

ระบบตรวจติดตามการทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

A MONITORING SYSTEM FOR INDUCTION MOTOR OPERATION

โดย



นางสาว ชญานิศ วิไลศักดิ์ทิพาภรณ์

นางสาว ชนาพร ช่วยรักษา

นาย จูติโชติ กิจนำลาภเจริญ

นางสาว จูติมา คล้ายขยาย

ปริญญาานิพนธ์เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2563

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

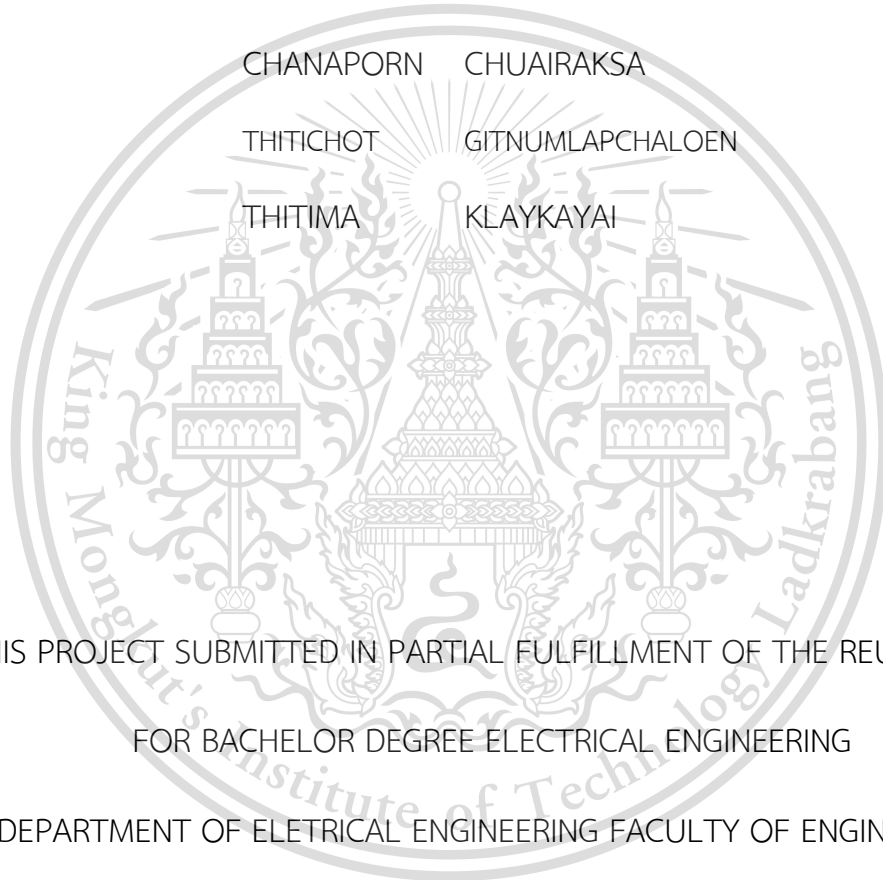
A MONITORING SYSTEM FOR INDUCTION MOTOR OPERATION

CHAYANID VILAISAKTIPAKORN

CHANAPORN CHUAIKAKSA

THITICHOT GITNUMLAPCHALOEN

THITIMA KLAYKAYAI



THIS PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT
FOR BACHELOR DEGREE ELECTRICAL ENGINEERING

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2020

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ปีการศึกษา 2563

ระบบตรวจติดตามการทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

A MONITORING SYSTEM FOR INDUCTION MOTOR OPERATION



อาจารย์ที่ปรึกษา

รองศาสตราจารย์ พิเชิต ล้ำยอง

ผศ.ดร. เปี่ยมภูมิ สฤกพฤกษ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2563

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ระบบตรวจติดตามการทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

ผู้จัดทำ

1. นางสาว ชญานิศ วิไลศักดิ์ทิพาภรณ์

2. นางสาว ชนาพร ช่วยรักษา

3. นาย รุติโชติ กิจนำลาภเจริญ

4. นางสาว รุติมา คล้ายขยาย



..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์ พิชิต ล้ายอง)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(ผศ.ดร. เปี่ยมภูมิ สฤกษ์ฤกษ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ระบบตรวจติดตามการทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

นางสาว ชญานิศ	วิไลศักดิ์ทิพาภรณ์	
นางสาว ชนาพร	ช่วยรักษา	
นาย ฐิติโชติ	กัจฉาลาภเจริญ	
นางสาว ฐิติมา	คล้ายขยาย	
รองศาสตราจารย์ พิชิต	ลำยอง	อาจารย์ที่ปรึกษา
ผศ.ดร. เปี่ยมภูมิ	สฤกพฤกษ์	อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

ปีการศึกษา 2563

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้นำเสนอการศึกษาและวิเคราะห์สาเหตุที่ทำให้เกิดการสั่นสะเทือนในมอเตอร์เหนี่ยวนำ โดยการตรวจจับสนามแม่เหล็กไฟฟ้า กระแส และแรงดันของทั้ง 3 เฟสในกรณีต่าง ๆ จากนั้นวิเคราะห์สัญญาณสนามแม่เหล็กไฟฟ้าจาก Hall sensor แล้วนำไปเปรียบเทียบการสั่นสะเทือนจากการวัดด้วย Accelerometer ในสภาวะต่าง ๆ เพื่อให้สามารถระบุความผิดปกติของมอเตอร์เหนี่ยวนำได้จากสนามแม่เหล็กไฟฟ้าโดยใช้ Hall sensor สุดท้ายจึงสร้างโปรแกรมที่สามารถระบุความผิดปกติของมอเตอร์เหนี่ยวนำได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

A MONITORING SYSTEM FOR INDUCTION MOTOR OPERATION

Chayanid	Vilaisaktipakorn	
Chanaporn	Chuai Raksa	
Thitichot	Gitnumlapchaloen	
Thitima	Klaykayai	
Assoc.Prof. Pichit	Lumyoung	Advisor
Asst.Prof.Dr. Piampoom	Sarikprueck	Co-Advisor

Year 2020

Abstract

This thesis presents the study and analysis in the cause of vibration in an induction motor by detecting the electromagnetic field, current and voltage of three phases in different cases. Then, the electromagnetic field signal from the Hall sensor are analyzed and compared with the vibrations signal measured by an accelerometer in various conditions. The results show that an induction motor malfunction can be identified from an electromagnetic field using the Hall sensor. Finally, the program for an induction motor malfunction identification by checking the magnetic field using the Hall sensor is created.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ด้วยความช่วยเหลือจากหลายท่าน โดยเฉพาะอย่างยิ่งต้องขอขอบคุณ รศ.พิชิต ถ้ายอง อาจารย์ที่ปรึกษา และ ผศ.ดร. เปี่ยมภูมิ สฤกพฤกษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่ได้กรุณาให้ข้อเสนอแนะและข้อคิดเห็นต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อโครงการมาด้วยดีตลอด และได้กรุณาตรวจแก้ไขปริญญานิพนธ์จนสำเร็จเรียบร้อยเป็นอย่างดี

ขอขอบคุณเพื่อน ๆ ในห้องปฏิบัติการทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือและแก้ปัญหาด้วยดีมาโดยตลอด

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ที่ประจำอยู่ห้องปฏิบัติการที่อำนวยความสะดวกด้านอุปกรณ์เครื่องมือต่าง ๆ ในการทดสอบ

สุดท้ายนี้คณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณบิดามารดา และครอบครัวซึ่งให้การสนับสนุนในด้านการเงินและให้กำลังใจ อีกทั้งเพื่อน ๆ พี่ ๆ น้อง ๆ ที่ให้ความช่วยเหลือในด้านการจัดหาอุปกรณ์ต่าง ๆ ในการทำโครงการครั้งนี้จนสำเร็จได้ด้วยดี จึงขอขอบคุณไว้ ณ ที่นี้ด้วย

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูปภาพ	VII
สารบัญตาราง	XI
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญ และที่มาของปัญหาที่ทำโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	2
1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ	2
1.4 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการ	2
1.5 แผนการดำเนินงาน	3
1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการ	3
บทที่ 2	4
2.1 มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (Induction Motor)	4
2.2 วงจรแม่เหล็ก (Magnetic Circuit)	6
2.3 ความเร็วซิงโครนัส (Synchonus Speed)	7
2.4 การเกิดสนามแม่เหล็กหมุน	9
2.5 การสั่นสะเทือน	16
2.6 การตรวจจับการสั่นสะเทือน	18
2.7 ปรากฏการณ์ฮอลล์ (Hall Effect)	19
2.8 Accelerometers	22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ 2.9 การวิเคราะห์สัญญาณโดยทฤษฎีฟูรีเยร์ (Fourier) ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and IV cite the document when use.

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.10 การแปลงฟูเรียร์อย่างรวดเร็ว (Fast Fourier Transform : FFT)	25
2.11 การคำนวณ FFT ใน MATLAB	26
2.12 การวิเคราะห์สเปกตรัม (Spectrum Analysis)	27
บทที่ 3	31
3.1 การหาตำแหน่งขดลวดเฟส A , B และ C ด้วยการ ใช้ search coil	31
3.2 การทดสอบสนามแม่เหล็กโดยใช้ Hall sensor ของมอเตอร์ที่สภาวะ No-load	32
3.3 การทดสอบสนามแม่เหล็กโดยใช้ Hall sensor ของมอเตอร์ที่สภาวะ Balance และ Unbalance ทางกล	36
3.4 การทดสอบสนามแม่เหล็กโดยใช้ Hall sensor ของมอเตอร์ที่สภาวะ Balance และ Unbalance ทางไฟฟ้า	37
3.5 วิเคราะห์สเปกตรัมสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่ได้จาก Hall sensor โดยใช้โปรแกรม MATLAB	39
3.6 การเขียนโปรแกรมตรวจสอบสภาวะของ induction motor	40
บทที่ 4	42
4.1 ผลการหาตำแหน่งขดลวดเฟส A , B และ C ด้วยการ ใช้ search coil	42
4.2 ผลการทดสอบสนามแม่เหล็กโดยใช้ Hall sensor ของมอเตอร์ที่สภาวะ No-load	45
4.3 ผลการทดสอบสนามแม่เหล็กโดยใช้ Hall sensor ของมอเตอร์ที่สภาวะ Balance และ Unbalance ทางกล	53
4.4 ผลการทดสอบสนามแม่เหล็กโดยใช้ Hall sensor ของมอเตอร์ที่สภาวะ Balance และ Unbalance ทางไฟฟ้า	59
4.5 ผลวิเคราะห์สเปกตรัมสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่ได้จาก Hall sensor โดยใช้โปรแกรม MATLAB	69
4.6 ผลการเขียนโปรแกรมตรวจสอบสภาวะของ induction motor	76
บทที่ 5	80
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า	80
เอกสารอ้างอิง	84
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้	84
ภาคผนวก	85
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.	85

	หน้า
ภาคผนวก ก	86
ภาคผนวก ข	91
ประวัติผู้เขียน	100



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and **VI** cite the document when use.

สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 โครงสร้างของมอเตอร์เหนี่ยวนำ	4
2.2 โครงสร้างของโรเตอร์แบบทรงกระบอก	5
2.3 โครงสร้างของโรเตอร์แบบการพันขดลวด	5
2.4 โครงสร้างสเตเตอร์มอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส	6
2.5 ขดลวดพันรอบแกนเหล็กแบบเป็นวงรอบปิด	7
2.6 ขดลวดพันรอบแกนเหล็กแบบมีช่องอากาศบางส่วน	7
2.7 โครงสร้างแบบขดลวดเฟสเดียว	9
2.8 สัญญาณแรงเคลื่อนแม่เหล็กในช่องอากาศของขดลวดแบบเฟสเดียว	11
2.9 ตำแหน่งการวางขดลวดสามเฟสของเครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสสลับสองขั้ว	12
2.10 สัญญาณกระแสไฟฟ้าสามเฟส	13
2.11 สนามแม่เหล็กหมุนที่เกิดจากการป้อนไฟฟ้ากระแสสลับสามเฟส	14
2.12 การเกิดปรากฏการณ์ฮอลล์ในสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น	20
2.13 การวัดแรงฮอลล์ที่เกิดในสารกึ่งตัวนำ	21
2.14 การทำงานของ Accelerometer	23
2.15 การแปลงสัญญาณรูปคลื่นไซน์จากโดเมนเวลาไปเป็นสัญญาณบนโดเมนความถี่	27
2.16 การแปลงสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยมจากโดเมนเวลามาเป็นสัญญาณบนโดเมนความถี่	29
2.17 การแปลงสัญญาณที่ประกอบด้วยสัญญาณไซน์ที่มีความถี่ 50, 15, 250, 350 Hz จากโดเมนเวลามาเป็นสัญญาณบนโดเมนความถี่	29
3.1 การต่อวงจรทดลอง	31
3.2 การชี้ของเข็มทิศในการหาตำแหน่งขดลวด	31
3.3 มอเตอร์ที่สภาวะ No-load	32
3.4 วงจรการทดสอบสนามแม่เหล็กขณะมอเตอร์ทำงาน	33
3.5 วงจรสมมูลทางไฟฟ้าต่อเฟสของมอเตอร์เหนี่ยวนำ	34
3.6 มอเตอร์ที่สภาวะ Balance ทางกล	36
3.7 มอเตอร์ที่สภาวะ Unbalance ทางกล	37
3.8 วงจรการทดสอบมอเตอร์ที่สภาวะ Balance และ Unbalance ทางไฟฟ้า	37
3.9 รูปการทดสอบมอเตอร์ที่สภาวะ Balance และ Unbalance ทางไฟฟ้า	38
3.10 โปรแกรม MATLAB	39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เผยแพร่โดยศูนย์วิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีการศึกษาระดับปริญญาโทและปริญญาเอกของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆก็ตาม หากมีข้อผิดพลาดใดๆ กรุณาแจ้งไปยังศูนย์วิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีการศึกษาระดับปริญญาโทและปริญญาเอกของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, or cite the document when use.

