

การหาระยะการเยื้องศูนย์ของแกนเพลามอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำสามเฟส โดยการวิเคราะห์กระแสเตเตอร์

Motor Shaft Misalignment Diagnosis of Three-Phase Induction Motor By Analyzing of Stator Current

มนัส พันธุ์ผูก¹, อุดลย์ จรรยาเลิศอดุลย์¹ และ มงคล ปุษยตานนท์²

¹ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล, ²ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.

อ.วารินชำราบ จ.อุบลราชธานี 34190. โทร ¹045-353307, ²045-353335 โทรสาร 045-353333

Manut Punpook¹, Adun Janyalertadun¹ and Mongkol Pusayatanont²

¹Department of Mechanical Engineering, ²Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering

Ubonratchathani University Warinchamrap, Ubonratchathani 34190, Tel ¹045-353307, ²045-353335, Fax 045-353333

Email: m8130287@std.ubu.ac.th ,adun.j@ubu.ac.th and tapt1ubu@hotmail.com

บทคัดย่อ

บทความนี้ศึกษาการเกิดการเยื้องศูนย์ของแกนเพลามอเตอร์ด้วยวิธีการวิเคราะห์สัญญาณเชิงความถี่ของกระแสที่จ่ายให้กับมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบสามเฟส เพื่อวิเคราะห์ระดับความผิดปกติที่เกิดจากการเยื้องศูนย์ของมอเตอร์ โดยเน้นศึกษาที่ขนาดของสัญญาณความถี่แถบข้าง (Side band frequency) $f_s \pm f_r$ ซึ่งเป็นความถี่ที่มีความสัมพันธ์กับระยะการเยื้องศูนย์ของมอเตอร์ โดยทำการเปรียบเทียบขนาดของความถี่ดังกล่าวที่เปลี่ยนแปลงกับขนาดการเยื้องศูนย์ที่เกิดขึ้น จากผลการทดลองพบว่า ระดับของการเยื้องศูนย์ที่เพิ่มขึ้นมีความสัมพันธ์กับขนาดของสัญญาณที่ความถี่แถบข้าง $f_s \pm f_r$ และสามารถใช้เป็นข้อมูลในการตัดสินใจว่าระยะการเยื้องศูนย์ของมอเตอร์อยู่ในระดับใด

Abstract

The paper studies technique of shaft misalignment detection of 3-phase induction motor by analyzing of stator current in frequency domain. This study focuses on amplitude deviation of sideband frequency at $f_s \pm f_r$ which relates to degree of misalignment by using relative comparison with signal amplitude at normal condition. The experimental results show that the change of sideband amplitude can be used as a general criterion to determine degree of misalignment.

1. บทนำ

ในปัจจุบันมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสถูกใช้งานอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรม และเป็นอุปกรณ์ที่มีความสำคัญในระบบการผลิต เมื่อมอเตอร์เกิดการชำรุดหรือเกิดการเสียหายย่อมมีผลกระทบต่อ ขบวนการผลิตและคุณภาพของผลิตภัณฑ์หรือชิ้นงานที่ผลิต รวมถึงความเสียหายที่เกิดจากการหยุดทำงานของเครื่องจักร การตรวจสอบมอเตอร์อย่างสม่ำเสมอเป็นวิธีบำรุงรักษาเชิงป้องกันที่ดีที่สุดเพื่อไม่ให้เกิดการเสียหายเนื่องจากการหยุดงานของเครื่องจักร โดยเฉพาะอย่างยิ่งการตรวจสอบการเยื้องศูนย์ของมอเตอร์ซึ่งเป็นปัญหาหลัก[1] ที่ทำให้มอเตอร์เกิดการสั่นสะเทือนและตลับลูกปืนเกิดการสึกหรอ หรือ ชำรุดเสียหาย การตรวจสอบการเยื้องศูนย์ของแกนเพลามอเตอร์ สามารถทำได้หลายวิธี เช่น ตรวจสอบความร้อนที่ตัวมอเตอร์หรือที่คัปปลิง การตรวจสอบด้วยเซ็นเซอร์วัดการสั่นสะเทือน หรือ การตรวจสอบโดยการวิเคราะห์สัญญาณกระแสที่จ่ายให้กับมอเตอร์

