

การศึกษาการตรวจจับแท่งตัวนำโรเตอร์แตกหักในมอเตอร์เหนี่ยวนำโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม

A Study of Broken Rotor Bar Detection in Induction Motors Using Nuron Network

ปพน สะอาดวง* และ สุรชาติ ลีวกริผล**

*ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม

โทร. 035-544301-1; 08-19381836

E-mail: papol_s@hotmail.com

**กองบำรุงรักษาโรงไฟฟ้า 2 ฝ่ายบำรุงรักษาโรงไฟฟ้าพระนครใต้ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย

112 หมู่ 1 ต. บางโพร้ง อ.เมือง จ.สมุทรปราการ 10270

โทร. 02-383-0000 ต่อ 5839

E-mail:s.surachat.l@egat.co.th

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการวิเคราะห์ความผิดปกติของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส ซึ่งมีสาเหตุมาจากแท่งตัวนำโรเตอร์แตกหัก (broken rotor bars) การวิเคราะห์ผลของความผิดปกติด้วยการวิเคราะห์โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมชนิดแพร่ย้อนกลับ โดยการตรวจจับสัญญาณกระแสเดเตอร์ (Motor Current Signature Analysis: MCSA) การวิจัยดังกล่าวจะทำการเปรียบเทียบผลของสเปกตรัมที่ได้จากมอเตอร์ปกติเปรียบเทียบกับมอเตอร์ที่เกิดความผิดปกติเนื่องจากแท่งตัวนำโรเตอร์แตกหักผลของการทดลองที่ได้ถูกนำไปใช้สร้างแบบจำลองเพื่อใช้ในการพิจารณาอิมพีแดนซ์ของกระแสเดเตอร์ที่ได้จากการทดสอบจริงถูกตรวจจับและประมวลผลด้วยเทคนิคออฟไลน์ (off-line) โดยใช้โปรแกรม Matlab ในการวิเคราะห์สเปกตรัมฮาร์มอนิกในหน่วยเดซิเบลข้อมูลที่ได้นี้จะถูกนำไปทำการฝึกสอนกับโครงข่ายประสาทเทียมให้มีการเรียนรู้ และสามารถระบุปัญหาได้เป็นที่น่าสนใจ

Abstract

This paper presents the fault diagnosis in the 3 Ø induction motor due to broken rotor bars. The faults diagnosis is analyzed by Back propagation method of Artificial Neural Network (ANN) The stator current is detected to analyze by motor current signature analysis (MCSA) this research the spectrum between normal induction motor and the n-broken rotor bar induction motor. The result from test is used to create the complete model of the n broken rotor bar induction motor the voltage and current data are data detected and processed with an off-line technique using Matlab. Then, harmonic spectra is analyzed in dB. This analyzed data will be

used for training neural networks. The proposed neural networks. The proposed neural network is capable of identifying problems associated based on the proposed method.

1. บทนำ

ในปัจจุบันมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส เป็นเครื่องจักรกลไฟฟ้าที่ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในโรงงานอุตสาหกรรม ดังนั้นเมื่อเกิดความผิดปกติขึ้นกับมอเตอร์เหนี่ยวนำ ไม่เฉพาะค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงรักษาที่สูงเท่านั้น แต่ยังส่งผลกระทบต่อถึงกระบวนการผลิต ที่ทำให้ต้องหยุดชะงัก ซึ่งนำมาซึ่งความสูญเสียทางเศรษฐศาสตร์ ที่ยากต่อการประมาณค่าได้ ความผิดปกติที่เกิดขึ้นกับมอเตอร์เหนี่ยวนำมีอยู่หลายกรณี [1] การเกิดความผิดปกติที่หวนรอบเส้นการเกิดการลัดวงจรที่ขดลวดสเตเตอร์ และการแตกหักที่ตัวโรเตอร์ เป็นต้น เพื่อที่จะลดปัญหาดังกล่าวจึงจำเป็นต้องมีการวิเคราะห์ถึงความผิดปกติที่เกิดขึ้น

ปัจจุบันสาเหตุของความเสียหายที่เกิดขึ้นกับมอเตอร์เหนี่ยวนำที่มีการใช้งานในโรงงานอุตสาหกรรม คือ ความเสียหายที่ร่องเส้นสูงถึง 40 เปอร์เซ็นต์, ความเสียหายที่ตัวนำสเตเตอร์ 27 เปอร์เซ็นต์, ตัวนำโรเตอร์ เฟลา 6 เปอร์เซ็นต์, อุปกรณ์ภายนอก 7 เปอร์เซ็นต์ และอื่น ๆ 12 เปอร์เซ็นต์ [6]

จากเปอร์เซ็นต์การเกิดความบกพร่อง ของแท่งตัวนำโรเตอร์แตกหัก จะมีเปอร์เซ็นต์ที่ต่ำกว่าการเกิดการลัดรอบขดลวด (short turns) ก็ตาม วัตถุประสงค์ของบทความนี้เพื่อนำเสนอเทคนิคใหม่ในการตรวจจับสัญญาณกระแสเดเตอร์เพียง 1 เฟส เท่านั้น และทำการวิเคราะห์ลำดับสเปกตรัมฮาร์มอนิก ก็จะสามารถทราบได้ว่า แท่งตัวนำโรเตอร์เริ่มชำรุดหรือไม่ หรือต้องการเก็บประวัติในการใช้งานไว้ กล่าวคือ ทำการเก็บสัญญาณเมื่อเริ่มติดตั้งใช้งาน และหลังจากติดตั้งใช้งานอีก 6 เดือน หรือ 1 ปี ให้ทำการตรวจจับสัญญาณใหม่อีกครั้ง ซึ่ง

วิธีการดังกล่าวนี้ จะสะดวก และรวดเร็วกว่า หรือจะเป็นการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive Maintenences) ก็ได้