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.11 การใช้งานภายในโปรแกรม MATLAB	39
3.12 โปรแกรม Spyder	40
3.13 การใช้งานภายในโปรแกรม Spyder	41
4.1 ตำแหน่งของขดลวดเฟส A	42
4.2 ตำแหน่งของขดลวดเฟส B	42
4.3 ตำแหน่งของขดลวดเฟส C	43
4.4 Search coil เฟส A	43
4.5 Search coil เฟส B	44
4.6 Search coil เฟส C	44
4.7 กราฟแรงดัน Output เทียบกับแรงดัน Input ของเฟส A B และ C	46
4.8 กราฟกระแสเทียบกับแรงดัน Input ของเฟส A B และ C	46
4.9 ตัวอย่างสัญญาณแรงดัน Output ที่ได้จาก Hall sensor 20 Volt	47
4.10 ตัวอย่างสัญญาณแรงดัน Output ที่ได้จาก Hall sensor 220 Volt	48
4.11 กราฟกระแสเทียบกับแรงดัน Input ของเฟส A B และ C จาก VI Method	49
4.12 แรงดันและกระแสจากการทำ No-load test ของเฟส A	50
4.13 แรงดันและกระแสจากการทำ No-load test ของเฟส B	50
4.14 แรงดันและกระแสจากการทำ No-load test ของเฟส C	51
4.15 แรงดัน กระแสและความถี่ จากการทำ Block-rotor test ของเฟส A	52
4.16 แรงดัน กระแสและความถี่ จากการทำ Block-rotor test ของเฟส B	52
4.17 แรงดัน กระแสและความถี่ จากการทำ Block-rotor test ของเฟส C	52
4.18 กราฟแรงดัน Output เทียบกับแรงดัน Input ของเฟส A B และ C ของทั้งสองสภาวะ	54
4.19 กราฟกระแสเทียบกับแรงดัน Input ของเฟส A B และ C	54
4.20 ตัวอย่างสัญญาณแรงดัน Output ที่ได้จาก Hall sensor 20 V	55
4.21 ตัวอย่างสัญญาณแรงดัน Output ที่ได้จาก Hall sensor 220 V	56
4.22 กราฟแรงดัน Output เทียบกับแรงดัน Input ของเฟส A B และ C ของทั้งสองสภาวะ	57
4.23 กราฟกระแสเทียบกับแรงดัน Input ของเฟส A B และ C	57
4.24 ตัวอย่างสัญญาณแรงดัน Output ที่ได้จาก Hall sensor 20 V	58
4.25 ตัวอย่างสัญญาณแรงดัน Output ที่ได้จาก Hall sensor 220 V	59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ ห้ามนำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า

ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น ยกเว้นมีเหตุที่เปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงชื่อของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า	
4.26	ค่าแรงดันไฟฟ้าจาก Hall sensor สภาวะ Balance ทางไฟฟ้า	59
4.27	ค่ากระแสไฟฟ้าสภาวะ Balance ทางไฟฟ้า	60
4.28	การทดลอง Unbalance ทางไฟฟ้า	61
4.29	ค่าแรงดันไฟฟ้าจาก Hall sensor ที่สภาวะ Unbalance ทางไฟฟ้า เฟส A	62
4.30	ค่ากระแสไฟฟ้าสภาวะ Unbalance ทางไฟฟ้า เฟส A	63
4.31	ค่าแรงดันไฟฟ้าจาก Hall sensor ที่สภาวะ Unbalance ทางไฟฟ้า เฟส B	64
4.32	ค่ากระแสไฟฟ้าสภาวะ Unbalance ทางไฟฟ้า เฟส B	65
4.33	ค่าแรงดันไฟฟ้าจาก Hall sensor ที่สภาวะ Unbalance ทางไฟฟ้า เฟส C	66
4.34	ค่ากระแสไฟฟ้าสภาวะ Unbalance ทางไฟฟ้า เฟส C	67
4.35	ด้านบนแสดงค่าแรงดันไฟฟ้าจาก Hall sensor ด้านล่างแสดงค่าสเปกตรัมของแรงดันไฟฟ้าด้านบน ที่สภาวะ Balance ทางกล	69
4.36	ด้านบนแสดงค่าแรงดันไฟฟ้าจาก Hall sensor ด้านล่างแสดงค่าสเปกตรัมของแรงดันไฟฟ้าด้านบน ที่สภาวะ Unbalance ทางกล	69
4.37	ด้านบนแสดงค่าแรงดันไฟฟ้าจาก Hall sensor ด้านล่างแสดงค่าสเปกตรัมของแรงดันไฟฟ้าด้านบน ที่สภาวะ Balance ทางไฟฟ้า	71
4.38	ด้านบนแสดงค่าแรงดันไฟฟ้าจาก Hall sensor ด้านล่างแสดงค่าสเปกตรัมของแรงดันไฟฟ้าด้านบน ที่สภาวะ Unbalance ทางไฟฟ้า เฟส A	71
4.39	ด้านบนแสดงค่าแรงดันไฟฟ้าจาก Hall sensor ด้านล่างแสดงค่าสเปกตรัมของแรงดันไฟฟ้าด้านบน ที่สภาวะ Unbalance ทางไฟฟ้า เฟส B	72
4.40	ด้านบนแสดงค่าแรงดันไฟฟ้าจาก Hall sensor ด้านล่างแสดงค่าสเปกตรัมของแรงดันไฟฟ้าด้านบน ที่สภาวะ Unbalance ทางไฟฟ้า เฟส C	72
4.41	โค้ดที่นำมาใช้ในการแสดงค่าของแรงดันไฟฟ้าจาก Hall sensor และค่ากระแสไฟฟ้า	76
4.42	รูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าของ Hall sensor จากตัวโค้ด ในสภาวะ Unbalance ของไฟฟ้าเฟส A	77
4.43	รูปคลื่นกระแสไฟฟ้าของ Hall sensor จากตัวโค้ด ในสภาวะ Unbalance ของไฟฟ้าเฟส A	77

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น มิใช่เพื่อเผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ยกเว้นให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.44 ค่าแรงดันไฟฟ้าของ Hall sensor , กระแสไฟฟ้า และ สภาวะมอเตอร์จากตัวโค้ด ในสภาวะ Unbalance ของไฟฟ้าเฟส A	77
4.45 รูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าของ Hall sensor จากตัวโค้ด ในสภาวะ Unbalance ของไฟฟ้าเฟส B	78
4.46 รูปคลื่นกระแสไฟฟ้าของ Hall sensor จากตัวโค้ด ในสภาวะ Unbalance ของไฟฟ้าเฟส B	78
4.47 ค่าแรงดันไฟฟ้าของ Hall sensor , กระแสไฟฟ้า และ สภาวะมอเตอร์จากตัวโค้ด ในสภาวะ Unbalance ของไฟฟ้าเฟส B	78
4.48 รูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าของ Hall sensor จากตัวโค้ด ในสภาวะ Unbalance ของไฟฟ้าเฟส C	79
4.49 รูปคลื่นกระแสไฟฟ้าของ Hall sensor จากตัวโค้ด ในสภาวะ Unbalance ของไฟฟ้าเฟส C	79
4.50 ค่าแรงดันไฟฟ้าของ Hall sensor , กระแสไฟฟ้า และ สภาวะมอเตอร์จากตัวโค้ด ในสภาวะ Unbalance ของไฟฟ้าเฟส C	79

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and X cite the document when use.

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แผนการดำเนินงาน	3
4.1 แรงดันขาออกของฟลักซ์แม่เหล็กเฟส A , B และ C ที่ได้จาก Hall sensor ในสภาวะ No-load	45
4.2 ค่ากระแสของเฟส A B และ C ในสภาวะ No-load	47
4.3 ผลการทดลอง VI Method ของเฟส A เฟส B และ เฟส C	48
4.4 ผลการทดลอง No-load test ของเฟส A เฟส B และ เฟส C	49
4.5 ผลการทดลอง Block-rotor test	51
4.6 แรงดันขาออกของฟลักซ์แม่เหล็กเฟส A , B และ C ที่ได้จาก Hall sensor ในสภาวะ Balance ทางกล	53
4.7 ค่ากระแสของเฟส A B และ C ในสภาวะ Balance ทางกล	55
4.8 แรงดันขาออกของฟลักซ์แม่เหล็กเฟส A เฟส B และ C ที่ได้จาก Hall sensor ในสภาวะ Unbalance ทางกล	56
4.9 ค่ากระแสของเฟส A B และ C ในสภาวะ Unbalance ทางกล	58
4.10 ค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดของแรงดันไฟฟ้าที่ได้จาก Hall sensor ที่สภาวะ Balance ทางไฟฟ้า	60
4.11 ค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดของกระแสไฟฟ้าที่สภาวะ Balance ทางไฟฟ้า	60
4.12 ค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดของแรงดันไฟฟ้าที่ได้จาก Hall sensor ที่สภาวะ Unbalance ทางไฟฟ้า เฟส A	62
4.13 ค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดของกระแสไฟฟ้าที่สภาวะ Unbalance ทางไฟฟ้า เฟส A	63
4.14 ค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดของแรงดันไฟฟ้าที่ได้จาก Hall sensor ที่สภาวะ Unbalance ทางไฟฟ้า เฟส B	64
4.15 ค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดของกระแสไฟฟ้าที่สภาวะ Unbalance ทางไฟฟ้า เฟส B	65
4.16 ค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดของแรงดันไฟฟ้าที่ได้จาก Hall sensor ที่สภาวะ Unbalance ทางไฟฟ้า เฟส C	66
4.17 ค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดของกระแสไฟฟ้าที่สภาวะ Unbalance ทางไฟฟ้า เฟส C	67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า

ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อนึ่ง ห้ามนำเอกสารนี้ไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.18 การเปรียบเทียบค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุดจาก Hall sensor ของสภาวะ Balance กับ Unbalance ทางไฟฟ้า	68
4.19 การเปรียบเทียบค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุดของสภาวะ Balance กับ Unbalance ทางไฟฟ้า	68
4.20 เปรียบเทียบค่าสเปกตรัมของแรงดันไฟฟ้าจาก Hall sensor ที่สภาวะ Balance กับ Unbalance ทางกล	70
4.21 เปรียบเทียบค่าสเปกตรัมของแรงดันไฟฟ้าจาก Hall sensor ที่สภาวะ Balance กับ Unbalance เฟส A ทางไฟฟ้า	73
4.22 เปรียบเทียบค่าสเปกตรัมของแรงดันไฟฟ้าจาก Hall sensor ที่สภาวะ Balance กับ Unbalance เฟส B ทางไฟฟ้า	74
4.23 เปรียบเทียบค่าสเปกตรัมของแรงดันไฟฟ้าจาก Hall sensor ที่สภาวะ Balance กับ Unbalance เฟส C ทางไฟฟ้า	75
5.1 สรุปความแตกต่างจากสภาวะ Balance กับ Unbalance ทางกล และสภาวะ Balance กับ Unbalance ทางไฟฟ้า	82

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญ และที่มาของปัญหาที่ทำโครงการ

ปัจจุบันมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำเป็นเครื่องจักรกลที่นิยมใช้อย่างแพร่หลายในโรงงานอุตสาหกรรม การวิเคราะห์สัญญาณการสั่นสะเทือน (Vibration Analysis) เป็นวิธีการหนึ่งในการตรวจสอบสำหรับการบำรุงรักษาเชิงคาดการณ์ (Predictive Maintenance) หรือเรียกว่าการบำรุงรักษาตามสภาพ (CBM : Condition Base Maintenance) เพื่อใช้บ่งบอกถึงความผิดปกติหลายๆ อย่างของเครื่องจักรกล โรงงานอุตสาหกรรมในปัจจุบันมีเครื่องจักรกลขนาดใหญ่และเทคโนโลยีที่ซับซ้อนมากขึ้นและมีกำลังการผลิตสูง หากเกิดการหยุดทำงานอย่างฉับพลัน (Breakdown) จะเกิดความสูญเสียเป็นอย่างมาก ดังนั้นการตรวจสอบสภาพเครื่องจักรจึงเป็นสิ่งจำเป็นเพื่อให้ทราบสภาพที่แท้จริงของเครื่องจักร เพื่อนำมาเป็นข้อมูลที่ใช้ในการคาดการณ์และวางแผนป้องกันและแก้ไขความผิดปกติที่จะเกิดขึ้นได้อย่างถูกต้อง

การวิเคราะห์การสั่นสะเทือน เป็นวิธีการหนึ่งในการตรวจความผิดปกติของเครื่องจักร ซึ่งมีสาเหตุมาจากความผิดปกติหลาย ๆ สาเหตุ โดยพบว่าอาจจะมีสาเหตุทางกลศาสตร์ เช่น ความไม่สมดุล (Imbalance), การเยื้องศูนย์ (Misalignment), ความผิดปกติต่าง ๆ จากลูกปืน (Bearing faults), ความบกพร่องของเฟืองหรือฟันเฟือง (Gear Faults), ความหลวมคลอนในเครื่อง (Looseness), การสูญเสียความหล่อลื่น (Lubrication), การโก่งงอของเพลลา (Bent shaft), ความผิดปกติของสายพาน (Belt fault), ความเสียหายในขดลวดของโรเตอร์ (Broken rotor bars) และยังพบว่ามีอีกสาเหตุหนึ่งที่สำคัญคือมีสาเหตุมาจากข้อบกพร่องทางไฟฟ้า ในปัจจุบันยังคงมีความไม่สมดุลทางไฟฟ้า เช่น กระแส แรงดัน ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดการสั่นสะเทือนขึ้น โดยทั่วไปวิธีการหาค่าการสั่นสะเทือนสามารถทำได้โดยวิธีแบบสัมผัส (Touch) คือการวัดค่าจากหัววัดการสั่นสะเทือน (ระยะการเคลื่อนที่, ความเร็ว, อัตราเร่ง) ซึ่งต้องติดตั้งกับตัวโครงของมอเตอร์ ทำให้ไม่สะดวกและสิ้นเปลือง ซึ่งการหาค่าการสั่นสะเทือนโดยวิธีแบบสัมผัสไม่เพียงพอที่จะบ่งบอกได้ว่าขณะนั้นมอเตอร์ถูกใช้งานในสถานะแรงดันไฟฟ้าที่สมดุลหรือไม่ ดังนั้นวิธีการแก้ไขปัญหานี้ คือ การหาค่าการสั่นสะเทือนโดยวิธีแบบไม่สัมผัส (Non-Touch) โดยใช้เทคนิคการวัดจากค่ากระแสสามเฟส ในโรงงานนี้จะใช้วิธีการวัดการสั่นสะเทือนจากค่าสัญญาณ Hall sensor แล้วนำค่าที่ได้ไปวิเคราะห์ฮาร์มอนิกส์ โดยนำค่าที่ได้เปรียบเทียบกับผลจากการใช้ Accelerometer เพื่อใช้ในการบ่งบอกถึงความไม่ว่ากรณีโดยทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้คิดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1.2.1. ศึกษาการวัดสัญญาณด้วยสนามแม่เหล็กไฟฟ้า กระแส และแรงดันของทั้ง 3 เฟสในกรณีต่าง ๆ

1.2.2. ศึกษาและวิเคราะห์สาเหตุที่ทำให้เกิดการสั่นสะเทือนในมอเตอร์เหนี่ยวนำ โดยการตรวจจับสนามแม่เหล็กไฟฟ้า

1.2.3. วิเคราะห์สัญญาณสนามแม่เหล็กไฟฟ้าจาก Hall sensor แล้วนำไปเปรียบเทียบการสั่นสะเทือนจากการวัดด้วย Accelerometer ในสถานะต่าง ๆ

1.2.4. สามารถระบุความผิดปกติของมอเตอร์เหนี่ยวนำได้จากสนามแม่เหล็กไฟฟ้าโดยใช้ Hall sensor

1.2.5 สร้างโปรแกรมระบุความผิดปกติของ Induction motor ได้

1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ

1.3.1 ศึกษาโครงสร้างและหลักการทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสเบื้องต้นจากมอเตอร์เหนี่ยวนำขนาดพิกัด 750 วัตต์ 50 เฮิร์ตซ์ 380 โวลต์ และความเร็วรอบ 1400 รอบต่อนาที

1.3.2 ศึกษาหลักการทำงานที่สำคัญของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส โดยศึกษาการทำงานของตัวตรวจจับสนามแม่เหล็กหมุนภายในมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสขณะหมุน

1.3.3 ออกแบบและติดตั้ง Hall sensor เพื่อใช้ในการศึกษาการทำงานของสนามแม่เหล็กหมุนในมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส

1.4 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการ

1.4.1 ศึกษาและทบทวนวรรณกรรมต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง

1.4.2 ศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับโครงสร้างและหลักการทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส

1.4.3 ออกแบบและติดตั้ง Hall sensor เพื่อศึกษาผลการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กหมุนในมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส

1.4.4 ทดสอบและวัดค่าสนามแม่เหล็กหมุนขณะมอเตอร์ทำงาน แล้ววิเคราะห์ผลของ Hall Effect

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4.5 สรุปผลการทดสอบแล้วจัดทำปริญญานิพนธ์

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

1.5 แผนการดำเนินงาน

ตาราง 1.1 แผนการดำเนินงาน

การดำเนินงาน	ภาคเรียนที่ 1/2563				ภาคเรียนที่ 2/2563		
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.
1.ศึกษาค้นคว้าโครงสร้างของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส							
2.ทดสอบมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสเบื้องต้น							
3.ออกแบบและติดตั้ง Hall sensor ในวงจร							
4.ทดสอบผลของ Hall Effect ต่อวงจรแม่เหล็กไฟฟ้า และบันทึกค่าแรงดันต่าง ๆ							
5.รวบรวมข้อมูลและจัดทำปริญญานิพนธ์							

1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการ

1. มีความรู้ความเข้าใจในโครงสร้างและการทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส สามารถระบุสาเหตุที่ทำให้การสั่นสะเทือนในมอเตอร์เหนี่ยวนำ
2. มีความรู้ความเข้าใจในหลักการทำงานของ Hall sensor เมื่อทำการวัดค่าสนามแม่เหล็กสามารถออกแบบและติดตั้ง Hall sensor ในวงจรได้
3. มีความรู้ความเข้าใจในพฤติกรรมของสนามแม่เหล็กของมอเตอร์เหนี่ยวนำในสภาวะต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 2

