využití numerických metod, zejména metody konečných prvků. Tato metoda usnadňuje jak proces vzniku nových technických objektů, tak i možnost posouzení stávajících technických objektů. Požadavky kladené na technické objekty jsou velice různorodé. Hlavním cílem však zůstává, aby technický objekt plnil požadovanou funkci po požadované dobu.

Cílem této diplomové práce byla analýza dynamiky rotoru asynchronního generátoru spojeného pevnou spojkou s hřídelí vodní turbíny. Tato analýza byla provedena pro dva typy výpočtových modelů: modelu bez uvažování nepřesností mezi hřídelí generátoru a vodní turbínou a modelu s uvažováním nesouososti mezi hřídelí generátoru a hřídelí vodní turbíny. V obou případech byla vazba mezi prvky soustavy realizována pomocí pevné spojky.

Pro řešení tohoto problému bylo zvoleno výpočtové modelování pomocí metody konečných prvků (MKP). Problém byl řešen numericky pomocí softwaru ANSYS.

12. Závěr

Cílem diplomové práce bylo určit vliv spojení pomocí pevné spojky na reakce v ložiskách. Problém byl řešen ve dvou variantách. V první variantě byl problém řešen bez uvažování nepřesností způsobených montážemi. První varianta byla řešena pro dva modely:

- model bez uvažování změny tuhosti způsobené magnetickým tahem, tento problém byl řešen pomocí statické a modální analýzy.
- model s uvažováním snížené tuhosti způsobené magnetickým tahem, tento problém byl řešen pomocí statické, modální, harmonické a přechodové analýzy.

V druhé variantě byly do výpočtu zahrnuty nepřesnosti vzniklé odchylkami od souososti hřídele generátoru a vodní turbíny. Tato varianta byla řešena pouze pro model s uvažováním snížené tuhosti způsobené magnetickým tahem. Obě varianty výpočtu ovlivnila tuhost valivých ložisek umístěných na hřídeli generátoru. Tato tuhost nebyla konstantní, měnila se dle zatížení ložiska.

Porovnáním výsledků statické analýzy první varianty modelů bez a s uvažováním snížené tuhosti vyvolané magnetickým tahem, byly zjištěny zvýšené reakční síly v ložiskách v případě modelu s uvažováním snížené tuhosti vyvolané magnetickým tahem oproti modelu, kde nebylo uvažováno snížení tuhosti vyvolané magnetickým tahem. Zvýšení reakčních sil v ložiskách způsobilo zvýšení tuhosti nelineárních ložisek (Tab. 12.1).

Model bez uvažování změny tuhosti vyvolané magnetickým tahem				
Reakce v ložisku [N]			Tuhost ložiska [$N \cdot s \cdot m^{-1}$]	
A	B	C	A	B
-3360	-6671	31	$490 \cdot 10^6$	$610 \cdot 10^6$
Model s uvažováním snížené tuhosti vyvolané magnetickým tahem				
-5924	-11777	57	$595 \cdot 10^6$	$725 \cdot 10^6$

Tab. 12.1 Reakce v ložiskách vypočítané statickou analýzou

Modální analýza musela být provedena pro případ lineárního modelu ložisek. Tuhosti ložisek byly určeny z výsledků statické analýzy. Za těchto předpokladů soustava pracuje mimo kritické otáčky.

Harmonická analýza byla provedena pro případ lineárního modelu ložisek. Vlastní frekvence a kritické otáčky určené harmonickou analýzou se shodovaly s výsledky modální analýzy. Vypočítané reakce v ložiskách při provozních podmínkách odpovídají reakcím určených statickou analýzou.(Tab. 12.2)

Přechodová analýza byla provedena pro dva modely ložisek: lineární model a nelineární model. Vypočítané reakce v ložiskách se v případě nelineárního výpočtu zvýšily, ne však zásadním způsobem (Tab. 12.2).

Ložisko	Typ analýzy			
	Statická	Harmonická	Přechodová	
			Lineární	nelineární
A	5 924	5 970	5 980	6100
B	11 777	11 845	11 850	12 090
C	58	58	60	56

12.2 Amplituda reakcí v ložisku

Všechny analýzy potvrdily, že soustava pracuje v mimorezonanční oblasti a nedochází ke zvýšení reakčních sil v ložiskách.

Nesouosost spojení se projevila zvýšením reakčních sil v ložiskách. Toto zvýšení mohlo mít za následek poruchu soustavy. Pro přesné určení důvodu poruchy, by bylo potřeba znát i další vstupní veličiny ovlivňující výsledné reakce v ložiskách. Pevné spojky spojují konce hřídelí trvale a bez vůle. Nejsou vhodné pro spojování nesouosých hřídelí. Tato nesouosost je příčinou přídavného namáhání, což je nežádoucí. Přídavná namáhání můžeme snížit použitím pružných spojek, které kompenzují malé nesouososti a osově posuny spojovaných hřídelí. [6]

Seznam použitých symbolů

[B]	matice tlumení	$[N \cdot s / m]$
$[C_{\text{gyro}}]$	matice gyroskopických účinků	$[N \cdot s / m]$
$[C_{\text{cor}}]$	matice coriolisových účinků	$[N \cdot s / m]$
e	excentricita	[m]
E	modul pružnosti v tahu	[Pa]
f	frekvence	[Hz]
φ	úhlová poloha	[Rad]
F_o	odstředivá síla	[N]
{f}	vektor vnějšího zatížení	[N]
{F}	vektor zatížení	[N]
I_{xx}, I_{yy}, I_{zz}	momenty setrvačností	$[kg \cdot m^2]$
k	tuhost	$[N \cdot m^{-1}]$
k_{mag}	magnetoelastická konstanta	$[N \cdot m^{-1}]$
[K]	matice tuhosti	$[N \cdot m^{-1}]$
$[K_c]$	matice změkčení za rotace	$[N \cdot m^{-1}]$
m	hmotnost	[kg]
[M]	matice hmotnosti	[kg]
n_p	provozní otáčky	$[\text{min}^{-1}]$
ω	úhlová rychlost	$[\text{Rad} \cdot s^{-1}]$
Ω	vlastní úhlová frekvence	$[\text{Rad} \cdot s^{-1}]$
q_h	pružná deformace	[m]
t	čas	[s]
T	perioda	[s]
{ \ddot{u} }	vektor zrychlení	$[m \cdot s^{-2}]$
{ \dot{u} }	vektor rychlostí	$[m \cdot s^{-1}]$
{u}	vektor posuvů	[m]

Seznam použité literatury

- [1] GASH, R; PFÜTZNER, H. *Dynamika rotorů*. 1.vyd. Praha : SNTL,n.p, 1980. 163 s.
- [2] WIEDEMANN, E; KELLENBERGER, W. *Konstrukce elektrických strojů*. 1.vyd. Praha : SNTL,n.p, 1973. 473 s.
- [3] GENTA, G. *Dynamics of Rotating Systems*. 1.vyd. New York : Springer, 2005. 658 s. ISBN 0-387-20936-0.
- [4] ANSYS 12 product help
- [5] JANÍČEK, P. *Systémové pojetí vybraných oborů pro techniky : hledání souvislostí. 1.* 1.vyd. Brno : CERM, 2007. 1230 s. ISBN 978-80-7204-555-6.
- [6] KŘÍŽ, R; VÁVRA, P. *Strojírenská příručka*. 1.vyd. Praha : SCIENTIA, 1995. 291 s. ISBN 80-85827-88-3.