บทความนี้จึงได้ทำการนำเสนอการวิเคราะห์ความผิดปกติ ที่เกิดจากการแตกหักของโรเตอร์ ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญประการหนึ่งของความผิดปกติที่เกิดขึ้น เพื่อที่จะทำการวิเคราะห์ความผิดปกติที่เกิดขึ้นจากองค์ประกอบสเปคตรัมของสัญญาณกระแสมอเตอร์ที่ปกติ และมอเตอร์ที่ผิดปกติ เนื่องจากการแตกหักของแท่งตัวนำโรเตอร์ จึงถูกนำมาพิจารณาเปรียบเทียบ เพื่อสร้างแบบจำลองโดยการนำโครงข่ายประสาทเทียมมาใช้ในการประมวลผล เพื่อหาความผิดปกติที่เกิดขึ้นกับแท่งตัวนำโรเตอร์ได้อย่างถูกต้อง

2. ทฤษฎีพื้นฐานโครงข่ายประสาทเทียม

โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Networks : ANN) [2] เป็นระบบการแก้ปัญหาแบบหนึ่งที่ใช้หาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระและไม่อิสระ การแก้ปัญหามักจะกระทำ โดยนำรูปแบบของสัญญาณมาผ่านฟังก์ชันกระตุ้น (Activate function) ผลที่ได้จะถูกนำไปคำนวณเพื่อหาค่าน้ำหนัก (weight) เพื่อปรับให้ได้ผลลัพธ์ที่ต้องการ โครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้มีอยู่หลายชนิด เช่น Hopfield Network, Harming Network, Adeline Network และ Back propagation เป็นต้น [3]

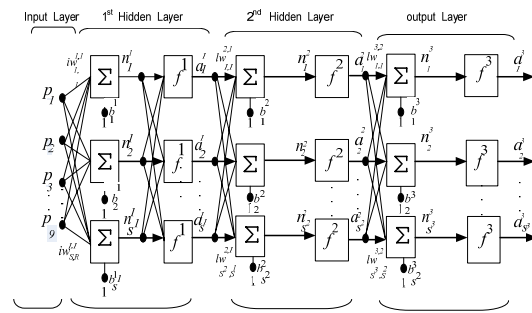
ในงานวิจัยนี้ได้ใช้โครงข่ายประสาทเทียมชนิด Back propagation [4] ในการแก้ปัญหา โดยฟังก์ชันกระตุ้นที่เลือกใช้ได้แก่ sigmoid function ซึ่งเขียนในรูปสมการทางคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}} \quad (1)$$

2.1 โครงข่ายประสาทเทียมชนิดแพร่ค่าย้อนกลับ

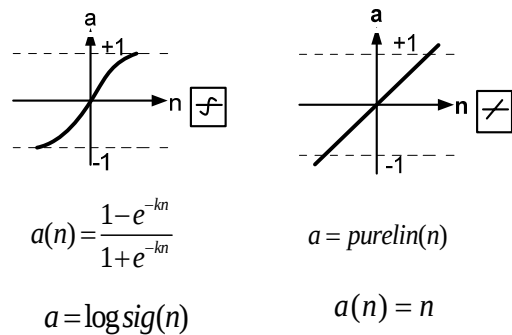
(Back - Propagation :BP)

จะประกอบด้วยปมประสาทที่เรียงกันเป็นชั้น ๆ โดยปมประสาทในแต่ละชั้นจะเชื่อมต่อกับปมประสาทแต่ละตัวในชั้นก่อนหน้า และในชั้นถัดไปด้วยตัวเชื่อมที่มีค่าที่สามารถปรับเปลี่ยนได้ เรียกว่า ค่าถ่วงน้ำหนัก (weight) และไบแอส (bias) โดยค่า weight จะไม่ทำหน้าที่เชื่อมต่อกันในชั้นเดียวกัน ส่วน bias เป็นตัวเชื่อมระหว่างปมประสาทในชั้นเดียวกันแต่จะไม่ทำหน้าที่เชื่อมในชั้นข้อมูลด้านเข้า ชั้นของปมประสาทดังกล่าวจะแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ ชั้นข้อมูลขาเข้า (input layer) จำนวน 1 ชั้น และจำนวนปมประสาทเท่ากับจำนวนอินพุตของโครงข่าย ชั้นซ่อน (hidden layer) มีอย่างน้อย 1 ชั้น จำนวนปมประสาทในชั้นนี้ขึ้นอยู่กับวิธีการออกแบบโครงข่าย และชั้นข้อมูลด้านออก (output layer) มีจำนวน 1 ชั้น และมีจำนวนปมประสาทเท่ากับจำนวนเอาต์พุตของโครงข่าย ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ค่าย้อนกลับ

ในการศึกษาจะใช้ Neural Network Toolbox ของโปรแกรม Matlab ฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมด้วย Levenberg - Maquardt algorithm โดยมีฟังก์ชันการถ่ายโอนในชั้นซ่อน 2 ชั้น คือชั้นที่ 1-2 เป็นฟังก์ชันลอจิสติก (log - sigmoid transfer function) ในชั้นข้อมูลด้านออก (output layer) ใช้ฟังก์ชันการถ่ายโอนเชิงเส้น (linear) ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ฟังก์ชันการถ่ายโอน (transfer function)

2.2 การประมาณของโครงข่ายประสาทเทียม

เพื่อที่จะหาความสัมพันธ์ระหว่างเอาต์พุต O_j ของนิวรอนที่เกิดจากชั้นซ่อนและผลลัพธ์ O_k ที่เป็นชั้นอินพุต [5] คือ

$$O_i = f(\sum_k w_{kj} O_k) \quad (2)$$

โดยที่นิวรอนในชั้นเอาต์พุตที่ 1 ก่อให้เกิดเอาต์พุตดังสมการต่อไปนี้

$$O_i = f(\sum_j w_{ji} f(\sum_k w_{kj} O_k)) \quad (3)$$

จากสมการที่ (2) และ (3) ได้ทำจากรวบรวมค่า bias ของแต่ละโหนด ซึ่งมีฟังก์ชัน $f(.)$ เป็น activation function เป็น transfer function ของ