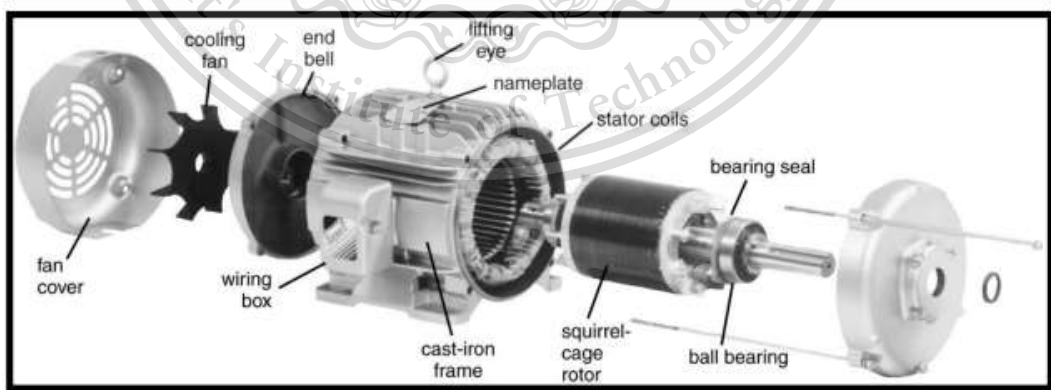
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (Induction Motor)

อินดักชัน (Induction) หมายถึง การเหนี่ยวนำซึ่งการหมุนของมอเตอร์เกิดจากการเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็กหมุนของขดลวดที่สเตเตอร์ที่มีตัวนำในโรเตอร์

2.1.1 โครงสร้างของมอเตอร์เหนี่ยวนำ (Induction Motor Construction)

มอเตอร์เหนี่ยวนำเป็นเครื่องจักรกลไฟฟ้าที่ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกลโดยอาศัยหลักการของการเกิดสนามแม่เหล็กหมุน โดยโครงสร้างของมอเตอร์เหนี่ยวนำแบ่งออกเป็นสองส่วนหลักๆ คือ โรเตอร์และสเตเตอร์ ดังรูปที่ 2.1 โดยโครงสร้างโรเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสจะมีลักษณะเป็นแท่งตัวนำวางเรียงอยู่ในแนวตามยาวของโรเตอร์และมีการเชื่อมต่อถึงกันทางไฟฟ้าโดยการลัดวงจรที่ปลายทั้งสองข้างของแท่งตัวนำ ดังรูปที่ 2.2 เรียกโครงสร้างของโรเตอร์แบบนี้ว่าแบบกรงกระรอก(Squirrel-cage rotor) และมีโครงสร้างโรเตอร์อีกแบบที่มีลักษณะเป็นการพันขดลวด(Wound rotor) ซึ่งโรเตอร์แบบนี้จะสามารถเชื่อมต่อกับวงจรไฟฟ้าภายนอกได้โดยการใช้วงแหวนสลิป (Slip rings) และแปรงถ่าน (Brush) ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

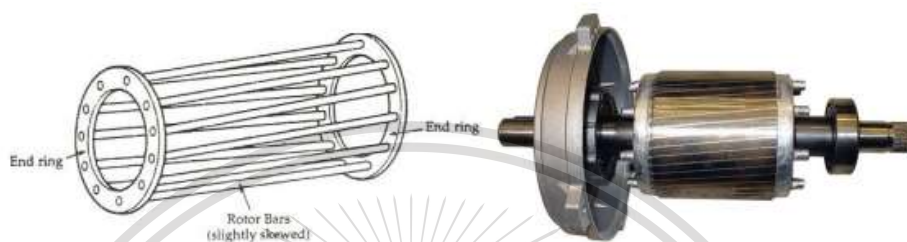
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำออกจำหน่าย การค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา construction/)

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.1.1.1 โรเตอร์ (Rotor) คือ ส่วนที่หมุน แบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ

2.1.1.1.1 แบบกรงกระรอก (Squirrel cage) มีแท่งตัวนำ (Rotor bars) คล้ายกรงกระรอกฝังอยู่ในโรเตอร์ โดยที่ปลายทั้ง 2 ด้านของแท่งตัวนำถูกฉลุดวงจรด้วยตัวนำรูปวงแหวน (End ring) ดังรูปที่ 2.2 แท่งตัวนำของโรเตอร์มักมีลักษณะเฉียงเพราะจะทำให้โรเตอร์หมุนได้ราบเรียบและลดปัญหาเสียงฮัมของแม่เหล็ก

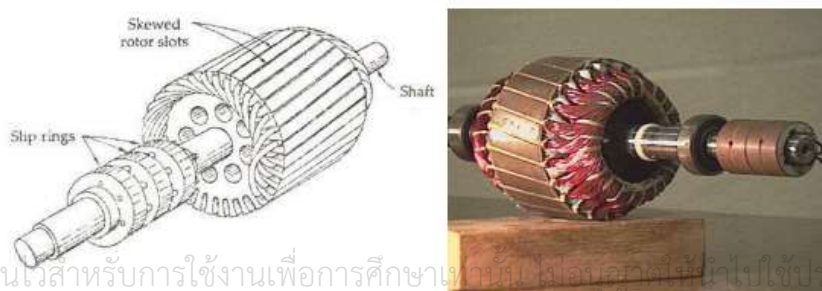


รูปที่ 2.2 โครงสร้างของโรเตอร์แบบทรวงกระรอก

(ที่มา: <https://www.quora.com/Why-is-skewing-done-in-a-3-phase-squirrel-cage-induction-motor> และ <http://eastcoastmotor.com/wp-content/uploads/2018/02/AC-Squirrel-cage-Electric-Motors.gif>)

2.1.1.1.2 แบบขดลวดพันรอบโรเตอร์ (Wound rotor)

โรเตอร์แบบนี้แตกต่างจากแบบกรงกระรอก คือ มีขดลวดทองแดงพันรอบตัวโรเตอร์ ส่วนปลายของขดลวดนี้จะต่อกับสลีปริง (Slip ring) ซึ่งมีแปรงถ่านติดตั้งอยู่ ดังรูปที่ 2.3 และมีข้อจำกัดคือ จำนวนขั้วของโรเตอร์ต้องเท่ากับจำนวนขั้วสเตเตอร์



รูปที่ 2.3 โครงสร้างของโรเตอร์แบบการพันขดลวด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

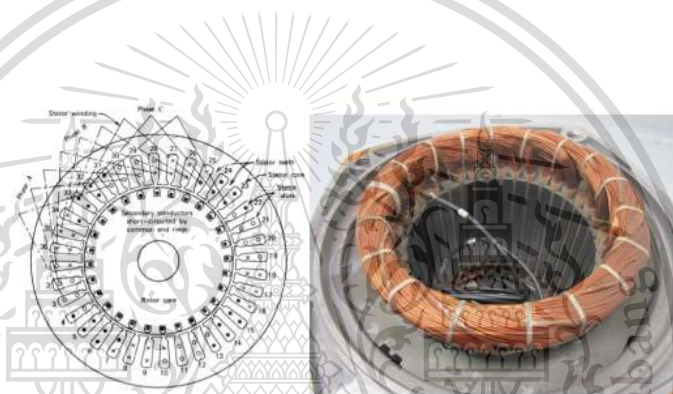
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

(ที่มา :<https://www.theengineeringprojects.com/wpcontent/upload/2016/10/wound-type-induction.jpg> และ <http://emadrlc.blogspot.com/2021/12/three-phase-wound-rotor-induction-motor.html>)

2.1.1.2 สเตเตอร์ (Stator)

ส่วนที่อยู่กับที่ มีหน้าที่ยึดขดลวดอาร์มาเจอร์ที่บรรจุอยู่ในสล็อต (Slot) โดยโครงสร้างสเตเตอร์ประกอบด้วยขดลวดอาร์มาเจอร์แบบสามเฟส (a , b , c) และมีการต่อกันทั้งแบบสตาร์และแบบเดลต้า ดังรูปที่ 2.4 เมื่อขดลวดอาร์มาเจอร์สามเฟสได้รับค่ากระแสไฟฟ้าสามเฟส จากแหล่งจ่ายภายนอกจะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กหมุน



รูปที่ 2.4 โครงสร้างสเตเตอร์มอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส

(ที่มา:file://Users/Lenovo%20Z50/Desktop/2018%20Dr.%20Chapter%203%20Electrical%20Machines%20ll.pdf และ <http://www.ebay.com/itm/Yaskawa-E3S5501-3-Ph-Induction-Motor-Stator-230-460V-1720-RPM-4-pole-Kito-Hoist-/272413232272>)

2.2 วงจรแม่เหล็ก (Magnetic Circuit)

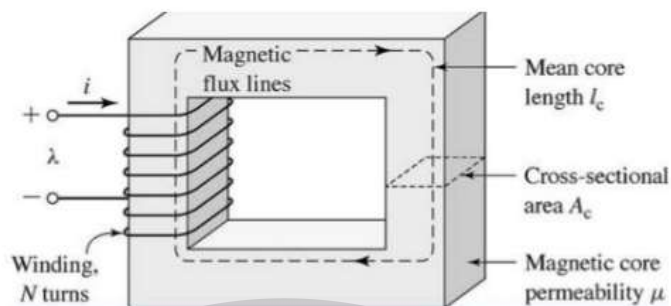
ในการศึกษาเครื่องจักรกลไฟฟ้า เครื่องกำเนิดไฟฟ้าและมอเตอร์ไฟฟ้า วงจรแม่เหล็กมีความสำคัญมากในการศึกษาเรื่องนี้ เพราะเครื่องจักรกลไฟฟ้าต้องอาศัยวงจรแม่เหล็กเป็นทางผ่านในการเปลี่ยนรูปพลังงานในเครื่องกลไฟฟ้า โดยอาศัยขดลวดพันรอบแกนเหล็ก เส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจะไหลผ่านวงจรแม่เหล็ก ปฏิกริยาระหว่างกระแสและเส้นแรงแม่เหล็กก่อให้เกิดกระบวนการเปลี่ยนรูปของพลังงาน เช่น ในมอเตอร์ไฟฟ้าทำหน้าที่เปลี่ยนรูปพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล เพื่อให้

สามารถสร้างและควบคุมสนามไฟฟ้าได้ ในวงจรแม่เหล็กมีความต้านทานทางแม่เหล็ก (Reluctance) ซึ่งค่านี้เป็นค่าที่ทำให้เกิดความสูญเสียทางด้านพลังงานในแกนเหล็ก ดังนั้นวงจรไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

แม่เหล็กที่ดีต้องมีค่าความต้านทานทางแม่เหล็กที่ต่ำที่สุด เพื่อทำให้เกิดความสูญเสียทางด้านพลังงานน้อยที่สุด



รูปที่ 2.5 ขดลวดพันรอบแกนเหล็กแบบเป็นวงรอบปิด

(ที่มา: <http://polytechnichub.com/wp-content/uploads/2018/08/Magnetic-circuit.jpg>)



รูปที่ 2.6 ขดลวดพันรอบแกนเหล็กแบบมีช่องอากาศบางส่วน

(ที่มา: <http://i.stack.imgur.com/kfxk6.png>)

2.3 ความเร็วซิงโครนัส (Synchronous Speed)

เครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสสลับจะทำงานโดยอาศัยสนามแม่เหล็กหมุนที่เกิดจากการการจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับสามเฟสเข้าที่ขดลวดอาร์มาเจอร์และการหมุนขั้วแม่เหล็กของโรเตอร์ของ

เครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสสลับ ซึ่งความเร็วของสนามแม่เหล็กหมุนในเครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสสลับ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูเชิงงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยญาติเหินไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า จะเรียกว่า ความเร็วซิงโครนัส (Synchronous Speed)

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ในกรณีที่เครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสสลับ ให้ P คือจำนวนขั้วแม่เหล็ก จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างมุมทางไฟฟ้า (θ_e) กับมุมทางกล (θ_m) หน่วยเรเดียน ตามสมการข้างล่าง

$$\theta_e = \frac{P}{2} \theta_m \quad (2.3.1)$$

โดยที่ P คือ จำนวนขั้วแม่เหล็ก

θ_e คือ มุมทางไฟฟ้า หน่วยเรเดียน

θ_m คือ มุมทางกล หน่วยเรเดียน

ถ้ากำหนดให้ค่า θ_e และ θ_m เป็นค่าของมุมที่เกิดจากการหมุนตัวโรเตอร์ในเวลา 1 วินาที สามารถเขียนความเร็วเชิงมุมเป็นความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเชิงมุมทางกลกับความเร็วเชิงมุมทางไฟฟ้าในหน่วย เรเดียนต่อวินาที ได้ดังนี้

$$\omega_e = \frac{P}{2} \omega_m \quad \text{rad/s} \quad (2.3.2)$$

โดยที่ ω_e คือ ค่าความเร็วเชิงมุมทางไฟฟ้า หน่วยเรเดียนต่อวินาที

ω_m คือ ค่าความเร็วเชิงมุมทางกล หน่วยเรเดียนต่อวินาที

ถ้านำสมการที่ 2.3.2 มาหารด้วย 2π สามารถเขียนเป็นความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ทางไฟฟ้ากับความถี่ทางกลในหน่วย Hz หรือ รอบต่อวินาที

$$f_e = \frac{P}{2} f_m \quad \text{Hz} \quad (2.3.3)$$

โดยที่ f_e คือ ความถี่ทางไฟฟ้า มีหน่วย Hz

f_m คือ ความถี่ทางกล มีหน่วย Hz

ถ้านำสมการที่ 2.3.3 มาทำการแปลงหน่วยความถี่ให้เป็นหน่วย รอบต่อนาที จะได้ตามสมการข้างล่าง

$$f_e = \frac{P}{2} \left(\frac{n_s}{60} \right) \quad (2.3.4)$$

โดยที่ n_s คือ ความเร็วซิงโครนัส (Synchrouous Speed) หน่วย rpm

จะได้สมการของความเร็วสนามแม่เหล็กหมุนหรือความเร็วซิงโครนัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ f คือ ความถี่ของระบบไฟฟ้าที่ป้อนขดลวดอาร์มาเจอร์ หน่วย Hz

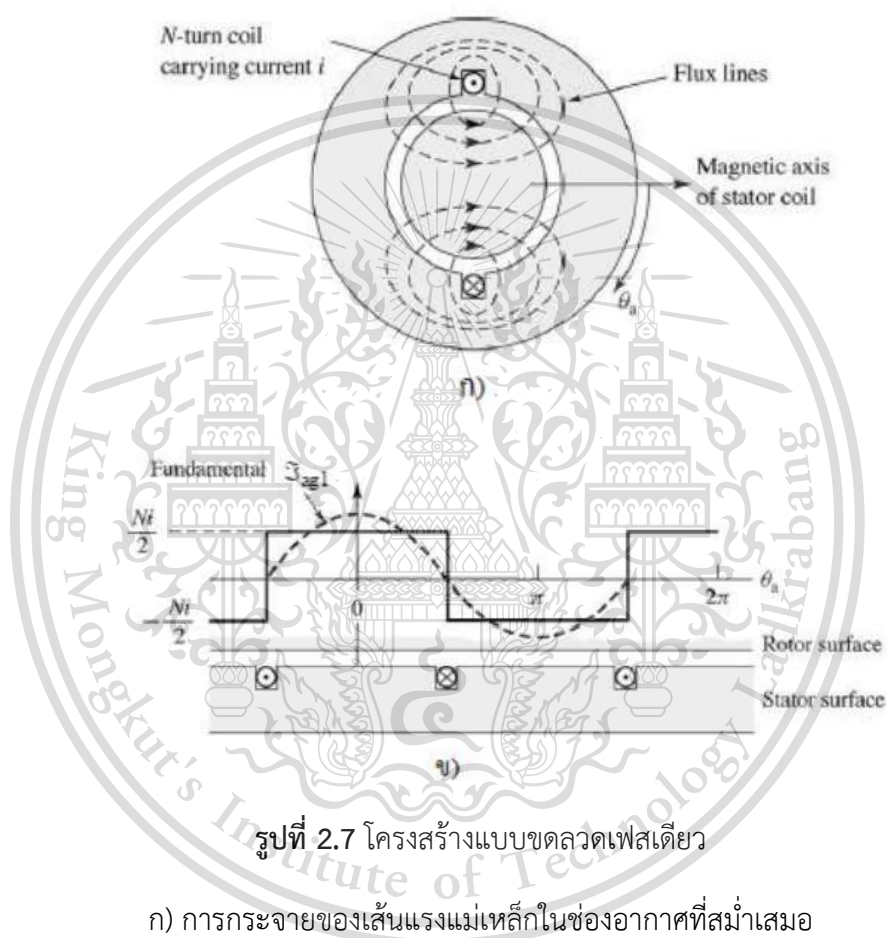
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.4 การเกิดสนามแม่เหล็กหมุน

