**POLITECNICO DI MILANO**

Scuola di Ingegneria Industriale e dell'Informazione

Corso di Laurea Magistrale in

Ingegneria Informatica



Modello di Tesi di Laurea in LaTeX

Relatore: Prof. Charles DICKENS

Correlatore: Ing. Emilio SALGARI

Tesi di Laurea di:

Andrea CIRIGLIANO Matr. 824075

Anno Accademico 2016 - 2017

Indice Generale *(Times – o similari, pt 20)*

**Introduzione**

**1 Identificazione di malfunzionamenti di macchine rotanti**  1

1.1 Metodi utilizzati 1

**2 Descrizione della metodologia sperimentale** 3

2.1 Obiettivi principali 3

2.2 Descrizione delle prove sperimentali 4

2.3 Scelta della metodologia di attacco corrosivo 6

2.3.1 Fasi preliminari 6

2.3.2 Descrizione della strumentazione 8

2.4 Preparazione del test‑rig 10

…

**3 Analisi dei dati relativi campagna di prove** 25

3.1 Misure della profondità della cricca 25

3.1.1 Elaborazione dei dati 25

3.1.2 Confronto con il modello 30

…

**4 Conclusioni e sviluppi futuri** 142

**Bibliografia**  150

**Appendice A** 155

**Appendice B** 180

Elenco delle Figure

1.1 Esempio di storia temporale di vibrazione a regime 10

1.2 Esempio di vibrazione in transitorio di velocità 12

1.3 Analisi armonica del segnale 18

1. .....
2. ....

(*e così via....*)

Elenco delle Tabelle

1.1 Frequenze proprie del sistema 10

1.2 Valore dei coefficienti di smorzamento e di rigidezza dei cuscinetti calcolati a regime 12

1.3 ......

1. .....

(*e così via....*)

**Sommario**

Nelle macchine elettriche rotanti con rotore eccentrico si ha uno sbilanciamento delle forze elettromagnetiche agenti tra rotore e statore che produce una forza radiale netta nota come Unbalanced Magnetic Pull (UMP). Nel caso di macchine di elevata potenza e velocità, quali i turbo-alternatori supportati da cuscinetti lubrificati, non è accettabile l’approssimazione di orbita circolare per il centro geometrico del rotore, normalmente usata in letteratura. La tesi introduce un modello più realistico ed originale mediante il quale si determina analiticamente la distribuzione reale del traferro durante la rotazione, tenendo conto degli effetti prodotti dall’orbita del rotore. L’UMP è calcolato con l’approccio della permeanza al traferro e la simulazione del comportamento dinamico di un generatore da 320 MVA mostra il contenuto armonico dell’UMP e la presenza di non-linearità.

**Parole chiave:** Unbalanced Magnetic Pull, alternatori, traferro, effetti non-lineari…

**Abstract**

If the rotor becomes eccentric in rotating electrical machines, then an imbalance of these forces occurs, so that a net radial electromagnetic force, known as Unbalanced Magnetic Pull (UMP), is developed. In case of large size machines, such as turbo-generators supported by oil-film bearings, the approximation of circular orbit for the geometric centre of the rotor is not acceptable. In order to provide a more realistic and original model, in this work the actual distribution of the air-gap length during the rotation will be determined in analytical terms, by taking into account the effects produced by the actual rotor orbit. The actual UMP is calculated by using the air-gap permeance approach and the simulation of the dynamical behaviour of a 320 MW generator is presented, showing the harmonic content of the UMP and the presence of non-linearities.

**Keywords:** Unbalanced Magnetic Pull, generators, air-gap, non-linear effects…

**Capitolo 1**

**Identificazione di malfunzionamenti nelle macchine rotanti**

L’identificazione precoce dei malfunzionamenti nelle macchine rotanti è molto importante al fine di evitare che si verifichi un danno maggiore. La possibilità di mettere in pratica una strategia di manutenzione di tipo predittivo permette di ridurre i costi di riparazione dal momento che il malfunzionamento primario è identificato al suo primo stadio di sviluppo e i malfunzionamenti secondari indotti vengono evitati.

Per tale motivo, l’identificazione dei malfunzionamenti è un argomento molto dibattuto nella letteratura sulla dinamica dei rotori; numerosi sono i metodi proposti sia di carattere generale sia indirizzati a particolari tipi di malfunzionamento o di macchina. Il più delle volte questi metodi sono stati validati con modelli teorici, alcuni di questi su test‑rig di laboratorio e solo in misura minore su macchine reali.

Ottenere una identificazione corretta di un malfunzionamento su una macchina reale è spesso una operazione non banale. Mediante l’analisi del sintomo del malfunzionamento si può ottenere una selezione preliminare dei più probabili tipi di malfunzionamenti che hanno generato un allarme.

**1.1 Metodi utilizzati**

Di solito, i metodi utilizzati sono basati sull’analisi del contenuto armonico delle vibrazioni della macchina, misurato sia durante i transitori di giri [1] sia durante il funzionamento a regime (vedi figura 1.1).

Tuttavia, informazioni più quantitative possono essere fornite solo per mezzo di tecniche di identificazione basate su modello. Questi metodi permettono di localizzare i malfunzionamenti e di valutare il loro grado di severità, ma la loro applicazione è spesso ristretta allo specialista, capace di trattare le molte possibili cause di incertezza nell’accuratezza dell’identificazione dei malfunzionamenti.

Una delle cause di errori è dovuta alla scarsa ripetibilità della risposta vibratoria della macchina a causa degli effetti termici, che determina una sovrapposizione delle vibrazioni ad essi conseguenti rispetto a quelle dovute al malfunzionamento in atto. In ogni caso, una scelta accurata delle vibrazioni misurate durante il transitorio di velocità può ridurre questi errori in maniera significativa. Un’altra causa di errore può essere la presenza di rumore nei segnali di vibrazione o di errori nell’analisi armonica.



Figura 1.1. Esempio di storia temporale di vibrazione a regime.

Talvolta, le stime dei coefficienti di smorzamento e rigidezza relativi ai cuscinetti possono non essere accurate a causa di mancanza di informazioni sull’allineamento della macchina o sul valore reale del gioco dei cuscinetti o della temperatura di ingresso dell’olio di lubrificazione. In questo articolo viene utilizzato un metodo di identificazione nel dominio delle frequenze, basato su modello, che permette di considerare molti tipi di malfunzionamento.

**Bibliografia**

[1] Isermann R. Fault Detection and Diagnosis – Methods and Applications. *Proceedings of* *2nd International Symposium on Acoustical and Vibratory Surveillance Methods and Diagnostic Techniques,* October 1995 Senlis, France, pp. 777‑792.

…