แต่ละโหนด การนำค่าของตัวอย่างไปทำการสอนให้ back propagation ได้เรียนรู้ถึงผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นจะได้ค่าเอาต์พุตเกิดความผิดพลาดที่เกิดจากการสอนของรูปแบบสัญญาณตัวอย่างโดยรวมเรียกว่า Total Error (E) มีค่าเท่ากับ

$$E = 1/2 \sum_i (D_i - O_i) \quad (4)$$

เพื่อให้ได้ค่าเอาต์พุตที่ถูกต้องมากที่สุด จำเป็นที่ต้องทำการ จำกัดค่าความผิดพลาดที่เอาต์พุตให้น้อยที่สุด (minimize) การที่จะนำค่า E ให้น้อยได้ จำเป็นต้องทำการปรับค่าถ่วงน้ำหนัก (Weight) ที่เชื่อมต่อระหว่างนิวรอนในชั้นซ่อน(hidden Layer) กับชั้นเอาต์พุต (output Layer) เมื่อมี ϵ เป็นอัตราการเรียนรู้ (Learning rated) คือ

$$\Delta W_{ji} = \epsilon \delta_i O_j \quad (5)$$

$$\delta_i = (D_i - O_i)(1 - O_i)O_i \quad (6)$$

ในการปรับค่าน้ำหนักให้ได้ค่าเอาต์พุต ให้มีความผิดพลาดน้อยที่สุด สามารถทำการปรับค่าน้ำหนักที่เชื่อมต่อ ระหว่างชั้นที่ทำการเชื่อมต่อได้ โดย ที่เลเยอร์ชั้นซ่อนจะทำการปรับค่าน้ำหนักจากสมการดังสมการที่ 7

$$\Delta W_{ji}(n+1) = \epsilon \delta_i O_j + \alpha \Delta W_{ji}(n) \quad (7)$$

สำหรับการปรับค่าน้ำหนักถ่วงที่ชั้นอินพุต สามารถทำการปรับค่าน้ำหนักได้ดังสมการที่ 8

$$\Delta W_{kj}(n+1) = \epsilon \delta_j O_k + \alpha \Delta W_{kj}(n) \quad (8)$$

สัญลักษณ์และความหมาย

- f_x คือ ทรานส์เฟอร์ฟังก์ชันแบบ สigmoid มอยด์
- W_{kj} คือ ค่าถ่วงน้ำหนักทางด้านอินพุต ที่ถูกนำไปคำนวณในชั้นซ่อนของนิวรอน
- O_k คือ ค่าอินพุตที่ต้องการ
- W_{ji} คือ ค่าถ่วงน้ำหนัก (Weight) หลังจากถูกไบแอสที่นิวรอนในชั้นซ่อนที่ 2 แล้วส่งข้อมูลไปยังชั้น เอาต์พุต
- E คือ ค่าความคลาดเคลื่อนรวม
- D_i คือ จำนวนข้อมูลทางด้านอินพุต
- δ_i คือ ค่าการเปลี่ยนแปลงระหว่างจำนวนข้อมูลอินพุตกับค่าเอาต์พุตที่คำนวณได้
- ϵ คือ การเรียนรู้ (Learning rated) ของนิวรอนระหว่างข้อมูล

ชั้นอินพุตกับชั้นซ่อน ชั้นที่ 1

- O_j คือ ค่าเอาต์พุตที่ต้องการ (Target Output)
- α คือ ค่าการเปลี่ยนแปลงหลังจากมีการปรับค่าถ่วงน้ำหนัก (Weight) ของนิวรอนในชั้นซ่อน
- O_i คือ ผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณ (Actual Output)

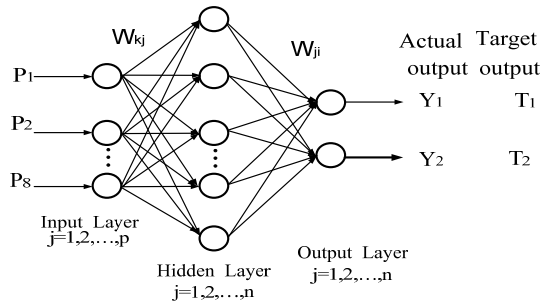
การปรับค่าน้ำหนัก ที่ต้องการให้ได้ค่าที่ทำให้ค่าเอาต์พุตถูกต้องตามอินพุต ในการกำหนดค่าอินพุตที่ป้อนให้กับนิวรอนเน็ตเวิร์ค จำเป็นที่ต้องทำการหาโมเดลของระบบ เพื่อทำให้ได้เอาต์พุตที่ต้องการมีความถูกต้อง เมื่อระบบที่ศึกษามีค่าพารามิเตอร์เปลี่ยนแปลงไป ค่าอินพุตในโมเดลที่ใช้ ในโครงข่ายประสาทเทียมที่ได้จากการทดลอง มีค่าดังต่อไปนี้

2.3 ค่าอินพุตของโครงข่ายประสาทเทียม

1. ค่าแอมพลิจูดสเปคตรัม (dB.) ที่ตำแหน่งความถี่ $f_r(25H_z)$
2. ค่าแอมพลิจูดสเปคตรัม (dB.) ที่ตำแหน่งความถี่ไชแบนด์ $(1 - 2sf_1)$
3. ค่าแอมพลิจูดสเปคตรัม (dB.) ที่ตำแหน่งความถี่มูลฐาน (f_1)
4. ค่าแอมพลิจูดสเปคตรัม (dB.) ที่ตำแหน่งความถี่ไชแบนด์ $(1 + 2sf_1)$
5. ค่าแอมพลิจูดสเปคตรัม (dB.) ที่ตำแหน่งความถี่ $(f_1 + f_r)$ หรือประมาณ $75H_z$
6. ค่าแอมพลิจูดสเปคตรัม (dB.) ที่ตำแหน่งความถี่ $(f_1 + 2f_r)$ หรือประมาณ $100H_z$
7. ค่าแอมพลิจูดสเปคตรัม (dB.) ที่ตำแหน่งความถี่ $6f_r$ หรือประมาณ $150H_z$
8. ค่าแอมพลิจูดสเปคตรัม (dB.) ที่ตำแหน่งความถี่ $10f_r$ หรือประมาณ $250H_z$