2.4.1 การเกิดแรงเคลื่อนแม่เหล็กในเครื่องจักรกลไฟฟ้า

การศึกษาการเกิดสนามแม่เหล็กหมุนในเครื่องจักรกลไฟฟ้าสามเฟส เริ่มต้นศึกษาการเกิดแรงเคลื่อนแม่เหล็ก (MMF) จากเครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสสลับ 2 ขั้วแม่เหล็ก ขดลวดอาร์เมเจอร์เป็นแบบเฟสเดียวมีจำนวน N รอบ พันแบบ full-pitch (ห่างกัน 180 องศาทางไฟฟ้า) ดังแสดงในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 โครงสร้างแบบขดลวดเฟสเดียว

ก) การกระจายของเส้นแรงแม่เหล็กในช่องอากาศที่สม่ำเสมอ

ข) ค่าแรงเคลื่อนแม่เหล็กในช่องอากาศ

(ที่มา: เอกสารประกอบการสอนเครื่องจักรกลไฟฟ้า รศ.ดร.ชัยวุฒิ ฉัตรอุทัย)

วิเคราะห์ค่าแรงเคลื่อนแม่เหล็กในช่องอากาศโดยใช้อนุกรมฟูเรียร์ จากรูปที่ 2.7ข แรงเคลื่อนแม่เหล็กนี้เป็นแม่เหล็กในช่องอากาศมีรูปคลื่นเป็นรูปคลื่นสี่เหลี่ยม เมื่อแยกอนุกรมฟูเรียร์ของแรงเคลื่อนแม่เหล็กการคำนวณว่ากรณีใดรูปคลื่นสี่เหลี่ยมและพิจารณาเฉพาะความถี่มูลฐานของแรงเคลื่อนแม่เหล็กจะได้ว่าทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

$$\mathcal{V}_{ag1} = \frac{4}{\pi} \left(\frac{N_i}{2} \right) \cos \theta_a \quad (2.4.1)$$

โดยที่ θ_a คือ มุมที่วัดจากแนวแกนสนามแม่เหล็กของขดลวดสเตเตอร์

K_w คือ แฟคเตอร์ของการพันขดลวด

N_i คือ จำนวนรอบของขดลวด

ในกรณีที่ขดลวดสเตเตอร์มี 2 ขั้วและมีการพันแบบกระจายตัวจะทำให้เกิดค่า Winding factor เกิดขึ้นเท่ากับ K_w แรงเคลื่อนแม่เหล็กจะเป็นดังสมการ

$$\mathcal{V}_{ag1} = \frac{4}{\pi} \left(\frac{K_w N_i}{P} \right) \cos \left(\frac{P}{2} \theta_a \right) \quad (2.4.2)$$

โดยที่ \mathcal{V}_{ag1} คือ แรงเคลื่อนแม่เหล็ก

เมื่อป้อนกระแสสลับตามสมการที่ 2.4.2 เข้าไปที่ขดลวดสเตเตอร์และพิจารณาแรงเคลื่อนแม่เหล็กมูลฐานซึ่งจะได้แรงเคลื่อนแม่เหล็ก $\mathcal{V}_{ag1}(\theta, t)$ ที่มุม θ และเวลา t ใดๆ จะได้แรงเคลื่อนแม่เหล็กมูลฐาน

$$i(t) = I_m \cos(\omega t) \quad (2.4.3)$$

$$\mathcal{V}_{ag1} = \mathcal{V}_m \cos(\theta_{ae}) \cos(\omega t) \quad (2.4.4)$$

โดยที่ I_m คือ ค่ากระแสสร้างสนามแม่เหล็กสูงสุดในแต่ละเฟส

\mathcal{V}_m คือ แรงเคลื่อนแม่เหล็กสูงสุด

ω คือ ความเร็วเชิงมุม

t คือ เวลาใดๆ

$$\text{โดยที่ } \mathcal{V}_m = \frac{4}{\pi} \left(\frac{K_w N}{P} \right) I_m \text{ และ } \theta_{ae} = \frac{P}{2} \theta_a \text{ และจาก}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามผลิตซ้ำ แด่ดัดแปลง หรือเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

เมื่อนำมาเขียนสมการใหม่จะได้ว่า

$$\mathfrak{V}_{ag1} = \mathfrak{V}_m \left[\frac{1}{2} \cos(\theta_{ae} - \omega t) + \frac{1}{2} \cos(\theta_{ae} + \omega t) \right] \quad (2.4.5)$$

เขียนแยกเป็น 2 คลื่น ประกอบด้วย \mathfrak{V}_{ag1}^+ เคลื่อนที่ไปทิศทาง $+\theta_{ae}$ และ \mathfrak{V}_{ag1}^- เคลื่อนที่ไปทิศทาง $-\theta_{ae}$

$$\mathfrak{V}_{ag1}^+ = \left[\frac{1}{2} \mathfrak{V}_m \cos(\theta_{ae} - \omega t) \right] \quad (2.4.6)$$

$$\mathfrak{V}_{ag1}^- = \left[\frac{1}{2} \mathfrak{V}_m \cos(\theta_{ae} + \omega t) \right] \quad (2.4.7)$$

คลื่น \mathfrak{V}_{ag1}^+ และ \mathfrak{V}_{ag1}^- มีขนาดเท่ากันแต่เคลื่อนที่ไปในช่องอากาศในทิศทางที่ตรงข้ามกัน มีผลทำให้การจ่ายกระแสลับ 1 เฟสเข้าไปในขดลวดสเตเตอร์เพียงเฟสเดียว แรงเคลื่อน แม่เหล็ก จะไม่มีการเคลื่อนที่ไปจากแนวแกนสนามแม่เหล็กของขดลวดสเตเตอร์ แต่จะมีการเปลี่ยนแปลงในลักษณะที่มีทิศทางสลับไปมาในแนวแกนสนามแม่เหล็กดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 สัญญาณแรงเคลื่อนแม่เหล็กในช่องอากาศของขดลวดแบบเฟสเดียว

(ที่มา: เอกสารประกอบการสอนเครื่องจักรกลไฟฟ้า รศ.ดร.ชัยวุฒิ ฉัตรอุทัย)

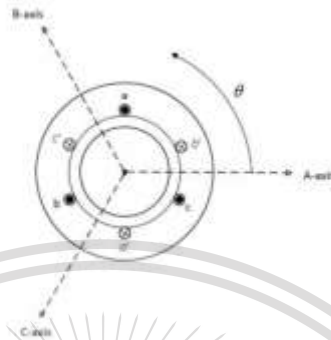
จะเห็นว่าเมื่อป้อนกระแสลับ 1 เฟสให้กับมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส ทำให้เกิดแรงเคลื่อน

แม่เหล็กซึ่งสามารถแยกองค์ประกอบได้เป็น 2 องค์ประกอบที่มีขนาดเท่ากันแต่เคลื่อนที่ในทิศทางตรงกันข้าม แรงเคลื่อนแม่เหล็กลัพธ์จึงไม่มีการเคลื่อนที่ ในกรณีที่ต้องการให้สนามแม่เหล็กลัพธ์ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ลักษณะสนามแม่เหล็กต้องเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งหากนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ขดลวดของเฟสอื่นมาหักล้างทิศของสนามแม่เหล็กทิศทางที่ไม่ต้องการ โดยปกติจะวางขดลวด 3 ขด ทำมุมระหว่างกันเท่ากันและป้อนกระแสสลับ 3 เฟส จากโครงสร้างของเครื่องจักรกลไฟฟ้า กระแสสลับ 3 เฟส ได้มีการพันขดลวดอาร์มาเจอร์ 3 เฟสอยู่ที่สเตเตอร์ โดยที่ขดลวดอาร์มาเจอร์จะ วางห่างกัน 120 องศาทางไฟฟ้า ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 ตำแหน่งการวางขดลวดสามเฟสของเครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสสลับสองขั้ว

(ที่มา: ปริญญาธิพนธ์ เรื่องการพัฒนาและทดสอบประสิทธิภาพสำหรับมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส)

2.4.2 การเกิดสนามแม่เหล็กหมุนในเครื่องจักรกลไฟฟ้า

โดยกำหนดให้ แกนของขดลวดเฟส a อยู่ที่ตำแหน่ง 0 องศา

แกนของขดลวดเฟส b อยู่ที่ตำแหน่ง 120 องศา

แกนของขดลวดเฟส c อยู่ที่ตำแหน่ง 240 องศา

เมื่อทำการป้อนไฟฟ้ากระแสสลับสามเฟสเข้าที่ขดลวดอาร์มาเจอร์ของเครื่องจักรกลไฟฟ้า กระแสสลับที่ตำแหน่งขดลวดที่ได้กำหนดไว้ในแต่ละเฟส จะส่งผลให้แกนของขดลวดแต่ละเฟสมีค่า ห่างกัน 120 องศาทางไฟฟ้า โดยกระแสสามเฟสจะมีค่าดังนี้

$$i_a = I_m \cos(\omega t) \quad (2.4.8)$$

$$i_b = I_m \cos(\omega t - 120^\circ) \quad (2.4.9)$$

$$i_c = I_m \cos(\omega t - 240^\circ) \quad (2.4.10)$$

โดยที่ i_a คือ ค่ากระแสในขดลวดเฟส a

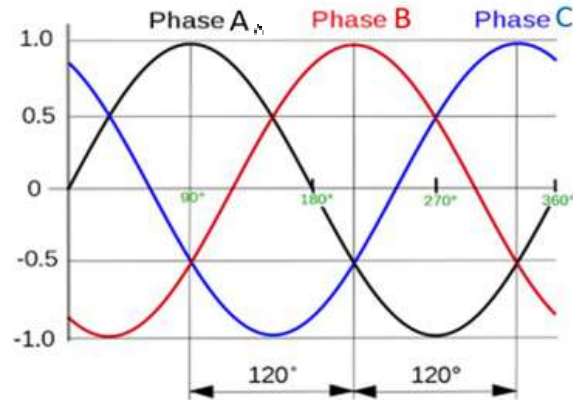
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

i_c คือ ค่ากระแสในขดลวดเฟส c

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.10 สัญญาณกระแสไฟฟ้าสามเฟส

(ที่มา: ปริญญาพนธ์ เรื่องการพัฒนาและทดสอบประสิทธิภาพสำหรับมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส)

ส่งผลให้แรงเคลื่อนแม่เหล็กที่เกิดจากการป้อนกระแส $i(t)$ เข้าที่ขดลวดอาร์มาเจอร์ของเฟส a โดยที่ขดลวดเฟสอยู่ตำแหน่ง 0 องศาทางไฟฟ้า มีค่าดังสมการ

$$\mathfrak{F}_a(\theta, t) = \mathfrak{F}_m \cos(\theta) \cos(\omega t) \quad (2.4.11)$$

$$\mathfrak{F}_a = \frac{1}{2} \mathfrak{F}_m \cos(\theta_{ae} - \omega t) + \frac{1}{2} \mathfrak{F}_m \cos(\theta_{ae} + \omega t) \quad (2.4.12)$$

แรงเคลื่อนแม่เหล็กที่เกิดจากการป้อนกระแส $i(t)$ เข้าที่ขดลวดอาร์มาเจอร์ของเฟส b โดยที่ขดลวดเฟสอยู่ตำแหน่ง 120 องศาทางไฟฟ้า มีค่าดังสมการ

$$\mathfrak{F}_b(\theta, t) = \mathfrak{F}_m \cos(\theta - 120^\circ) \cos(\omega t - 120^\circ) \quad (2.4.13)$$

$$\mathfrak{F}_b = \frac{1}{2} \mathfrak{F}_m \cos(\theta_{ae} - \omega t) + \frac{1}{2} \mathfrak{F}_m \cos(\theta_{ae} + \omega t - 240^\circ) \quad (2.4.14)$$

แรงเคลื่อนแม่เหล็กที่เกิดจากการป้อนกระแส $i(t)$ เข้าที่ขดลวดอาร์มาเจอร์ของเฟส c โดยที่ขดลวดเฟสอยู่ตำแหน่ง 240 องศาทางไฟฟ้า มีค่าดังสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

$$\mathfrak{V}_c(\theta, t) = \mathfrak{V}_m \cos(\theta - 240^\circ) \cos(\omega t - 240^\circ) \quad (2.4.15)$$

เมื่อทำการรวมแรงเคลื่อนแม่เหล็กทั้งสามเฟสเข้าด้วยกัน จะได้แรงเคลื่อนแม่เหล็กลัพธ์ (Rotating mmf wave) ที่เกิดจากการป้อนไฟฟ้ากระแสสลับสามเฟสเข้าที่ขดลวดอาร์มาเจอร์ ดังสมการที่ 2.4.16

$$\mathfrak{V}_{\text{total}} = \mathfrak{V}_a(\theta, t) + \mathfrak{V}_b(\theta, t) + \mathfrak{V}_c(\theta, t) \quad (2.4.16)$$

จากการรวมกันของไฟฟ้ากระแสสลับสามเฟสทำให้เทอมของ

$$\mathfrak{V}_c = \frac{1}{2} \mathfrak{V}_m \cos(\theta_{ae} - \omega t) + \frac{1}{2} \mathfrak{V}_m \cos(\theta_{ae} + \omega t - 120^\circ) - \frac{1}{2} \mathfrak{V}_m \cos(\theta_{ae} + \omega t - 120^\circ) = 0 \quad \text{และจะได้ผลลัพธ์}$$

$$\mathfrak{V}_{\text{total}}(\theta, t) = \frac{3}{2} \mathfrak{V}_m \cos(\theta - \omega t) \quad (2.4.17)$$