บทความนี้ได้ทำการศึกษาและวิเคราะห์สัญญาณเชิงความถี่ ของกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์ ซึ่งผลการทดลอง และงานวิจัยที่ผ่านมา ได้แสดงให้เห็นว่าการเกิดการเยื้องศูนย์สามารถตรวจสอบได้ด้วยวิธีวิเคราะห์สัญญาณกระแส แต่จากการศึกษาพบว่ามีข้อมูลไม่เพียงพอที่จะกำหนดเกณฑ์ตัดสินว่า ระดับการเยื้องศูนย์อยู่ในค่าที่ยอมรับได้หรือไม่ ดังนั้นการวิจัยชิ้นนี้ จึงมุ่งเน้นหาข้อมูลเชิงสถิติ เพื่อหาค่าที่เหมาะสมและใช้เป็นเกณฑ์ในการตัดสิน ระดับการเยื้องศูนย์เพื่อเป็นข้อมูลในการบำรุงรักษามอเตอร์หรือส่งสัญญาณเตือน เมื่อต้องทำการปรับการเยื้องศูนย์หรือการเปลี่ยนตลับลูกปืนใหม่ และเพื่อพัฒนาระบบการตรวจสอบแบบ Real time ซึ่งเครื่องมือและอุปกรณ์ในการวัดชนิดนี้

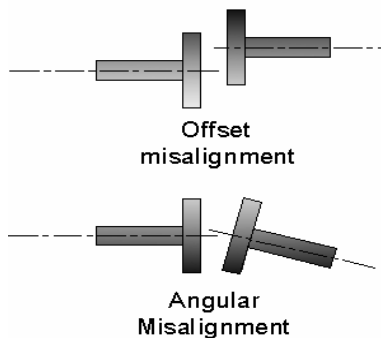
สามารถหาซื้อได้ทั่วไป และราคาไม่สูง เมื่อเทียบกับระบบการตรวจสอบแบบวัดความร้อน หรือ การวัดการสั่นสะเทือน และสามารถติดตั้งได้ง่าย

2. การเยื้องศูนย์ของเพลามอเตอร์

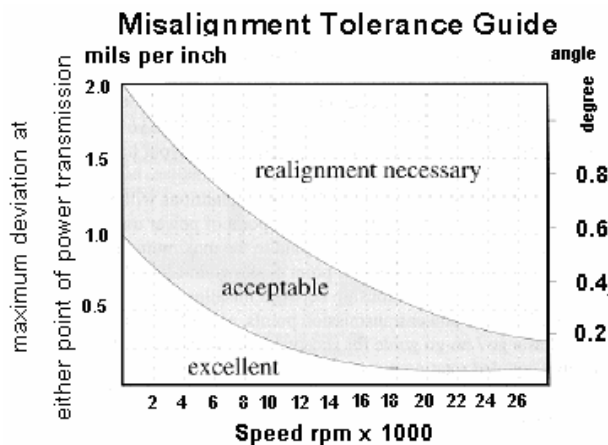
ลักษณะการเกิดการเยื้องศูนย์ของแกนเพลามอเตอร์ สามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิดคือ

2.1) Offset misalignment เมื่อแนวแกนของเพลาคู่ที่ต่อกันอยู่ในระนาบเดียวกันแต่ศูนย์กลางการหมุนของแต่ละเพลานานกัน

2.2) Angular misalignment เมื่อแนวแกนของเพลาคู่ที่ต่อกันไม่อยู่ในระนาบเดียวกันและศูนย์กลางการหมุนทำมุมซึ่งกันและกัน



รูปที่ 1 การเกิดการเยื้องศูนย์ของแกนเพลามอเตอร์



รูปที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบมอเตอร์และการเยื้องศูนย์ [2]