เอาต์พุต

1. แท่งโรเตอร์ปกติ (Rotor Normal ; rn) หรือ เอาต์พุตเป้าหมาย (Target Output ; T1)
2. แท่งโรเตอร์ปกติ (Rotor Broken Bars ; bb) หรือ เอาต์พุตเป้าหมาย (Target Output ; T2)



รูปที่ 3 โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียม

สัญลักษณ์และความหมาย

P1-P8 คือ ข้อมูลด้านอินพุตสัญญาณกระแส สเตเตอร์เป็นองค์ประกอบสเปกตรัม(dB.) (ขนาดเมทริกซ์ 8x1) จากข้อมูลแท่งโรเตอร์ปกติและแท่งโรเตอร์แตกหัก

Y1 คือ ผลลัพธ์ที่ได้จริง (Actual output) แสดง ระบุได้ว่า เป็นแท่งโรเตอร์ปกติ

Y2 คือ ผลลัพธ์ที่ได้จริง (Actual output) แสดง ระบุได้ว่า เป็นแท่งโรเตอร์แตกหัก

T1 คือ ผลลัพธ์ที่กำหนดขึ้นมา (Target) ระบุได้ว่าเป็นแท่งโรเตอร์ปกติ

T2 คือ ผลลัพธ์ที่กำหนดขึ้นมา (Target) ระบุได้ว่าเป็นแท่งโรเตอร์แตกหัก

3.ผลการทดลอง

เพื่อที่จะวิเคราะห์หาความผิดปกติ ของโรเตอร์แตกหักภายในมอเตอร์เหนี่ยวนำ ในการทดลองโดยใช้มอเตอร์เหนี่ยวนำขนาด 2 HP. 4 Pole. และอ้างอิงกับ มอก. 867-2532 การทดสอบมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส ค่าพารามิเตอร์ ขนาด 2 HP. 4 Pole. แสดงดังตารางที่ 1 และ ตารางที่ 2 จึงได้สร้างรูปแบบของสัญญาณ โดยสัญญาณที่สร้างขึ้นประกอบด้วย สัญญาณกระแสสเตเตอร์ของมอเตอร์แบบปกติ และมอเตอร์ที่แท่งโรเตอร์เกิดการแตกหัก 1, 2 และ 3 บาร์ เพื่อนำมาใช้สร้างรูปแบบสัญญาณการเรียนรู้ให้กับโครงข่ายประสาทเทียม

ตารางที่ 1

พิกัดกำลัง (HP.)	พิกัดแรงดัน (V)	พิกัดกระแส (A)	พิกัดความเร็ว (rpm)
2	220/380	6.4/3.7	1390

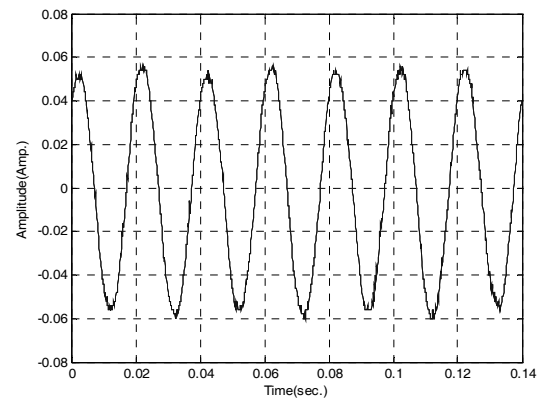
ตารางที่ 2

พิกัดกำลัง (HP.)	R_s (Ω)	R_r (Ω)	X_s (Ω)	X_r (Ω)	X_M (Ω)
2	3.71	3.23	3.87	3.88	76.36

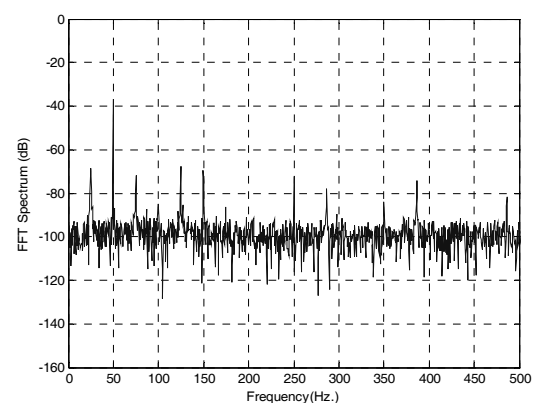
R_s คือ ค่าความต้านทานขดลวดสเตเตอร์ มีหน่วย โอห์ม
 R_r คือ ค่าความต้านทานขดลวดโรเตอร์ มีหน่วย โอห์ม
 X_s คือ ค่ารีแอกแตนซ์ขดลวดสเตเตอร์ มีหน่วย โอห์ม
 X_r คือ ค่ารีแอกแตนซ์ขดลวดโรเตอร์ มีหน่วย โอห์ม
 X_M คือ ค่ารีแอกแตนซ์ที่เกิดจากการเหนี่ยวนำร่วม มีหน่วย โอห์ม

3.1 มอเตอร์ปกติ

สัญญาณกระแสสเตเตอร์ของมอเตอร์ปกติถูกทำการทดสอบ ณ ที่สภาวะโหลด ที่แตกต่างกัน เพื่อสร้างสัญญาณในการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียม ตัวอย่างสัญญาณกระแสสเตเตอร์ของมอเตอร์ที่ภาระไร้โหลด (no load) และสเปกตรัมของสัญญาณกระแสสเตเตอร์มอเตอร์ปกติ ดังรูปที่ 4 (ก) และ (ข) ตามลำดับ



(ก) สัญญาณกระแสสเตเตอร์มอเตอร์ปกติ (100/div)