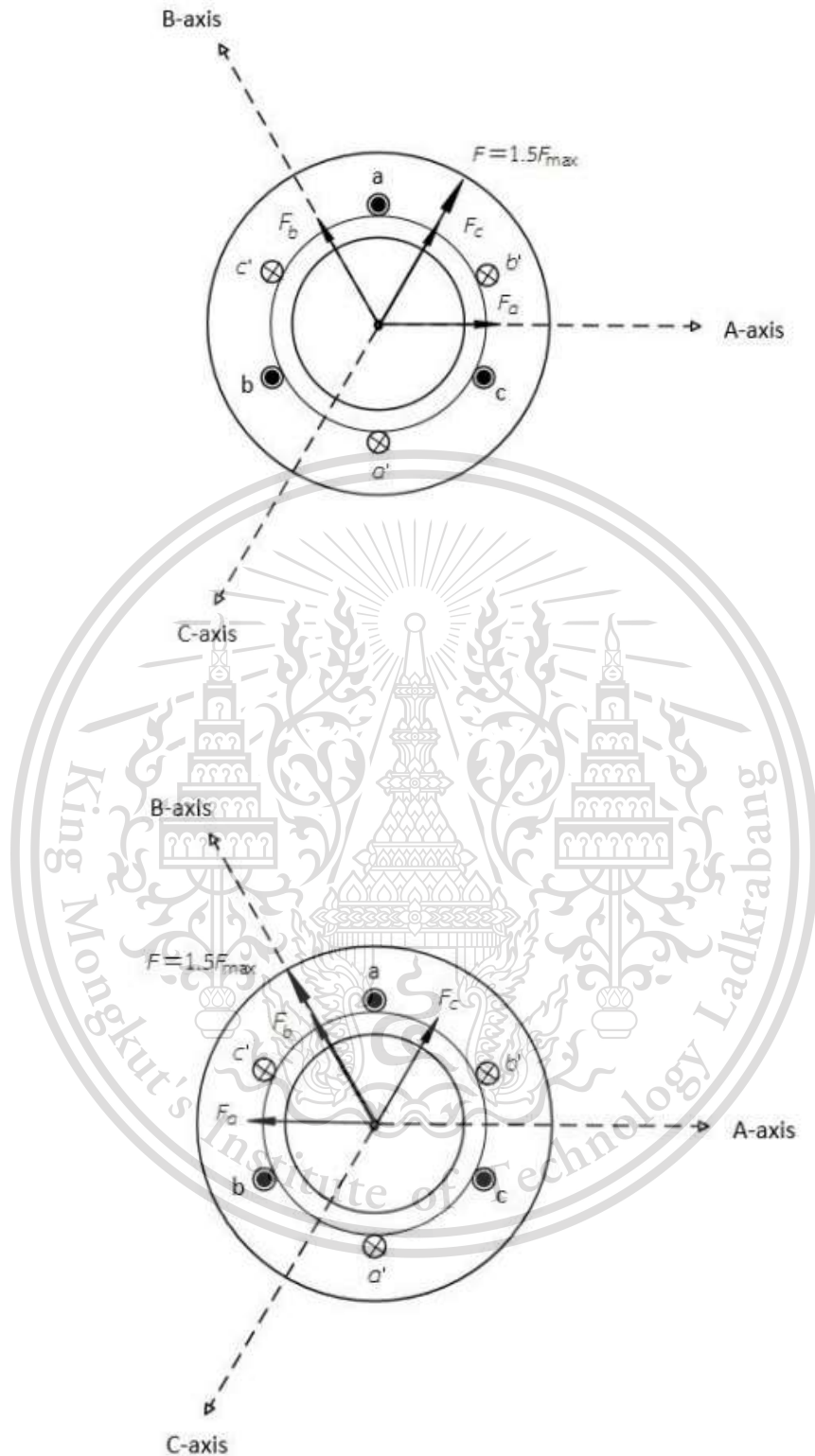
โดยที่ $\mathfrak{V}_{\text{total}}(\theta, t)$ คือแรงเคลื่อนแม่เหล็กลัพธ์ (Rotating mmf wave) ที่มีมุม θ และเวลา t ใดๆ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีการเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.11 สนามแม่เหล็กหมุนที่เกิดจากการป้อนไฟฟ้ากระแสสลับสามเฟส (ทิศทางทวนเข็มนาฬิกา)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่มาจาก (ที่มา: ปริญญาพันธ์ เรื่องการพัฒนาและทดสอบประสิทธิภาพสำหรับมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส) การค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.5 การสั่นสะเทือน

2.5.1 ประเภทของการสั่นสะเทือน การสั่นสะเทือนมีหลายรูปแบบ

แบ่งออกเป็นประเภทใหญ่ ๆ ได้ 2 ประเภท คือ

2.5.1.1 การสั่นสะเทือนแบบอิสระ (Free Vibration)

การเคลื่อนที่กลับไปกลับมาของมวลภายในระบบภายใต้การกระทำของแรงภายในระบบ โดยปราศจากแรงภายนอกมากระทำ

2.5.1.2 การสั่นสะเทือนแบบกระตุ้น (Forced Vibration)

การเคลื่อนที่กลับไปกลับมาของมวลภายในระบบ อันเกิดจากแรงภายนอกและการสั่นสะเทือนนี้จะขึ้นอยู่กับลักษณะของแรงภายนอกและความถี่ของแรงที่มากระตุ้นระบบ

ลักษณะของแรงภายนอกที่มากระทำมีได้หลายรูปแบบ แต่ในเครื่องจักรแบบหมุนการกระตุ้นของระบบมักจะอยู่ในรูปของแรงกระตุ้นแบบคาบ และเนื่องจากแรงกระตุ้นแบบคาบนั้นจะสามารถแยกย่อยออกเป็นผลรวมของการกระตุ้นแบบฮาร์มอนิกที่มีความถี่ต่าง ๆ ได้ ดังนั้นจึงนิยมพิจารณาพฤติกรรมของการสั่นสะเทือน โดยใช้แบบจำลองในรูปแบบของแรงกระตุ้นแบบฮาร์มอนิก เมื่อระบบถูกกระตุ้นด้วยแรงภายนอกแบบฮาร์มอนิก การสั่นสะเทือนของระบบจะเกิดขึ้นในลักษณะเดียวกันกับแรง คือ จะสั่นสะเทือนด้วยความถี่เดียวกันกับความถี่ของแรงที่มากระตุ้น

2.5.2 ชนิดของสัญญาณการสั่นสะเทือน

สัญญาณการสั่นสะเทือนที่วัดได้จากเครื่องจักรจะสามารถนำมาช่วยในการบ่งบอกถึงสภาพหรือข้อบกพร่องของเครื่องจักร พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวัดประกอบด้วย ความถี่ ขนาดของการสั่นสะเทือน มุมเฟส

2.5.2.1 ความถี่

ในที่นี้หมายถึงความถี่ของการสั่นสะเทือน ซึ่งหากพิจารณาสัญญาณการสั่นสะเทือนบนโดเมนเวลา ก็จะหมายถึงจำนวนรอบของการสั่นสะเทือนต่อหนึ่งหน่วยเวลา ซึ่งหน่วยที่นิยมใช้จะเป็น CPM (Cycle Per Minute) พารามิเตอร์ความถี่นี้จะเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญมากตัวหนึ่งในการบ่งบอกถึงสภาพความเสียหายได้ถ้าหากนำพารามิเตอร์นี้ไปใช้กับสัญญาณการสั่นสะเทือนบนโดเมนความถี่

2.5.2.2 ขนาดของการสั่นสะเทือน

เป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญอีกตัวหนึ่งที่ใช้บ่งบอกสภาพของเครื่องจักร โดยทั่วไปแล้วถ้าหากขนาดของการสั่นสะเทือนมีขนาดใหญ่ บ่งบอกถึงเครื่องจักรมีปัญหา ขนาดของการสั่นสะเทือนใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ปัจจุบันมีอยู่หลายชนิด ในที่นี้จะกล่าวถึงพารามิเตอร์หลักที่นิยมใช้ ได้แก่ การขจัดหรือระยะการเคลื่อนที่ (Displacement), ความเร็ว (Velocity), และอัตราเร่ง (Acceleration)

2.5.2.2.1 การขจัดหรือระยะการเคลื่อนที่

ระยะการเคลื่อนที่ของมวลจากจุดสมดุลหรือขนาด $x(t)$ ในผลเฉลยของการสั่นสะเทือนของระบบมวลเดี่ยว หรือในกรณีที่วัดค่าจากค่าสูงสุดไปยังค่าต่ำสุด (Peak to Peak) เป็นระยะทางทั้งหมดที่มวลเคลื่อนที่จากจุดสูงสุดไปสู่จุดต่ำสุดในแต่ละรอบ

2.5.2.2.2 ความเร็วของการสั่นสะเทือน

ความเร็วของการเคลื่อนที่กลับไปกลับมาของมวล มวลจะมีความเร็วเป็นศูนย์เมื่อมวลเคลื่อนที่อยู่ที่จุดสูงสุดและต่ำสุด และจะมีความเร็วสูงสุดในขณะที่มวลเคลื่อนที่ผ่านจุดสมดุล ค่าการขจัดจะสัมพันธ์กับค่าความเร็วเป็น

$$V = \frac{dx}{dt} \quad (2.5.1)$$

โดยที่ V คือ ค่าความเร็ว

2.5.2.2.3 อัตราเร่งในการสั่นสะเทือน

อัตราการเปลี่ยนแปลงความเร็วของการเคลื่อนที่กลับไปกลับมา จะมีค่าสูงสุดเมื่อมวลอยู่ในตำแหน่งสูงสุดและต่ำสุดจากจุดสมดุล

$$a = \frac{dv}{dt} \quad (2.5.2)$$

โดยที่ a คือ ค่าความเร่ง

จะพบว่าในกรณีของการสั่นสะเทือนของระบบมวลเดี่ยว ความสัมพันธ์ของการขจัด ความเร็ว และอัตราเร่ง สามารถเขียนได้ดังสมการ

$$x = X \sin \omega t \quad (2.5.3)$$

$$v = \omega X \sin(\omega t + \frac{\pi}{2}) \quad (2.5.4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาระดับปริญญาโทและปริญญาเอกในสาขาวิศวกรรมศาสตร์ (2.5.5)

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.5.2.3 มุมเฟส

เป็นค่าความแตกต่างของตำแหน่งส่วนที่มีการสั่นสะเทือน เมื่อเทียบกับจุดอ้างอิง มุมเฟสจะใช้เป็นข้อมูลบอกลักษณะการเคลื่อนที่บนตำแหน่งต่าง ๆ ของเครื่องจักรมีหน่วยเป็นองศา

2.5.3 การสั่นสะเทือนเนื่องจากแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุล

เมื่อป้อนจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับขดลวดสเตเตอร์ทั้ง 3 ชุด จะเกิดการเหนี่ยวนำให้เกิดฟลักซ์แม่เหล็กขึ้นและจะเหนี่ยวนำกระแสขึ้นในตัวนำโรเตอร์ ทำให้เกิดขั้วแม่เหล็กขึ้นที่โรเตอร์ เกิดการดูดและผลักสร้างแรงบิดทางไฟฟ้าขึ้นทำให้โรเตอร์เกิดการหมุน ฟลักซ์แม่เหล็กนี้จะเป็นสนามแม่เหล็กหมุน โดยจะหมุนเท่ากับความเร็วเชิงโคโรนัส ซึ่งจะมีค่ามากกว่าความเร็วโรเตอร์หมุน

จากที่กล่าวมาข้างต้น หากป้อนจ่ายแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลให้กับขดลวดสเตเตอร์ จะทำให้เกิดความไม่สมดุลของกระแสทั้ง 3 เฟส และทำให้สนามแม่เหล็กหมุนที่เกิดขึ้นไม่สม่ำเสมอ ส่งผลทำให้การเหนี่ยวนำกระแสที่โรเตอร์มีค่าเปลี่ยนไป ตลอดจนแรงบิดของโรเตอร์มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ทำให้การหมุนของโรเตอร์มีความผิดปกติเป็นแบบหน่วงและกระชาก มอเตอร์จึงเกิดการสั่นสะเทือนขึ้น

ซึ่งหากอยู่ในสภาวะสมดุลที่ป้อนจ่ายแรงดันไฟฟ้าเท่ากันทั้ง 3 เฟสให้กับมอเตอร์ เช่น ป้อนจ่ายแรงดันไฟฟ้า 220 โวลต์ เท่ากันทั้ง 3 เฟส จะทำให้แรงเคลื่อนแม่เหล็กของแต่ละเฟสที่เกิดขึ้นมีขนาดเท่ากัน และมีมุมเฟส (Phase shift) ต่างกัน 120 องศาไฟฟ้า

แต่หากป้อนจ่ายแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลให้กับมอเตอร์ คือ หากมีเฟสใดเฟสหนึ่งเกินกว่า หรือต่ำกว่าพิกัดแรงดันของมอเตอร์ จะทำให้แรงเคลื่อนแม่เหล็กของแต่ละเฟสที่เกิดขึ้นมีขนาดต่างกัน และมีมุมเฟสเปลี่ยนไปไม่เป็น 120 องศาไฟฟ้า ส่งผลให้สนามแม่เหล็กหมุนที่เกิดขึ้นไม่สม่ำเสมอ เนื่องจากสนามแม่เหล็กหมุนที่เกิดขึ้นจะมีผลของระบบไม่สมดุลลำดับลบ (Negative Sequence)

2.6 การตรวจจับการสั่นสะเทือน

2.6.1 วิธีการตรวจจับการสั่นสะเทือน

แบ่งได้เป็น 2 วิธี คือ

2.6.1.1 วิธีแบบสัมผัส (Touch)

โดยใช้การติดตั้งหัววัดสัมผัสโดยตรงกับตัวโครงของเครื่องจักร โดยหัววัดมี 3 แบบ คือ

1. หัววัดระยะการเคลื่อนที่ (Displacement)
2. หัววัดความเร็ว (Velocity)
3. หัววัดอัตราเร่ง (Accelerometer) โดยมีความสามารถในการตรวจจับการสั่นสะเทือนที่ยานความถี่ต่ำไปหาสูง

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตามลำดับ แล้วนำค่าความถี่ที่ได้จากการตรวจจับไปเทียบกับผังขอบเขตการสั่นสะเทือนมาตรฐาน ว่าอยู่ในขอบเขตที่ยอมรับได้หรือไม่

2.6.1.2 วิธีแบบไม่สัมผัส (Non-Touch)

เป็นวิธีที่ประยุกต์ขึ้นมาใหม่ โดยใช้การวัดค่าจากกระแสสแตเตอร์แล้วนำมาวิเคราะห์หาค่าความถี่ที่แฝงมากับความถี่หลัก เพื่อระบุถึงความผิดปกติที่เกิดขึ้นกับเครื่องจักรกล โดยไม่เป็นการรบกวน (Non-Intrusive) การทำงานของเครื่องจักร

2.6.2 การตรวจสอบความผิดปกติของเครื่องจักร

การตรวจสอบความผิดปกติของเครื่องจักร โดยไม่ต้องการรบกวนการทำงานของเครื่องจักร เริ่มต้นขึ้นเมื่อในปี 1970 Oak Ridge National Labs ในอเมริกา เป็นผู้ริเริ่มหาวิธีการในการตรวจสอบสภาพของกังหันรีแอกเตอร์ภายในโรงไฟฟ้านิวเคลียร์โดยไม่เป็นการรบกวนหรือสัมผัสกับโครงสร้างของเครื่องจักรและสามารถทำให้ทราบถึงความผิดปกติต่าง ๆ ของเครื่องจักรได้ในปี 2003 Dennis B., Jim C., Robert A. ได้นำเสนอมาตรฐานการสั่นสะเทือนของมอเตอร์เนื่องจากความผิดปกติของการเยื้องศูนย์, ลูกปืน, และโรเตอร์ ว่ามีความถี่เป็นอัตราส่วนเท่าไรกับความถี่หลักไว้ใน IEEE 841 Motor Vibration ในปีเดียวกัน William T. Thomson, Ronald J. Gilmore. ได้นำเสนออย่างละเอียดเฉพาะในส่วนความผิดปกติเนื่องจากความเสียหายของสเตเตอร์และโรเตอร์ พร้อมกับการเยื้องศูนย์ภายในช่องอากาศ และในปีเดียวกัน Voito Kokko. ได้นำเสนอความผิดปกติเนื่องจากความผิดปกติของสนามแม่เหล็กและฟลักซ์แม่เหล็กรั่วไหลของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ และในปี 2000 รัชต์ มั่งมีชัย ได้นำเสนอทำการทดสอบมอเตอร์เมื่อได้รับแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุล และสามารถบอกได้ว่าเมื่อมอเตอร์ได้รับแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลจะทำให้มอเตอร์มีพิกัดกำลังลดลงและมีผลทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นด้วย จากที่กล่าวมาข้างต้นไม่ได้บอกถึงผลของแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลทำให้มอเตอร์เกิดการสั่นสะเทือนขึ้นอย่างไร และอธิบายให้เข้าใจได้ว่าทำไมเมื่อมอเตอร์ได้รับแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลแล้วจึงเกิดการสั่นสะเทือนขึ้น วิทยานิพนธ์นี้จึงนำเสนอวิธีการวิเคราะห์แรงเคลื่อนแม่เหล็กเพื่อตรวจจับการสั่นสะเทือนเมื่อมอเตอร์ใช้งานสภาวะแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุล เพื่อช่วยอธิบายให้เข้าใจถึงพฤติกรรมการสั่นสะเทือนของมอเตอร์ว่าเกิดขึ้นได้อย่างไร เมื่อมอเตอร์ได้รับแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลและสามารถนำมาใช้ทดแทนการตรวจจับการสั่นสะเทือนจากหัววัดแบบเดิมได้