จากรูปที่ 2 สังเกตได้ว่าการเยื้องศูนย์ของแกนเพลาคู่ที่ยอมรับได้ แปรผกผันกับความเร็วรอบของมอเตอร์ เพราะที่ความเร็วรอบสูง แกนเพลามีแรงเหวี่ยงสูง มีผลทำให้มอเตอร์เกิดการสั่นและทำให้อายุการใช้งานดัดแปลงกันสั้นลง แต่ข้อมูลดังกล่าวสามารถใช้อธิบายความสัมพันธ์ค่าการเยื้องศูนย์และความเร็วรอบของมอเตอร์ที่ต่อกับโหลดผ่านคัปปลิงแบบชนิดอ่อน (Flexible Coupling) เท่านั้น

3. หลักการทำงานของพื้นฐานของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส

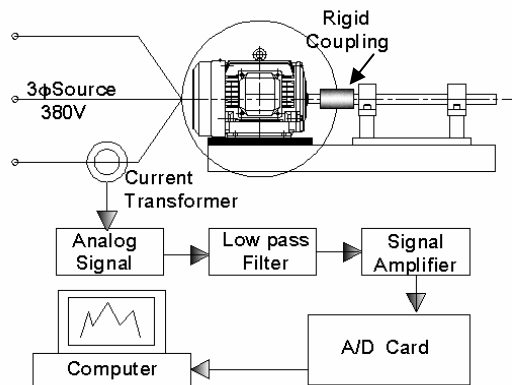
มอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสมีหลักการทำงานของพื้นฐานกล่าวคือ การสร้างสนามแม่เหล็กหมุน (Rotating Field) ที่ขดลวดสเตเตอร์ (Stator Winding) ด้วยระบบไฟฟ้าสามเฟส ซึ่งสนามแม่เหล็กหมุนนี้จะเหนี่ยวนำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่โรเตอร์ และมีกระแสไหลในโรเตอร์ซึ่งกระแสดังกล่าวจะสร้างสนามแม่เหล็กขึ้นที่ผิวของโรเตอร์ ซึ่งสนามแม่เหล็กทั้งสองจะ modulate กันด้วยความถี่ $(f_s \pm f_r)$ และขนาดของสัญญาณนี้จะขึ้นอยู่กับระยะช่องว่างอากาศ ดังนั้นหากช่องว่างอากาศมีการเปลี่ยนแปลง ก็จะส่งผลโดยตรงต่อขนาดของสัญญาณที่ความถี่ดังกล่าวความถี่ $(f_s \pm f_r)$ สามารถอธิบายได้จากการ [3]

$$f_{ecc} = |f_s \pm k f_r| = f_s [1 \pm 2m(1-s)/p] \quad (1)$$

f_{ecc}	=	ความถี่ที่เกิดจากการเยื้องศูนย์ (Hz)
f_s	=	ความถี่ที่จ่ายให้มอเตอร์ (Hz)
k	=	1,2,3...
f_r	=	ความเร็วรอบมอเตอร์ (Hz)
m	=	1,2,3...
s	=	ค่า slip ของมอเตอร์
p	=	จำนวนขั้วของมอเตอร์