(ข) สเปกตรัมของสัญญาณกระแสสเตเตอร์มอเตอร์ปกติ

รูปที่ 4 สัญญาณกระแสสเตเตอร์และสเปกตรัม

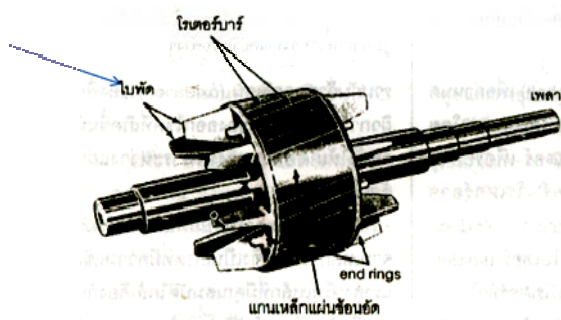
3.2 มอเตอร์ฝึคปกติ

ปัญหาจากแท่งตัวนำโรเตอร์ เป็นปัญหาสำคัญประการหนึ่งของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ถึงแม้ว่าจะมีเปอร์เซ็นต์การเกิดต่ำกว่าการลัดรอบขดลวดก็ตาม (Short Turns) โดยสาเหตุเริ่มแรกจะมาจากปัญหาการหมุนหนีศูนย์ของตัวโรเตอร์ โดยมีปัญหามาจากเบ้าของแบร์ริง (หรือดลบลูกปืน) ด้านใน (Housing) เมื่อมีการใช้งานไปนานๆจะทำให้เกิดสึกกร่อนได้และทำให้เกิดความเสียหายที่รุนแรงตามมาได้ คือตัวโรเตอร์จะไปเสียดสีกับขดลวดสเตเตอร์ในร่องสล๊อตและทำให้แท่งโรเตอร์เริ่มชำรุดโดยเกิดการชำรุดที่ใบพัดระบายความร้อนและอาจเกิดการแตกร้าวที่โรเตอร์ได้ ดังรูปที่ 3 โดยส่วนมากจะเกิดกับมอเตอร์ที่มีขนาดใหญ่และโหลดบางประเภท เช่น มอเตอร์ไซโคลน ขนาด 15 กิโลวัตต์, มอเตอร์ Ball Mills ขนาด 45 กิโลวัตต์ และมอเตอร์แอร์คอมเพรสเซอร์ ขนาด 60 กิโลวัตต์ ในโรงงานอุตสาหกรรม เป็นต้น แสดงตัวอย่างความเสียหายในการใช้งานของแท่งโรเตอร์ ดังรูปที่ 5-7

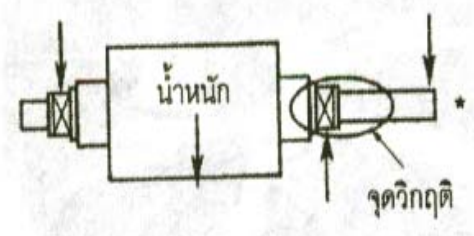
รูปที่ 5 แสดงใบพัดสำหรับระบายความร้อนมอเตอร์

รูปที่ 6 ความเสียหายเนื่องจากการคดงอของเพลาน้ำหนัก

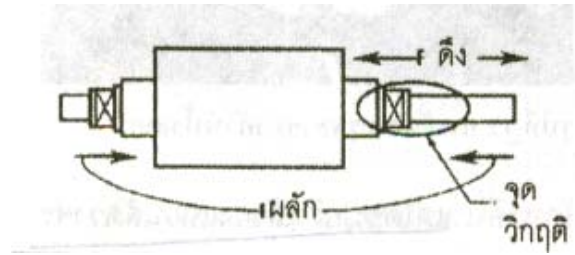
รูปที่ 7 ความเสียหายของร่องลื่น



รูปที่ 5 โรเตอร์กรงกระลอก



รูปที่ 6 ความเสียหายเนื่องจากการคดงอของเพลาน้ำหนัก



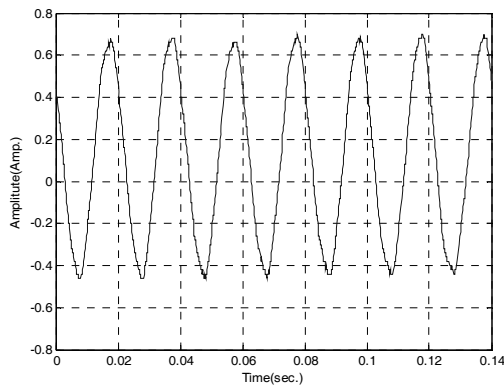
รูปที่ 7 ความเสียหายของร่องลื่น

สำหรับงานวิจัยนี้ ได้จำลองการแตกหักชำรุดของตัวโรเตอร์ขึ้นมา เพื่อใช้ในการงานวิจัยเท่านั้น (โดยการเจาะรูให้ทะลุทั้งแหวน (End Ring) หรือจุดเชื่อมต่อตัวนำที่ฝังอยู่ในร่องสล๊อตโรเตอร์ โดยทำการศึกษาข้อมูลและโมเดลต่าง ๆ จากบทความ IEEE) และลักษณะของการแตกหักจะไม่เหมือนกับการแตกหักที่เกิดขึ้นจริง มีข้อแตกต่างกันคือในการใช้งานจริงจะเกิดขึ้นในลักษณะของการแตกร้าวที่ตัวโรเตอร์เป็นส่วนใหญ่