2.7 ปรากฏการณ์ฮอลล์ (Hall Effect)

ในปี ค.ศ. 1879 เอ็ดวิน ฮอลล์ (Edwin Hall) ได้ค้นพบปรากฏการณ์ฮอลล์ ปรากฏการณ์ดังกล่าวสามารถอธิบายได้ตามรูปที่ 2.12 ซึ่งในรูปแสดงถึงอุปกรณ์ที่เป็นสารกึ่งตัวนำชนิด N ที่มีความกว้าง w ยาว l และหนา t เมื่ออุปกรณ์ได้รับสนามไฟฟ้า E_e ในทิศทาง +X จะทำให้เกิดแรงกระทำ

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

กับประจุพาหะ สารกึ่งตัวนำชนิด N พาหะส่วนมากคืออิเล็กตรอนซึ่งมีประจุไฟฟ้าลบ เมื่อได้รับแรงกระทำอิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ด้วย “ความเร็วดริฟท์” (Drift velocity: V_D) ทิศทางจะตรงกันข้ามกับสนามไฟฟ้าคือทิศ $-x$ การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนนี้เองจะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้า I_x ไหลในทิศตรงข้ามกับการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน เมื่อให้สนามแม่เหล็ก B ในทิศทาง $+z$ และตั้งฉากกับทิศทางของกระแส I_x จะมีแรงมากกระทำต่อพาหะเพิ่มขึ้นอีกชนิดหนึ่งเรียกแรงชนิดนี้ว่า “แรงลอเรนซ์ (Lorentz Force: F)” ซึ่งมีทิศ $+y$ การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนจะเบี่ยงเบนทิศทางไปในทิศ $+y$ ขณะเดียวกันในทิศ $-y$ ของแผ่นอุปกรณ์จะปรากฏประจุไฟฟ้าตรงกันข้ามอีกชนิดหนึ่งก็คือ โฮล (hole) การรวมตัวกันของประจุลบทางด้าน $+y$ และประจุบวกทางด้าน $-y$ จะทำให้เกิดสนามไฟฟ้าขึ้นซึ่งเรียกว่า สนามไฟฟ้าฮอลล์ E_H มีทิศ $+y$ สนามไฟฟ้าฮอลล์ทำให้เกิดแรง F_E กระทำต่อพาหะในทิศทาง $-y$ เมื่อแรงที่กระทำต่อประจุทั้ง 2 แรงเท่ากันแล้วจะทำให้การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนมีทิศ $-x$ เช่นเดิม



รูปที่ 2.12 การเกิดปรากฏการณ์ฮอลล์ในสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น

(ที่มา : www.doi.nrct.go.th)

เมื่อทำการวัดแรงดันที่จุด X และ Y โดยต่อโวลต์มิเตอร์ดังรูปที่ 2.12 จะมีแรงดันค่าหนึ่งเรียกว่า “แรงดันฮอลล์” (Hall Voltage: V_H) ซึ่งจะสัมพันธ์กับสนามไฟฟ้าฮอลล์ที่เกิดตามสมการดังนี้

$$V_H = E_H W \quad (2.7.1)$$

โดยที่ W คือความกว้างของอุปกรณ์ดังรูปที่ 2.12 ในกรณีที่สารกึ่งตัวนำเป็นชนิดพี ทิศของ

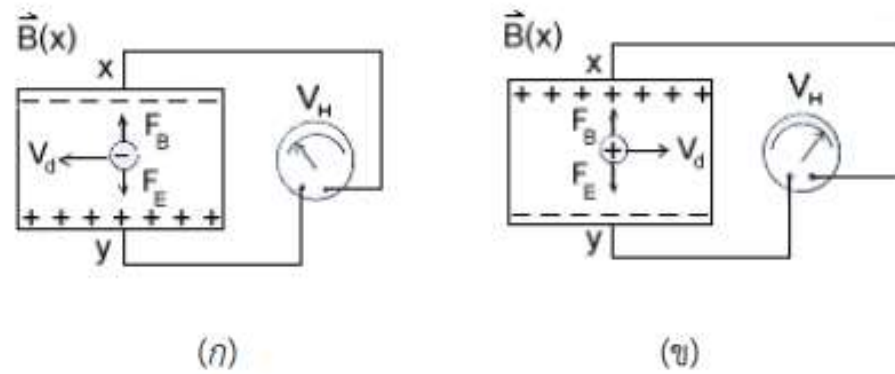
V_D และ E_H จะตรงกันข้ามกับในรูปที่ 2.13 (ก) แต่ทิศของ F_L กับ F_E ยังคงเดิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.13 การวัดแรงฮอลล์ที่เกิดในสารกึ่งตัวนำ

(ที่มา : <http://web.ku.ac.th/schoolnet/snet3/saowalak/hall/hall.htm>)

พิจารณาสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นขณะที่แรงลอเรนซ์และแรงทางไฟฟ้าเท่ากันแล้วนั้นจะได้ว่า

$$(-e)E_H = (-e)V_d B$$

$$E_H = (-e)V_d B \quad (2.7.2)$$

จากสมการที่ 2.7.2

$$V_H = E_H W$$

$$V_H = V_d B w \quad (2.7.3)$$

เนื่องจากความเร็วดริฟ V_d มีค่า

$$V_d = \frac{I}{neA} \quad (2.7.4)$$

โดยที่ n คือจำนวนพาหะประจุต่อลูกบาศก์เมตร หรือความหนาแน่นของประจุ

A คือ พื้นที่ของแผ่นตัวนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

แทนสมการ 2.7.4 ลงในสมการ 2.7.3 จะได้

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

$$V_H = \frac{IBw}{neA} \quad (2.7.5)$$

เนื่องจาก $t = \frac{A}{W}$ = คือความหนาของแผ่นตัวนำดังนั้น

$$V_H = \frac{IB}{net} \quad (2.7.6)$$

จะได้ว่าความหนาแน่นสนามแม่เหล็กเป็นไปตามสมการดังนี้

$$V = netB_H(I)^{-1} \quad (2.7.7)$$

ค่า n ขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุที่ใช้ทำอุปกรณ์ จากการศึกษาพบสารกึ่งตัวนำมี $n \approx 10^{22} \text{ m}^{-3}$ และ ความเข้มของสนามแม่เหล็กมีหน่วยในระบบเอสไอเป็นเทสลา (tesla) แทนด้วยสัญลักษณ์ T หน่วยเดิมของความเข้มของสนามแม่เหล็กคือ เกาส์ (gauss) แทนด้วยสัญลักษณ์ G โดยที่ $1\text{T} = 10^4\text{G}$

2.8 Accelerometers

Accelerometers เป็นอุปกรณ์ที่ใช้วัดความเร่งซึ่งเป็นอัตราการเปลี่ยนแปลงความเร็วของวัตถุ หน่วยวัดเป็นเมตรต่อวินาทีกำลังสอง (m/s^2) หรือเป็น G-forces (g) โดยที่ G-force เดียวสำหรับเราที่นบนโลกเทียบเท่ากับ 9.8 m/s^2 แต่สิ่งนี้จะแตกต่างกันเล็กน้อยตามระดับความสูง (และจะเป็นค่าที่แตกต่างกันบนดาวเคราะห์ต่าง ๆ เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของแรงดึงดูด Accelerometers มีประโยชน์สำหรับการตรวจจับการสั่นสะเทือนในระบบหรือสำหรับการใช้งาน

หลักการทำงานของ Accelerometers

Accelerometers เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่รับรู้ถึงแรงคงที่หรือไดนามิกของการเร่งความเร็ว แรงคงที่รวมถึงแรงโน้มถ่วงในขณะที่แรงไดนามิกอาจรวมถึงการสั่นสะเทือนและการเคลื่อนที่

Accelerometers สามารถวัดความเร่งได้ในหนึ่งแกน สองแกน หรือ สามแกน การวัดความเร่งสามแกนกลายเป็นเรื่องธรรมดามากขึ้นเมื่อต้นทุนในการพัฒนาลดลง

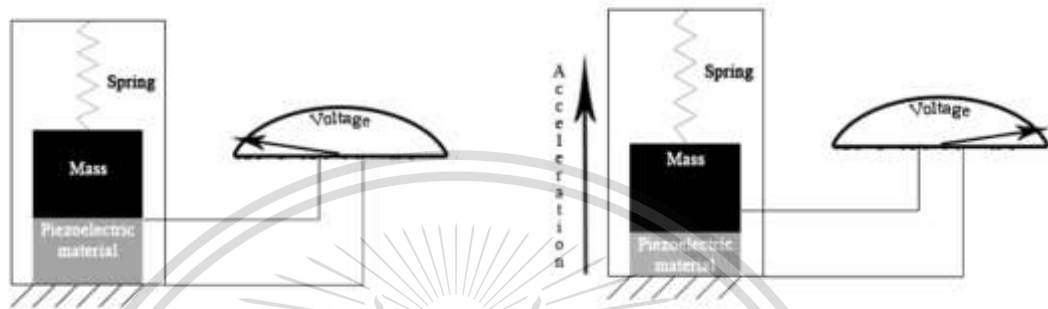
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่โดยทั่วไปแล้ว accelerometers จะมีแผ่นคาปาซิทีฟอยู่ภายใน บางส่วนได้รับการแก้ไขในกรณีที่บางส่วนติดอยู่กับสปริงขนาดเล็กที่เคลื่อนที่ภายในเมื่อแรงกระทำกับเซ็นเซอร์ เมื่อแผ่น

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

คาปาซิทีฟเคลื่อนที่โดยสัมพันธ์กันความจุระหว่างกันจะเปลี่ยนไปจากการเปลี่ยนแปลงความจุเหล่านี้ โดยสามารถกำหนดความเร่งได้

เครื่องวัดความเร่งอื่น ๆ สามารถอยู่กึ่งกลางรอบวัสดุเพียโซอิเล็กทริก โครงสร้างผลึกเล็ก ๆ เหล่านี้จะปล่อยประจุไฟฟ้าออกมาเมื่ออยู่ภายใต้ความเค้นเชิงกล (เช่นความเร่ง)



รูปที่ 2.14 การทำงานของ Accelerometer

(ที่มา : <https://learn.sparkfun.com/tutorials/accelerometer-basics/all>)

2.9 การวิเคราะห์สัญญาณโดยทฤษฎีฟูรีเยร์ (Fourier)

ในทาง Signal Processing นอกจากจะสนใจสัญญาณในโดเมนเวลา (Time Domain) แล้ว ยังต้องศึกษาถึงสัญญาณในโดเมนความถี่ (Frequency Domain) หรือสเปกตรัมความถี่ (Frequency Spectrum) ของสัญญาณด้วย ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการวิเคราะห์สัญญาณด้วยทฤษฎีของฟูรีเยร์ ซึ่งแบ่งได้เป็น 2 ลักษณะ คือ อนุกรมฟูรีเยร์ (Fourier Series) และการแปลงฟูรีเยร์ (Fourier Transform) ซึ่งโดยทั่วไปอนุกรมฟูรีเยร์ (Fourier Series) ใช้ในการวิเคราะห์สัญญาณรายคาบและการแปลงฟูรีเยร์ (Fourier Transforms) ใช้ในการวิเคราะห์สัญญาณที่ไม่เป็นรายคาบ

กำหนดให้ $S_p(t)$ = สัญญาณรายคาบที่มีเวลา T , (p แทน periodic)

$s(t)$ = สัญญาณที่ไม่เป็นรายคาบ

ใช้อักษรตัวเล็กในโดเมนเวลา เช่น $s_p(t)$ หรือ $s(t)$ ใช้อักษรตัวใหญ่ในโดเมนความถี่ เช่น $S_p(f)$ หรือ $S(f)$

2.9.1 อนุกรมฟูรีเยร์ (Fourier Series)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ให้ $S_p(t)$ เป็น periodic signal ที่มี period = T_0 สัญญาณ $S_p(t)$ นี้สามารถแทนได้ ไม่ว่าจะถี่ใดสูงทั้งสี่ อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ ด้วยผลรวมของ sine และ cosine ดังนี้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

$$s_p(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} [a_n \cos\left(\frac{2\pi n t}{T_0}\right) + b_n \sin\left(\frac{2\pi n t}{T_0}\right)] \quad (2.9.1)$$

$$\text{โดยที่ } a_0 = \frac{1}{T_0} \int_{-T_0/2}^{T_0/2} s_p(t) dt \quad (2.9.2)$$

$$a_n = \frac{1}{T_0} \int_{-T_0/2}^{T_0/2} s_p(t) \cos\left(\frac{2\pi n t}{T_0}\right) dt, n = 1, 2, \dots \quad (2.9.3)$$

$$b_n = \frac{1}{T_0} \int_{-T_0/2}^{T_0/2} s_p(t) \sin\left(\frac{2\pi n t}{T_0}\right) dt, n = 1, 2, \dots \quad (2.9.4)$$

อนุกรมฟูรีเยร์ (Fourier Series) ในสมการ (2.9.1) นั้น สามารถทำให้อยู่ในรูปง่ายขึ้นในรูปของ Complex Exponential ด้วยได้

$$\cos\left(\frac{2\pi n t}{T_0}\right) = \frac{1}{2} \left[\exp\left(\frac{j2\pi n t}{T_0}\right) + \exp\left(\frac{-j2\pi n t}{T_0}\right) \right] \quad (2.9.5)$$

$$\sin\left(\frac{2\pi n t}{T_0}\right) = \frac{1}{2j} \left[\exp\left(\frac{j2\pi n t}{T_0}\right) - \exp\left(\frac{-j2\pi n t}{T_0}\right) \right] \quad (2.9.6)$$

โดยแทนสมการ (2.9.5) , (2.9.6) ลงใน (2.9.1) และจัดรูปใหม่ได้ดังสมการ (2.9.7)

$$s_p(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} [(a_n - jb_n) \exp\left(\frac{j2\pi n t}{T_0}\right) + (a_n + jb_n) \exp\left(\frac{-j2\pi n t}{T_0}\right)] \quad (2.9.7)$$

$$\text{หรือ} \quad s_p(t) = a_0 + \sum_{n=-\infty}^{\infty} c_n \exp\left(\frac{j2\pi n t}{T_0}\right) \quad (2.9.8)$$

$$\text{โดยที่} \quad c_n = \frac{1}{T_0} \int_{-T_0/2}^{T_0/2} s_p(t) \exp\left(\frac{-j2\pi n t}{T_0}\right) dt, n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$$

2.9.2 การแปลงฟูรีเยร์ (Fourier Transform)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่วางไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ถ้า Periodic Signal มี $T_0 \rightarrow \infty$ จะกลายเป็น Non-periodic Signal

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$s(t) = \lim_{T_0 \rightarrow \infty} s_p(t)$$

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

$$\text{จาก } s_p(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} c_n \exp\left(\frac{j2\pi n t}{T_0}\right) s_p(t)$$

ถ้ากำหนดให้ $\Delta f = 1/T_0$, $f_n = n/T_0$ และ $s(f_n) = C_n T_0$ จะได้

$$s_p(t) \rightarrow s(t) = \int_{-\infty}^{\infty} (f) \exp(j2\pi f t) df$$

$$S(f) = \int_{-\infty}^{\infty} S(t) \exp(-j2\pi f t) dt \quad (2.9.10)$$

ข้อสังเกต

1. Frequency-domain \rightarrow ตัวอักษรใหญ่

Time domain \rightarrow ตัวอักษรเล็ก

2. จาก $S(f) \rightarrow s(t)$ และ $S(f)$ คือ Fourier Transform ของ $s(t)$

3. จาก $s(t) \rightarrow S(f)$ และ $s(t)$ คือ Inverse Fourier transforms ของ $S(f)$