4. วิธีการทดลอง

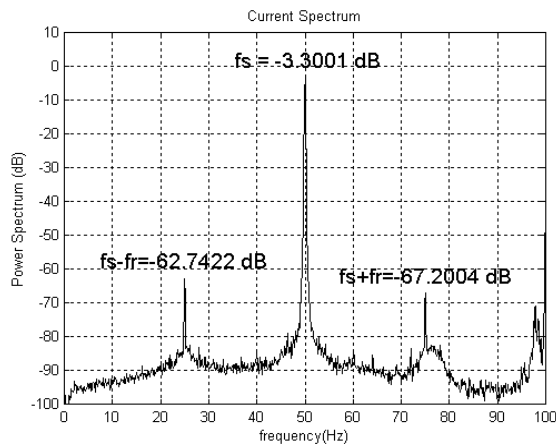
มอเตอร์ที่ใช้ในการทดลองมีขนาด 4 kW, 50 Hz, 4 poles 1450 rpm ระยะช่องว่างอากาศที่วัดได้เท่ากับ 0.125 มม. ชุดทดลองประกอบด้วยมอเตอร์ที่ต่อกับแกนเพลาคู่ที่สร้างขึ้น ทำให้สามารถปรับการเยื้องศูนย์ได้ สัญญาณกระแสที่จ่ายให้มอเตอร์วัดผ่านหม้อแปลงกระแส (Current Transformer) ในอัตราส่วน 50/5 และทำการแปลงสัญญาณกระแสให้อยู่ในรูปสัญญาณแรงดัน โดยนำตัวต้านทานขนาด 0.5 Ω มาต่อไว้ที่ขั้วของหม้อแปลงกระแส จากนั้นนำสัญญาณที่ได้ต่อเข้าวงจรกรองความถี่ต่ำที่มีแถบความถี่ผ่าน 0-500 Hz และทำการขยายสัญญาณโดยวงจรขยายให้มีขนาด ± 5 V เพื่อเข้าสู่ระบบเก็บข้อมูลโดยการแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัล โดยใช้ A/D Card 16 Channel , Analog input ,Sampling rate 100 kHz, PCI interface ในการวัดแต่ละครั้งใช้เวลาเก็บข้อมูล 16 วินาทีด้วยความถี่สุ่ม (Sampling frequency) 8 kHz และข้อมูลที่วัดได้จะถูกบันทึกไว้ในคอมพิวเตอร์ จากนั้นใช้โปรแกรมคำนวณทางคณิตศาสตร์ เรียกข้อมูลที่บันทึกไว้มาทำการวิเคราะห์เพื่อหาสภาวะความผิดปกติ ในการทดลองนี้ได้ปรับการเยื้องศูนย์ของแกนเพลามอเตอร์จากสภาวะปกติ เป็น 0.02 มม. 0.03 มม. 0.05 มม. และ 0.07 มม. ตามลำดับ โดยทดสอบมอเตอร์ในสภาวะไม่มีโหลด (No load) ความเร็วรอบของมอเตอร์ขณะทดลองวัดได้ 1440 rpm



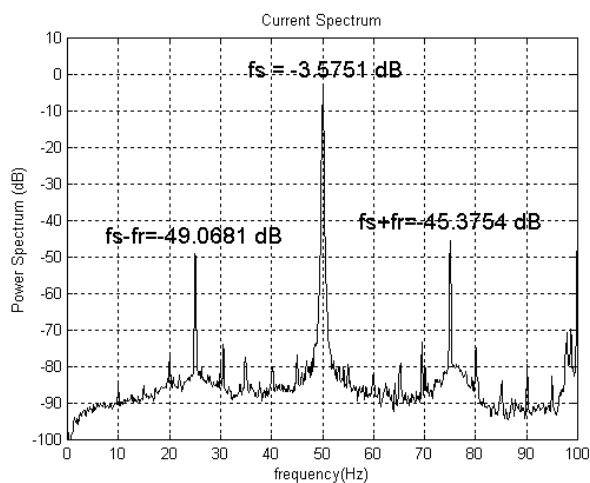
รูปที่ 3 แสดงแผนภาพการวัดสัญญาณจากมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส

4.ผลการทดลอง

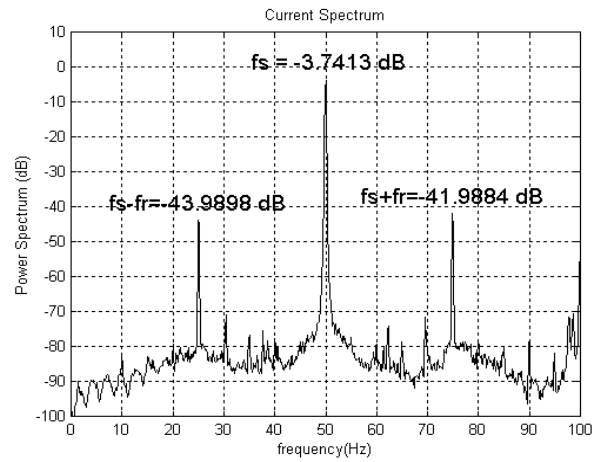
สัญญาณกระแสในโดเมนความถี่เมื่อมอเตอร์อยู่ในสภาวะปกติ