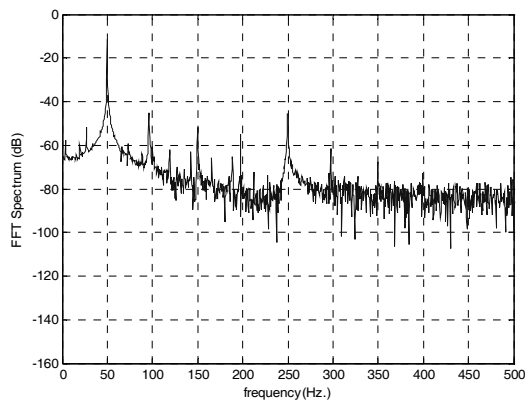
มอเตอร์ฝึคปกติที่ได้ทำการทดลอง ในกรณีของการเกิดการแตกหักที่แท่งตัวนำโรเตอร์ ที่ได้ทำการทดลองแบ่งเป็น 4 กรณีด้วยกัน ประกอบด้วยกรณีของการเกิดการแตกหักที่โรเตอร์แบบ 1, 2 และ 3 บาร์ ในที่นี้แสดงผลสัญญาณกระแสสเตเตอร์ที่เกิดจากการแตกหักที่โรเตอร์แบบ 1 และ 2 บาร์เท่านั้น สำหรับกรณีอื่นๆ สัญญาณที่ได้มีลักษณะคล้ายกัน แต่จะแตกต่างกันที่ ค่าแอมพลิจูด (dB) ขององค์ประกอบฮาร์มอนิก

โดยมอเตอร์ปกติและแท่งตัวนำโรเตอร์แตกหักจะพิจารณาที่ค่าแอมพลิจูด (dB.) ในลำดับฮาร์มอนิกที่ตำแหน่ง f_r (25Hz.); $(1-2s) f_1$, f_1 (50Hz.); $(1+2s) f_1$, $f_1 + f_r$ (75Hz.); $f_1 + 2 f_r$ (100Hz.); $6 f_r$ (150H) และ $10 f_r$ (250Hz.) จำนวน 8 อินพุต และจำนวนเอาต์พุตจำนวน 2 เอาต์พุต

ค่าแอมพลิจูด (dB.) ขององค์ประกอบสเปกตรัมฮาร์มอนิกจะมีค่าสูงขึ้นตามเปอร์เซ็นต์โหลดและตามจำนวนบาร์ที่แตกหักจากตัวอย่างของสัญญาณกระแสสเตเตอร์ และสเปกตรัมฮาร์มอนิกในกรณีของการเกิดการแตกหักที่โรเตอร์ แสดงได้ดังรูปที่ 8 (ก) และ (ข) ตามลำดับสำหรับกรณีของโรเตอร์ที่เกิดการแตกหัก 1 บาร์สำหรับตัวอย่างของสัญญาณกระแสสเตเตอร์และสเปกตรัม



(ก) สัญญาณกระแสเตเตอร์มอเตอร์ของโรเตอร์ที่เกิดการแตกหัก
1 บาร์ (10/div)



(ข) สเปกตรัมของสัญญาณกระแสเตเตอร์ของโรเตอร์ที่เกิดการแตกหัก 1 บาร์

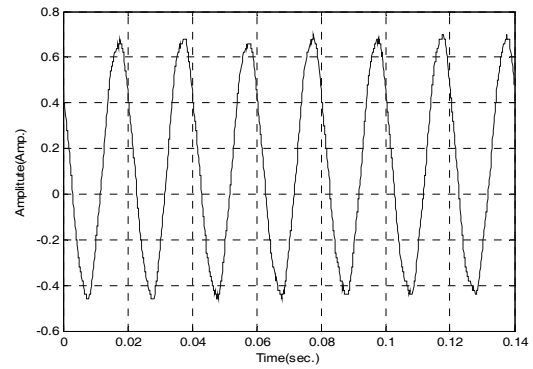
รูปที่ 8 สัญญาณกระแสเตเตอร์และสเปกตรัม

ในกรณีของโรเตอร์ที่เกิดการแตกหักที่ 2 บาร์ แสดงได้ดังรูปที่ 9 (ก) และ (ข) ตามลำดับ จากผลของสเปกตรัมที่ได้จากการทดลองจะได้ค่าความถี่ไซด์แบนด์ขององค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ที่ความถี่ของการเกิดบาร์แตกหัก f_{br} มีค่าดังสมการที่ (8) ความถี่ของความถี่ผิดเพี้ยน f_{ecc} ดังสมการที่ (9) ตามลำดับ

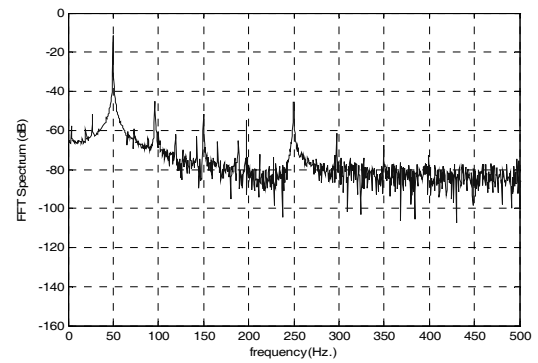
$$f_{br} = (1 \pm 2s) f_1 \quad (9)$$

$$f_{ecc} = (f_1 \pm m f_r) \quad (10)$$

เมื่อ f_1 คือ ความถี่มูลฐาน s คือ ค่าสลิปของมอเตอร์ k และ m เป็นค่าจำนวนเต็มบวก 1, 2, และ 3 f_r คือ ความถี่ของความเร็วของโรเตอร์

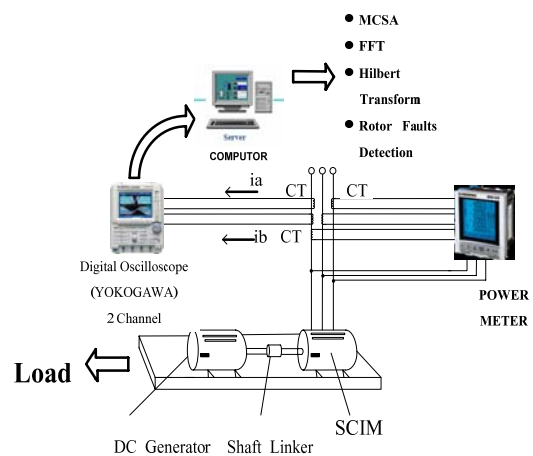


(ก) สัญญาณกระแสเตเตอร์มอเตอร์ของโรเตอร์ที่เกิดการแตกหัก
2 บาร์ (10/div)