“ $s(t)$ และ $S(f)$ คือ Fourier Transform Pair”

4. ความสัมพันธ์ระหว่าง Laplace Transform กับ Fourier Transform

Fourier Transform คือ $S(f) = \int_{-\infty}^{\infty} S(t) \exp(-j2\pi f t) dt$

Laplace Transform คือ $S(s) = \int_{-\infty}^{\infty} S(t) \exp(-st) dt$

โดยที่ $s = \sigma + j\omega$

จะเห็นได้ว่า Fourier Transform อาจหาได้จาก Laplace Transform โดยให้

$$s = j\omega = 2\pi$$

โดยทั่วไปแล้ว Fourier Transform เพียงพอต่อการวิเคราะห์ในโดเมนความถี่ เช่นใน วิชา ด้านการสื่อสาร ซึ่งสนใจเฉพาะช่วงสภาวะคงที่ (Steady state) แต่ Laplace Transform นั้นจะใช้ ในการวิเคราะห์ในช่วงชั่วขณะ (Transient) มาเกี่ยวข้องด้วย

2.10 การแปลงฟูเรียร์อย่างรวดเร็ว (Fast Fourier Transform : FFT)

จุดมุ่งหมายของ FFT ก็เพื่อลดเวลาการคำนวณของคอมพิวเตอร์ลง โดยใช้ข้อดีของการ

คำนวณสัมประสิทธิ์ของ DFT ที่สามารถกระทำได้ในลักษณะซ้ำ (Iterative Manner) ดังนั้นจึงช่วย

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ลดเวลาในการคำนวณ วิธีการของ FFT คือ การจัดแบ่งแล้วทำการคำนวณ (Divide and Conquer) และจะให้จำนวนข้อมูล N เป็นค่า 2 ยกกำลัง M ($N = 2^M$) โดย M เป็นจำนวนเต็มบวก

ถ้าเปรียบเทียบการคำนวณ DFT จะมี

การคูณจำนวนเชิงซ้อน = N^2 ครั้ง หรือความซับซ้อน $O(N^2)$

การบวกจำนวนเชิงซ้อน = $N(N-1)$ ครั้ง หรือความซับซ้อน $O(N \log_2 N)$ ในขณะที่การคำนวณแบบ FFT จะมี

การคูณจำนวนเชิงซ้อน = N ครั้ง หรือความซับซ้อน $O(N \log_2 N)$

การบวกจำนวนเชิงซ้อน = $N \log_2 N$ ครั้ง หรือความซับซ้อน $O(N \log_2 N)$

2.11 การคำนวณ FFT ใน MATLAB

MATLAB มีฟังก์ชัน FFT ที่สามารถนำมาใช้ในการคำนวณได้เลย โดยมีรูปแบบคือ

2.11.1 แบบ 1 อาร์กิวเมนต์

รูปแบบคือ $y = \text{fft}(x)$

X คือ Input Argument และเป็นเวกเตอร์ที่แทนจุดของสัญญาณใน Time Domain

y คือ Output Argument และเป็นเวกเตอร์ขนาดเดียวกันที่มีค่า Complex ที่แทนถึง Frequency Domain Content ของสัญญาณอินพุต

ถ้าจำนวนค่าของสัญญาณ ใน Time Domain เป็นค่ายกกำลัง 2, MATLAB ใช้ FFT Algorithm ในการคำนวณ

ถ้าจำนวนค่าของสัญญาณ ใน Time Domain ไม่เป็นค่ายกกำลัง 2, MATLAB ใช้ DFT Algorithm ในการคำนวณ

2.11.2 แบบ 2 อาร์กิวเมนต์

รูปแบบคือ $y = \text{fft}(x, L)$

X คือ Input Argument และเป็นเวกเตอร์ที่แทนจุดของสัญญาณใน Time Domain

L คือ Input Argument เป็นจำนวนเต็มซึ่งแสดงถึงจำนวนจุดสำหรับเวกเตอร์ เอาท์พุท

y คือ Output Argument และเป็นเวกเตอร์ที่มีค่า Complex ที่แทนถึง Frequency Domain Content ของสัญญาณ Input L และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

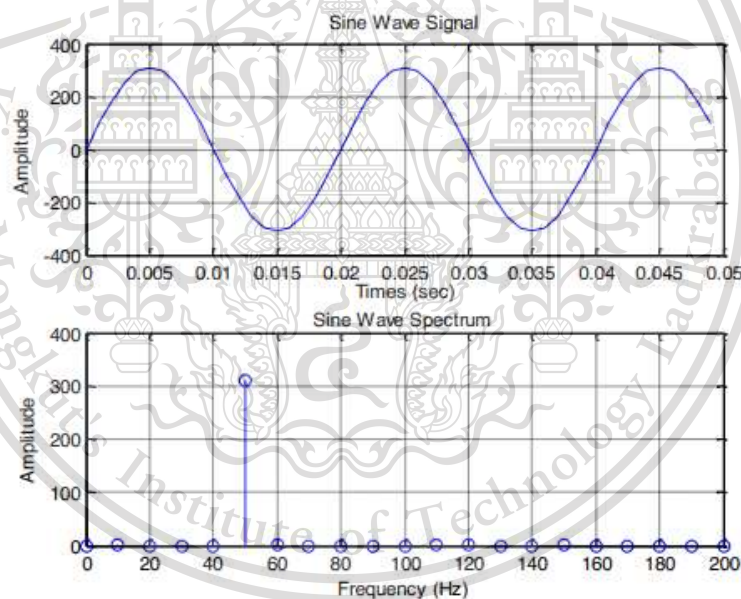
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ถ้าค่า L มีค่าเป็นยกกำลัง 2 MATLAB ใช้ FFT Algorithm ในการคำนวณ

ถ้าค่า L มีค่าไม่เป็นยกกำลัง 2 MATLAB ใช้ DFT Algorithm ในการคำนวณ

2.12 การวิเคราะห์สเปกตรัม (Spectrum Analysis)

สัญญาณการสั่นสะเทือนจะเป็นสัญญาณฮาร์มอนิกซึ่งเป็นไปตามลักษณะของแรงที่มากระตุ้นซึ่งเป็นแบบฮาร์มอนิกด้วย และเป็นสัญญาณที่ถูกแสดงอยู่บนโดเมนเวลา การวินิจฉัยสภาพหรือข้อบกพร่องของเครื่องจักรจะได้รับการพิจารณาขนาดของการสั่นสะเทือนเพียงอย่างเดียวถ้าหากแรงที่มากระตุ้นไม่อยู่ในรูปของสัญญาณฮาร์มอนิกแต่เป็นสัญญาณลักษณะคาบแล้ว ในการวิเคราะห์จำเป็นต้องใช้วิธีการที่จะแปลงสัญญาณลักษณะเป็นคาบออกมาเป็นสัญญาณเพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์โดยใช้การแปลงแบบฟูเรียร์ และเมื่อได้ข้อมูลหรือผลเฉลยซึ่งประกอบด้วยสัญญาณ การสั่นสะเทือนที่ความถี่ต่าง ๆ กัน ก็จะสามารถวินิจฉัยได้ละเอียดขึ้นถึงสาเหตุของการผิดปกติได้



รูปที่ 2.15 การแปลงสัญญาณรูปคลื่นไซน์จากโดเมนเวลาไปเป็นสัญญาณบนโดเมนความถี่

(ที่มา : ปริญญาณีพนธ์ เรื่อง การวิเคราะห์แรงเคลื่อนแม่เหล็กเพื่อตรวจจับการสั่นสะเทือนของมอเตอร์ในสภาวะแรงดันไฟฟ้าไม่สมบูรณ์)

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในเรื่อง Signal Processing และการนำหลักการแปลงฟูเรียร์มาใช้แปลง
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดก็ตาม กรุณาแจ้งให้ทราบก่อน และต้องอ้างอิงถึงชื่อของเอกสารทุกครั้งที่ยกขึ้นมาไปใช้
วิเคราะห์สเปกตรัม คือ การวิเคราะห์สัญญาณบนโดเมนความถี่ ซึ่งการวิเคราะห์ลักษณะนี้หาก

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

นำมาใช้กับเครื่องจักรจะให้ข้อมูลของการสั่นสะเทือนได้มากกว่าข้อมูลจากการวิเคราะห์สัญญาณ บนโดเมนเวลา เพื่อเป็นการทำความเข้าใจให้ดีขึ้นสำหรับการวิเคราะห์แบบสเปกตรัมนี้สัญญาณ รูปคลื่นไซน์บนโดเมนเวลาจะถูกพิจารณาเป็นกรณีแรก สัญญาณนี้จะมีค่าความถี่ค่าเดียวซึ่งก็คือ 50 Hz ดังนั้นเมื่อแปลงสัญญาณดังกล่าวนี้ไปเป็นสัญญาณบนโดเมนความถี่ก็จะมีสัญญาณเพียงค่าเดียว (50 เฮิร์ต) บนแกนความถี่ แสดงดังรูปที่ 2.16

$$v(t) = v_m \sin(\omega t) \quad (2.12.1)$$

$$v_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T v^2(t) dt} = \frac{v_m}{\sqrt{2}} \quad (2.12.2)$$

โดยที่ $v(t)$ คือ แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เวลาใด ๆ

v_m คือ แรงเคลื่อนไฟฟ้าสูงสุดในวงจร

v_{rms} คือ ค่าเฉลี่ยกำลังสองหรือค่าประสิทธิภาพของแรงดันไฟฟ้า

ในกรณีที่สองเมื่อสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่มีความถี่ 50Hz เขียนบนโดเมนเวลา เมื่อใช้การแปลงแบบฟูเรียร์ (Fourier Transform) ค่าสัญญาณแบบเป็นคาบนี้จะสามารถถูกเขียนเป็นสัญญาณแบบฮาร์มอนิกได้หลายความถี่ โดยในแต่ละความถี่จะมีขนาดต่างกัน แสดงดังรูปที่ 2.17

$$v(t) = \frac{4v_{dc}}{\pi} \left[\sin(\omega t) + \frac{1}{3} \sin(3\omega t) + \frac{1}{5} \sin(5\omega t) + \dots \right] \quad (2.12.3)$$

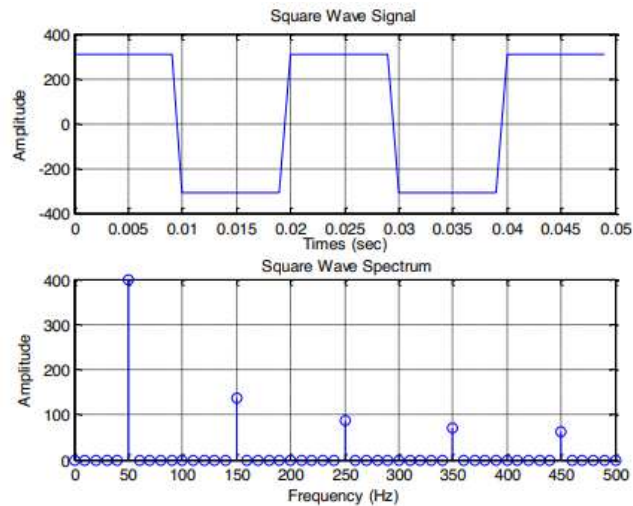
$$v_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T v^2(t) dt} = v_{dc} \quad (2.12.4)$$

โดยที่ v_{dc} คือ แรงดันไฟฟ้าสูงสุดของลูกคลื่นสี่เหลี่ยม

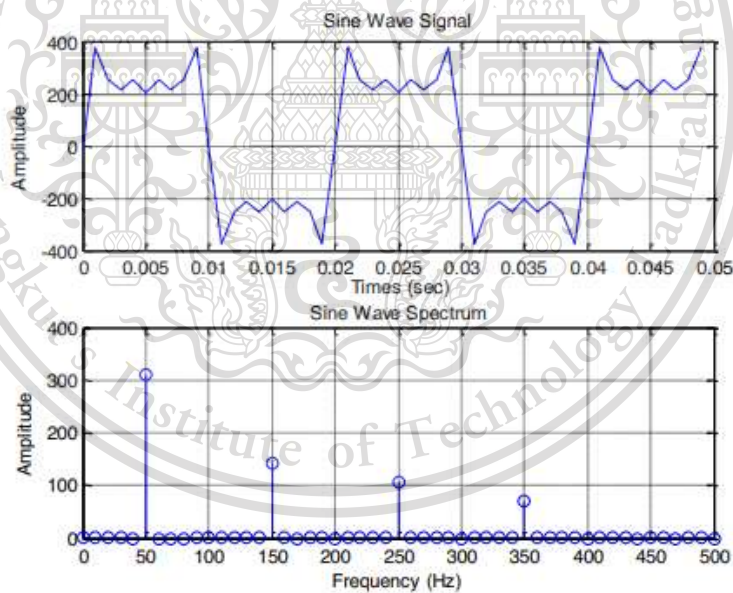
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.16 การแปลงสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยมจากโดเมนเวลาเป็นสัญญาณบนโดเมนความถี่
(ที่มา : ปริชญานีพนธ์ เรื่อง การวิเคราะห์แรงเคลื่อนแม่เหล็กเพื่อตรวจจับการสั่นสะเทือนของ
มอเตอร์ในสถานะแรงดันไฟฟ้าไม่สมบรูณ์)



รูปที่ 2.17 การแปลงสัญญาณที่ประกอบด้วยสัญญาณไซน์ที่มีความถี่ 50 , 150 , 250 , 350 Hz
จากโดเมนเวลาเป็นสัญญาณบนโดเมนความถี่

(ที่มา : ปริชญานีพนธ์ เรื่อง การวิเคราะห์แรงเคลื่อนแม่เหล็กเพื่อตรวจจับการสั่นสะเทือนของ
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกา มอเตอร์ในสถานะแรงดันไฟฟ้าไม่สมบรูณ์) ตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

$$v(t) = v_m \sin(\omega t) + \frac{v_m}{3} \sin(3\omega t) + \frac{v_m}{5} \sin(5\omega t) + \frac{v_m}{7} \sin(7\omega t) \quad (2.12.5)$$

ในกรณีที่สาม เมื่อสัญญาณที่ประกอบด้วยสัญญาณไซน์ที่มีความถี่ 50, 150, 250, 350 Hz เขียนบนโดเมนเวลาเมื่อใช้การแปลงแบบฟูเรียร์ (Fourier Transform) ค่าสัญญาณแบบเป็นคาบนี้จะสามารถถูกเขียนเป็นสัญญาณแบบฮาร์มอนิกได้ที่ความถี่ 50, 150, 250, 350 Hz โดยในแต่ละความถี่จะมีขนาดต่างกัน ดังรูปที่ 2.17

เมื่อนำการวิเคราะห์แบบสเปกตรัมมาใช้กับสัญญาณการสั่นสะเทือนที่วัดได้จากเครื่องจักร ก็จะทำให้ได้ข้อมูลในการบอกว่าขนาดการสั่นสะเทือนซึ่งถูกแสดงในรูปแบบของค่ารวม (Overall Values) โดยจะมีค่าเป็นตัวเลขค่าหนึ่งนั้น แท้จริงแล้วจะประกอบด้วยสัญญาณการสั่นสะเทือนที่มีขนาดต่าง ๆ กันอยู่ที่แต่ละความถี่ ซึ่งที่บางความถี่ขนาดของสัญญาณการสั่นสะเทือนจะมีค่ามากที่บางความถี่ขนาดของสัญญาณการสั่นสะเทือนจะมีค่าน้อย จุดที่สัญญาณการสั่นสะเทือนมีค่ามากมักเป็นตัวบ่งบอกว่าถ้ามีปัญหาเกิดขึ้นก็จะเกิดจากชิ้นส่วนที่ทำงานเกี่ยวข้องกับค่าความถี่นั้น การวิเคราะห์การสั่นสะเทือนแบบรวม (Overall Vibration) จะเป็นการบอกลักษณะทั่วไปถึงขนาดการสั่นสะเทือนว่ามีขนาดอยู่ในเกณฑ์ที่จะยอมรับได้หรือไม่เท่านั้น แต่การวิเคราะห์แบบสเปกตรัมจะบอกถึงค่าความถี่ใดมีขนาดการสั่นสะเทือนผิดปกติจากข้อมูลเหล่านี้มักจะสามารถนำไปวิเคราะห์หาสาเหตุของการเกิดการสั่นสะเทือนได้ ดังนั้นการวิเคราะห์แบบสเปกตรัมจึงให้ข้อมูลที่ละเอียดกว่าและมีความสามารถในการบ่งบอกสาเหตุการเกิดการสั่นสะเทือนได้มากกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