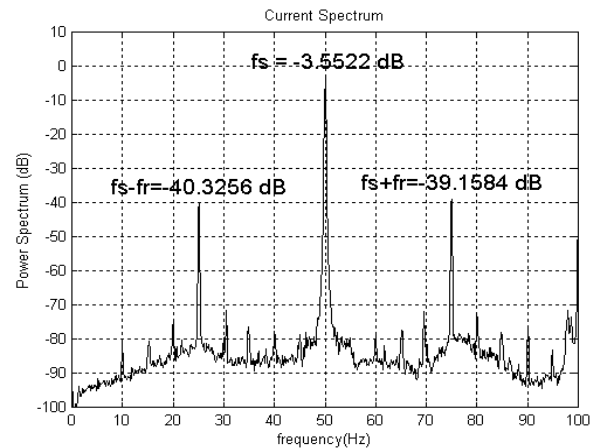
รูปที่ 4 แสดงสัญญาณความถี่ที่ ($f_s \pm f_r$) เมื่อเกิดการเยื้องศูนย์ 0.01 มม.



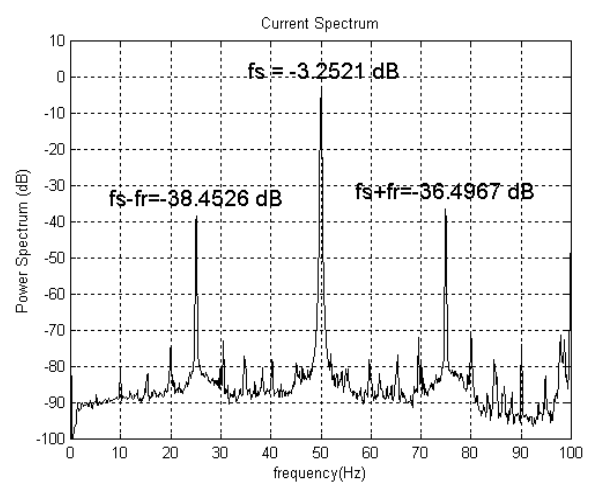
รูปที่ 5 แสดงสัญญาณความถี่ที่ ($f_s \pm f_r$) เมื่อเกิดการเยื้องศูนย์ 0.02 มม.



รูปที่ 6 แสดงสัญญาณความถี่ที่ ($f_s \pm f_r$) เมื่อเกิดการเยื้องศูนย์ 0.03 มม.



รูปที่ 7 แสดงสัญญาณความถี่ที่ ($f_s \pm f_r$) เมื่อเกิดการเยื้องศูนย์ 0.05 มม.



รูปที่ 8 แสดงสัญญาณความถี่ที่ ($f_s \pm f_r$) เมื่อเกิดการเยื้องศูนย์ 0.07 มม.

จากการทดลองเมื่อมอเตอร์ทำงานภายใต้สภาวะไม่มีโหลด ที่ความเร็วรอบ 1440 rpm ความถี่ที่สัมพันธ์กับระยะการเยื้องศูนย์ ($f_s \pm f_r$) สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$|f_s \pm k f_r| = f_s [1 \pm 2m(1-s)/p]$$

แทนค่า $f_s = 50 \text{ Hz}$, $m = 1$, $s = 0.04$, และ $p = 4$

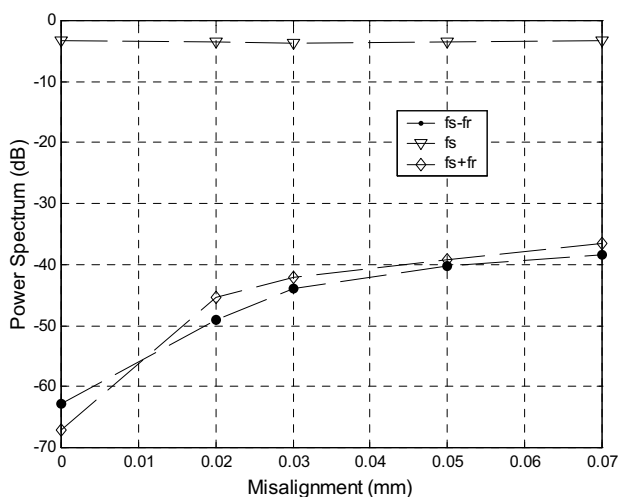
ดังนั้น $f_s - f_r = 26 \text{ Hz}$ และ $f_s + f_r = 74 \text{ Hz}$