(ข) สเปกตรัมของสัญญาณกระแสเตเตอร์ของโรเตอร์ที่เกิดการแตกหัก 2 บาร์

รูปที่ 9 สัญญาณกระแสเตเตอร์และสเปกตรัม

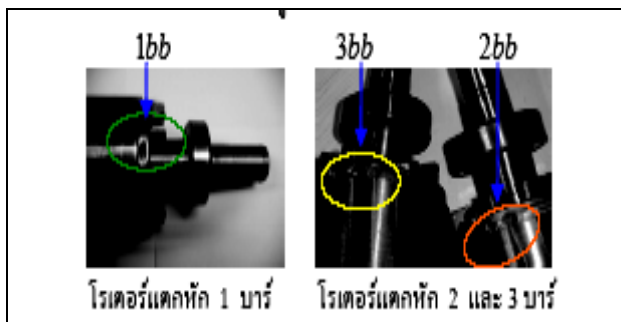


รูปที่ 10 วงจรการทดลองการแตกหักที่แท่งตัวนำโรเตอร์

3.3 โมเดลของระบบที่ทำการศึกษา

เพื่อที่จะวิเคราะห์โมเดลของการเกิดการแตกหักที่แท่งตัวนำโรเตอร์ ในที่นี้ได้ออกแบบวงจรที่ใช้ในการเก็บรูปแบบของสัญญาณดังแสดงในรูปที่ 8 และรูปที่ 9

มอเตอร์ที่นำมาใช้เป็นต้นแบบในการทดสอบประกอบด้วยมอเตอร์ปกติ มอเตอร์ที่เกิดการแตกหักที่แท่งตัวนำ 1, 2, และ 3 บาร์ตามลำดับ ตัวอย่างของการทำมอเตอร์ต้นแบบที่เกิดการแตกหักที่แท่งตัวนำ 1, 2 และ 3 บาร์สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 11



รูปที่ 11 แสดงการจำลองการแตกหักที่แท่งตัวนำโรเตอร์

หมายเหตุ

กรณีนี้เป็นโมเดลหนึ่ง ที่จำลองขึ้นมาเพื่อใช้ในการทดลองเท่านั้น ส่วนความเสียหายที่เกิดขึ้นจริงนั้นของโรเตอร์ ที่พบมาก มี 3 กรณี คือ 1. ความคดงอของเพลลา 2. ความเสียหายของร่องลิ้น และ 3. ความเสียหายเชิงแรงบิด

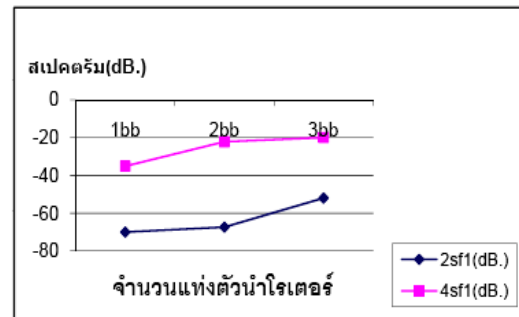
การกำหนดอินพุตให้กับโครงข่ายประสาทเทียม จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องศึกษาโมเดลความสัมพันธ์ระหว่างอินพุตกับเอาต์พุตที่สนใจ ซึ่งในที่นี้เอาต์พุตที่สนใจคือ จำนวนแท่งตัวนำโรเตอร์แตกหัก การหาโมเดลความสัมพันธ์ระหว่างสเปกตรัมความถี่กับจำนวนแท่งตัวนำโรเตอร์แตกหัก ผลลัพธ์ที่ได้สามารถเขียนความสัมพันธ์ระหว่างความถี่สเปกตรัมที่ 2 และ 4 เท่ากับจำนวนแท่งตัวนำโรเตอร์แตกหัก ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 2 แสดงความสัมพันธ์ความถี่สเปกตรัมที่ 2 เท่า และ 4 เท่ากับจำนวนแท่งตัวนำโรเตอร์แตกหัก

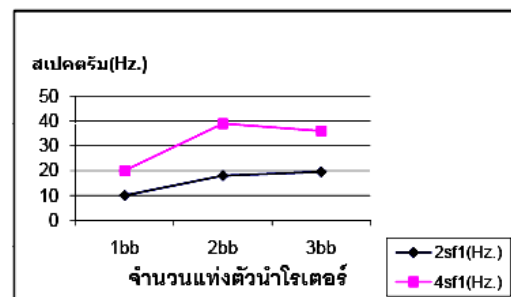
ความถี่	จำนวนแท่งตัวนำโรเตอร์แตกหัก		
f	1bb	2bb	3bb
2sf1(dB.)	-70	-58	-52
4sf1(dB.)	-52	-48	-20
2sf1(Hz.)	10	18	19.5
4sf1(Hz.)	20	39	36

หมายเหตุ 1bb, 2bb และ 3bb คือ จำนวนแท่งตัวนำโรเตอร์แตกหัก 1, 2 และ 3 บาร์ ตามลำดับ

จากตารางที่ 1 สามารถเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างสเปกตรัมในหน่วยเดซิเบล (dB.) กับจำนวนแท่งตัวนำโรเตอร์แตกหักแสดงดังรูปที่ 12 และความสัมพันธ์ระหว่าง สเปกตรัมในหน่วยเฮิรตซ์ (Hz.) กับจำนวนแท่งตัวนำโรเตอร์แตกหัก แสดงดังรูปที่ 13



รูปที่ 12 ความสัมพันธ์สเปกตรัม (dB.) กับจำนวนแท่งตัวนำ โรเตอร์แตกหัก



รูปที่ 13 ความสัมพันธ์สเปกตรัมความถี่(Hz.) กับจำนวนแท่งตัวนำโรเตอร์แตกหัก

จากกราฟแสดงให้เห็นว่า ณ ที่จำนวนแท่งตัวนำโรเตอร์แตกหักที่มากขึ้น สเปกตรัมที่ความถี่สเปกตรัม 2 และ 4 เท่ามีค่าเพิ่มขึ้นตามจำนวนแท่งตัวนำโรเตอร์ที่แตกหักเพิ่มขึ้น นั่นคือสิ่งที่ส่งผลกระทบต่อความถี่สเปกตรัม ซึ่งมีความจำเป็นต่ออินพุตของโครงข่ายประสาทเทียมที่สร้างขึ้น เพื่อให้ได้เอาต์พุตตามต้องการ อินพุตของโครงข่ายประสาทเทียม ในงานวิจัยนี้แสดงไว้ในหัวข้อ ที่ 2.3