จากผลการทดลองโดยปรับแกนเฟลาของมอเตอร์จากสภาวะปกติที่ไม่มีการเยื้องศูนย์สามารถวัดขนาดของความถี่ $f_s - f_r$ และ $f_s + f_r$ ได้ -62.74 และ -67.20 dB ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4 ซึ่งมอเตอร์ปกติสามารถเกิดการเยื้องศูนย์ได้เล็กน้อยเนื่องจากตลับลูกปืน ถูกออกแบบให้มีระยะคลอนภายใน ซึ่งระยะคลอนภายในนี้ขึ้นอยู่กับการออกแบบของบริษัทผู้ผลิตซึ่งโดยทั่วไประยะคลอนภายในตลับลูกปืนมีค่าระหว่าง 0.005 - 0.012 mm [4]

เมื่อทำการปรับระยะการเยื้องศูนย์เพิ่มขึ้น จากสภาวะปกติเป็น 0.02 มม., 0.03 มม., 0.05 มม. และ 0.07 มม. ตามลำดับพบว่าขนาดของสัญญาณที่ความถี่ $f_s - f_r$ และ $f_s + f_r$ มีขนาดเพิ่มขึ้นสัมพันธ์กับระยะการเยื้องศูนย์ที่เพิ่มมากขึ้น อย่างไรก็ตามจากการทดลองพบว่าขนาดของสัญญาณที่ความถี่ 50 Hz ไม่มีการเปลี่ยนแปลง ดังแสดงในตารางที่ 1 และรูปที่ 9

ตารางที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างการเยื้องศูนย์กับขนาดของสัญญาณของความถี่ที่ f_s , $f_s - f_r$ และ $f_s + f_r$

ระยะการเยื้องศูนย์ (mm)	$ f_s - f_r $ (dB)	$ f_s $ (dB)	$ f_s + f_r $ (dB)
0.00	-62.74	-3.30	-67.20
0.02	-49.06	-3.57	-45.37
0.03	-43.98	-3.74	-41.98
0.05	-40.32	-3.55	-39.15
0.07	-38.45	-3.25	-36.49



รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างการเยื้องศูนย์กับค่า f_s , $f_s - f_r$ และ $f_s + f_r$

5.สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองพบว่าขนาดของสัญญาณที่ความถี่ $f_s \pm f_r$ เพิ่มขึ้นมีความสัมพันธ์กับระยะการเยื้องศูนย์ที่เพิ่มขึ้นโดยเฉพาะการเยื้องศูนย์ที่มีระยะน้อยกว่า 0.03 มม. ซึ่งสามารถใช้เป็นตัวบ่งชี้ สภาวะผิดปกติที่เกิดจากการเยื้องศูนย์ได้ และนำไปสู่การหาเกณฑ์ที่สามารถตัดสินว่าการเยื้องศูนย์ของมอเตอร์อยู่ในระดับใด

งานวิจัยชิ้นนี้มีแผนการดำเนินงานขั้นต่อไปคือการทดสอบมอเตอร์ที่มี ขนาดเดียวกัน และขนาด 5.5 kW ขนาดละสองตัวจากบริษัทผู้ผลิตเดียวกันเพื่อหาข้อมูลเชิงสถิติเพื่อสร้างเกณฑ์ การตัดสินว่าระยะการเยื้องศูนย์ของมอเตอร์อยู่ในสภาวะใด และพัฒนาโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์เพื่อสร้างระบบการตรวจสอบแบบ Real Time

6.เอกสารอ้างอิง

- [1] WT Thomson, 2003, "Case Histories of Current Signature Analysis to Detect Faults in Induction Motor Drives", IEMDC'03. IEEE International, Vol 3, pp.1459-1465
- [2] John Piotrowski, 1995, "Shaft alignment Handbook", Marcel, Vekker, New York
- [3] Hanifi Guldemir, 2003, "Detection of air gap eccentricity using line Current spectrum of induction motor ", Electric Power Systems Research, Vol64, Number 2, pp. 109-117 (9) Turkey
- [4] NSK, "Rolling Bearing" CAT.NO.E1102c <http://www.nsk.com/> (access on June 2006)