4. ผลการวิเคราะห์โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม

ฟังก์ชันการถ่ายโอนหรือฟังก์ชันการกระตุ้น จะเป็นตัวกำหนดเอาต์พุตของโครงข่ายประสาทเทียม[6] ในบทความนี้ในชั้นซ่อนโดยใช้ฟังก์ชัน Log Sigmoid เป็นฟังก์ชันการถ่ายโอน ส่วนในชั้นเอาต์พุตใช้ฟังก์ชัน Linear เพื่อที่จะทำให้โครงข่ายประสาทเทียมที่ออกแบบไว้สามารถวิเคราะห์สัญญาณได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ จำเป็นอย่างยิ่ง ที่ต้องมีการนำรูปแบบสัญญาณกระแสเตอร์ของโรเตอร์ปกติและที่แท่งตัวนำโรเตอร์แตกหัก ที่ทำการ

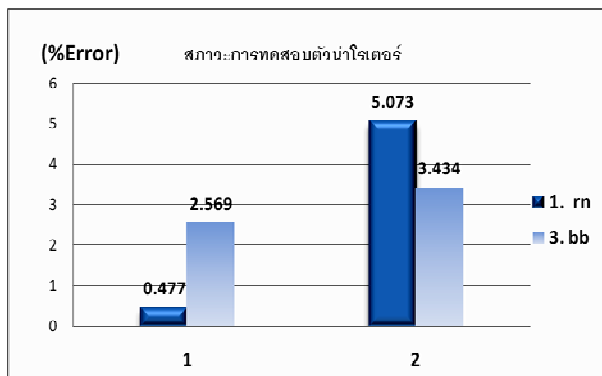
จ่ายโหลดต่าง ๆ สัญญาณอินพุตจะถูกนำมาให้โปรแกรมมีการเรียนรู้และประมวลผล ค่าวนการปรับค่าถ่วงน้ำหนัก(Weight) และค่าชดเชย (bias) ที่ได้ทำให้ได้ค่าความผิดพลาด (Error) ต่ำที่สุด ในงานวิจัยนี้กำหนดค่าความผิดพลาดมีค่าเท่ากับ 0.001 และค่าการเรียนรู้ (Learning rated หรือ $\mathcal{E}$ = 0.0001) จากผลการทดลองแสดงได้ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบโครงข่ายประสาทเทียมโดยใช้ฟังก์ชัน Log Sigmoid และฟังก์ชัน Linear

เงื่อนไข	Min. Error (%)	Max. Error (%)	Avg. Error (%)	จำนวนรอบคำนวณ
1. rn	0.477	5.073	2.788	34,452
3. bb	2.569	3.434	2.835	35,103

rn คือแท่งโรเตอร์ปกติ(rotor normal)

bb คือแท่งโรเตอร์แตกหัก(rotor broken bar)



รูปที่ 12 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ค่าความคลาดเคลื่อนของแท่งตัวนำโรเตอร์ปกติกับแท่งตัวนำโรเตอร์แตกหัก

5. สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองหลังจากการนำรูปแบบของสัญญาณกระแสเตเตอร์ของแท่งตัวนำโรเตอร์ปกติกับแท่งโรเตอร์แตกหักจากผลการทดลองตารางที่ 2 ผลลัพธ์ที่ได้สามารถบ่งบอกถึงจำนวนโรเตอร์แตกหักจริง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าโมเดลความสัมพันธ์ที่ได้สร้างขึ้น เพื่อกำหนดอินพุตให้โครงข่ายประสาทเทียมมีความถูกต้องเพียงพอ เพื่อที่จะทำให้สามารถพิจารณาเอาท์พุตที่ต้องการทราบได้อย่างถูกต้อง

สำหรับงานพัฒนาในขั้นตอนต่อไปควรใช้ DSP. เพื่อพัฒนาการวิเคราะห์ในลักษณะออนไลน์ (On-line) เพื่อตรวจสอบความผิดปกติของมอเตอร์ต่อไป

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Guillermo Bossio, Cristian De Angelo “ Effects of Rotor Bar and End - Ring Faults Over the signals of a Position Estimation Strategy for Induction Motors ” IEEE, pp. 151 - 155, 2003.
- [2] เฉลิมชาติ มานพ, ชาญวิทย์ ตั้งศิริวรกุล “ โรเตอร์กรงกระรอกสำหรับมอเตอร์เหนี่ยวนำ (2) (จบ) วารสารเทคนิค, ปีที่ 19, ฉบับที่ 215, ประจำเดือนตุลาคม 2545, หน้า 137-143.
- [3] Xu Boqiang, Member, IEEE, Heming, Sun Liling, Student Member, IEEE School of Electrical Engineering “ Sensitive and Reliable Detection of Broken Rotor Bar Faults in Induction Motors ” IEEE, pp.714-719, 2004.
- [4] Subhasis Nandi, RajMohand, Hamid A. Toliyat, Alexander G. Parlos “ Study of Three Phase Induction Motors with Incipient Rotor Cage Faults under Different Supply Conditions ” IEEE pp. 1992 -1928, 1999.
- [5] Thomas G. Habetler, Ronald G. Harley, Rangarajan M. Tallam, Sang -Bin Lee, and Jason Stack “ Complete Current-Based Induction Motor Condition Monitoring Stator, Rotor, Bearings, and Load ”, 2002
- [6] F.Filippetti “ Neural networks Approach To Electric Machine On – Line Diagnostics ” The European Power Electronics The European Power Electronica Association, pp.213-218,1993.