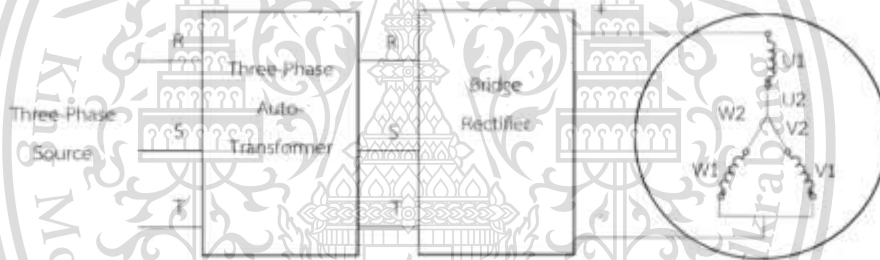
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 3

วิธีการทดลอง

3.1 การหาตำแหน่งขดลวดเฟส A , B และ C ด้วยการ ใช้ search coil

โดยในการเกิดสนามแม่เหล็กหมุนในเครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำ เมื่อทำการป้อนไฟฟ้า กระแสสลับสามเฟสเข้าที่ขดลวดอาร์มาเจอร์ของเครื่องจักรกลไฟฟ้า จะส่งผลให้แกนของขดลวดแต่ละเฟสมีค่าต่างกัน 120 องศาทางไฟฟ้า จึงทำการจำลองค่ากระแสที่ 0 องศา 120 องศา และ 240 องศา โดยการต่อขดลวดเฟส A B และ C เข้าวงจรเรียงกระแส (Bridge rectifier) ดังรูปที่ 3.1 จากนั้นสามารถหาตำแหน่งแกนขดลวดของเฟส A B และ C โดยใช้เข็มทิศเพื่อหาทิศทางฟลักซ์แม่เหล็ก ดังรูปที่ 3.2 เมื่อกำหนดให้ค่ากระแสสูงสุดของเฟส A อยู่ที่ตำแหน่ง 0 องศา จากผลการทดสอบจะพบว่าค่ากระแสสูงสุดของเฟส B และ C จะอยู่ห่างออกไป 120 องศาและ 240 องศา ตามลำดับ



รูปที่ 3.1 การต่อวงจรทดลอง



รูปที่ 3.2 การชี้ของเข็มทิศในการหาตำแหน่งขดลวด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

อุปกรณ์การทดลอง

1. Stator of 3-Phase Induction Motor 1 HP
2. Multi-meter
3. Junction box
4. เข็มทิศ
5. 3-Phase auto transformer
6. Bridge rectifier

ขั้นตอนการทดลอง

1. เชื่อมต่อวงจรมอเตอร์เหนี่ยวนำกับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับที่เชื่อมต่ออยู่กับ วงจรเรียงกระแส (Bridge rectifier) ตามรูปที่ 3.1
2. ทำการใช้เข็มทิศค้นหาตำแหน่งของขดลวดเฟส A , เฟส B, และ เฟส C ดังรูปที่ 3.2
3. ตรวจสอบความถูกต้องของตำแหน่งของขดลวดเฟส A , เฟส B, และ เฟส C โดยใช้ Search coil

3.2 การทดสอบสนามแม่เหล็กโดยใช้ Hall sensor ของมอเตอร์ที่สภาวะ No-load

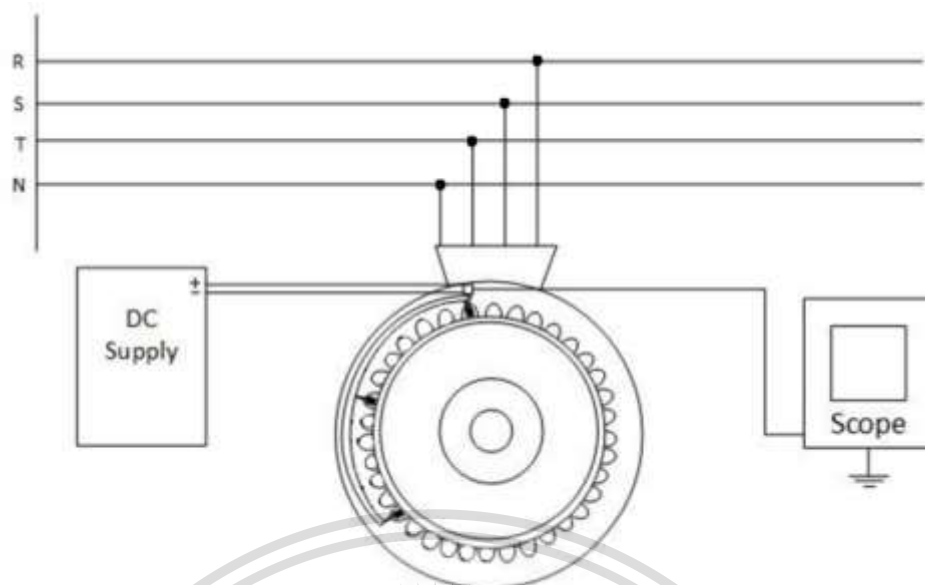
ทำการทดลอง No-load test โดยการทดสอบมอเตอร์ ขณะที่มอเตอร์ไม่มีการรับภาระทางกล ดังรูปที่ 3.3



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรนำเอกสารนี้ไปใช้ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงรูปที่ 3.3 มอเตอร์ที่สภาวะ No-load งดเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.4 วงจรการทดสอบสนามแม่เหล็กขณะมอเตอร์ทำงาน

อุปกรณ์การทดลอง

1. DC power supply
2. 3-Phase Variac
3. 3-Phase Induction Motor 1 HP
4. Oscilloscope
5. Junction box
6. Multi-meter
7. Voltage probe
8. Current probe

ขั้นตอนการทดลอง

1. ทำการหาค่าพารามิเตอร์โดยวิธี VI method , No-load test และ Block rotor test
2. ติดตั้ง Hall sensor เข้าไปใน Induction motor และ ต่่วงจรตามรูปที่ 3.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

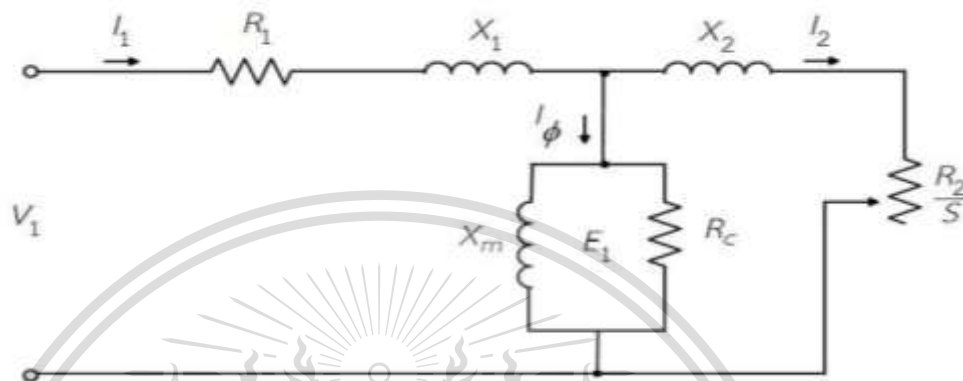
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.2.1 การหาค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์

การหาค่าพารามิเตอร์

จากรูปวงจรสมมูลทางไฟฟ้าต่อเฟสของมอเตอร์เหนี่ยวนำ รูปที่ 3.5 สามารถหาค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์ได้โดยวิธีการทดลอง VI Method, No-load test และ Block rotor test



รูปที่ 3.5 วงจรสมมูลทางไฟฟ้าต่อเฟสของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

เมื่อ V_1	คือค่าแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนเข้าต่อเฟส
i_1	คือค่ากระแสไฟฟ้าที่สเตเตอร์ต่อเฟส
R_1	คือค่าความต้านทานสเตเตอร์
R_2	คือค่าความต้านทานโรเตอร์
X_1	คือค่า Reactance รั่วไหลที่สเตเตอร์
X_2	คือค่า Reactance รั่วไหลที่โรเตอร์
X_m	คือค่า Reactance สนามแม่เหล็ก
R_c	คือค่าความต้านทานที่สูญเสียในแกนเหล็ก

3.2.1.1 VI Method

การทำ IV Method เป็นเทคนิคการหาค่าความต้านทานที่มีค่าต่ำของขดลวดของมอเตอร์ ซึ่งจะใช้หาค่าความต้านทานของ stator resistance โดยทำการป้อนแรงดันกระแสตรง เพื่อหาค่าแรงดัน (V) กระแส (I) นำมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับกระแส ซึ่งค่า Slope ของกราฟเป็นค่าความต้านทานของสเตเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.2.1.2 No-load test

เป็นการทดสอบเพื่อหาค่า R_c และ jX_m โดยการป้อนแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่พิกัดขณะมอเตอร์ไม่มีภาระทางกลทำการบันทึกค่า No-load phase input voltage (v_0) และ No-load phase input current (i_0) และมุมระหว่าง (v_0) กับ (i_0) ซึ่งสามารถคำนวณหาค่า R_c และ jX_m ได้จาก

$$R_c = \frac{V_0}{I_0 \cos \phi_0} \quad (3.3.1)$$

และ

$$X_m = \frac{V_0}{I_0 \sin \phi_0} \quad (3.3.2)$$

3.2.1.3 Block-rotor test

เป็นการทดสอบเพื่อหาค่า $R_1 + R_2$ และ $X_1 + X_2$ โดยการยึดตัวโรเตอร์ให้อยู่กับที่แล้วค่อยๆปรับเพิ่มแรงดันไฟฟ้าจนกระแสที่ป้อนเข้าเท่ากับค่าพิกัดแล้วบันทึกค่า Block-rotor phase input voltage (v_b) , Block rotor phase input current (i_b) ซึ่งนำไปคำนวณหาค่า $R_1 + R_2$ และ $X_1 + X_2$ ได้จาก

$$\begin{aligned} Z_b &= \frac{V_b \angle \theta_v^\circ}{I_b \angle \theta_i^\circ} \\ &= R_b + jX_b \end{aligned} \quad (3.3.3)$$

ซึ่งค่า R_b และ X_b สามารถแยกได้เป็น

$$R_b = R_1 + R_2 \quad (3.3.4)$$

และ

$$X_b = X_1 + X_2 \quad (3.3.5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.3 การทดสอบสนามแม่เหล็กโดยใช้ Hall sensor ของมอเตอร์ที่สภาวะ Balance และ Unbalance ทางกล

3.3.1 การทดสอบสนามแม่เหล็กโดยใช้ Hall sensor ของมอเตอร์ที่สภาวะ Balance ทางกล

ทำการทดสอบมอเตอร์ที่สภาวะ balance ทางกล สามารถทำได้โดยการใส่จานหมุนลงบนเพลาเพื่อให้มอเตอร์เกิดการสมดุลทางกล ดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 มอเตอร์ที่สภาวะ Balance ทางกล

ขั้นตอนการทดลอง

1. ต่อดวงจรเหมือนการทดลอง No-load แต่เพิ่มจานหมุน เพื่อให้เป็นโหลด Balance ทางกล ตามรูปที่ 3.6
2. จ่ายแรงดัน DC 5V เข้าฮอลล์เซ็นเซอร์ ป้อนแรงดัน 3 เฟสเข้ามอเตอร์ โดยทำการป้อนแรงดันทีละ 20 V จนถึง 220 V วัดค่าแรงดันฮอลล์เซ็นเซอร์แต่ละตัวที่ได้จากออสซิลอโคปและกระแสไฟฟ้า พร้อมทั้งบันทึกค่าลงตาราง

3.3.2 การทดสอบสนามแม่เหล็กโดยใช้ Hall sensor ของมอเตอร์ที่สภาวะ Unbalance ทางกล

ทำการทดสอบมอเตอร์ที่สภาวะ Unbalance ทางกล โดยใช้ล้อใส่ลงบนจานหมุน ทำให้เกิดการเสียสมดุลทางกลของมอเตอร์ ดังรูปที่ 3.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

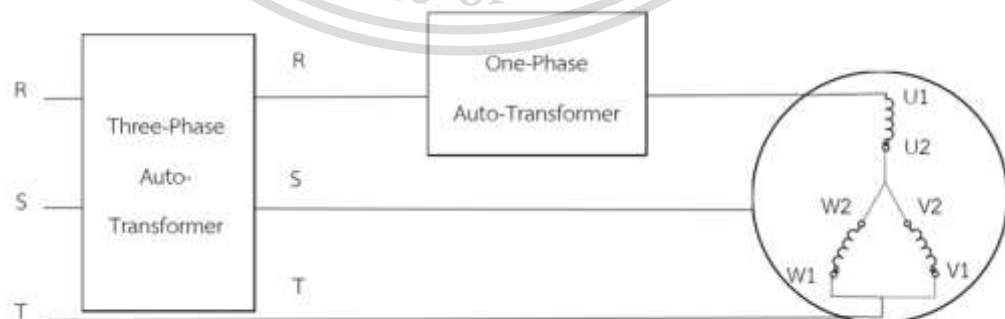


รูปที่ 3.7 มอเตอร์ที่สภาวะ Unbalance ทางกล

ขั้นตอนการทดลอง

1. ต่อดวงจรเหมือนการทดลอง Balance แต่ใส่น็อตเพิ่มลงบนจานหมุน เพื่อทำให้เป็นโหลด Unbalance ทางกล ตามรูปที่ 3.7
2. จ่ายแรงดัน DC 5V เข้าฮอลล์เซ็นเซอร์ ป้อนแรงดัน 3 เฟสเข้ามอเตอร์ โดยทำการป้อนแรงดันทีละ 20 V จนถึง 220 V วัดค่าแรงดันฮอลล์เซ็นเซอร์แต่ละตัวที่ได้จากออสซิลอโคปและกระแสไฟฟ้า พร้อมทั้งบันทึกค่าลงตาราง
3. เปรียบเทียบค่าแรงดัน Hall sensor ระหว่างสภาวะ Balance และ Unbalance ทางกล

3.4 การทดสอบสนามแม่เหล็กโดยใช้ Hall sensor ของมอเตอร์ที่สภาวะ Balance และ Unbalance ทางไฟฟ้า



รูปที่ 3.8 วงจรการทดสอบมอเตอร์ที่สภาวะ Balance และ Unbalance ทางไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น มิใช่เพื่อเผยแพร่สู่สาธารณะหรือใช้เพื่อประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.9 รูปการทดสอบมอเตอร์ที่สภาวะ Balance และ Unbalance ทางไฟฟ้า

ขั้นตอนการทดลอง

1. เชื่อมต่อวงจรมอเตอร์เหนี่ยวนำเข้ากับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส โดยมีหม้อแปลง 1 เฟส อยู่ในเฟสใดเฟสหนึ่ง ดังรูปที่ 3.8 และรูปที่ 3.9
2. จ่ายแรงดันไฟฟ้า 3 เฟสที่มีแรงดันไฟฟ้าในแต่ละเฟสใกล้เคียงกัน (ประมาณ 220 V) เพื่อให้อยู่ในสภาวะ Balance ทางไฟฟ้า
3. จ่ายแรงดัน DC 5 V เข้า Hall sensor
4. บันทึกค่าแรงดัน Hall sensor และกระแสไฟฟ้าลงในตาราง
5. ทำการปรับลดแรงดันไฟฟ้า เฟส A , เฟส B , และ เฟส C ทีละเฟสให้เหลือ 170 V เพื่อให้เป็นสภาวะ Unbalance เฟส A , Unbalance เฟส B และ Unbalance เฟส C
6. บันทึกค่าแรงดัน Hall sensor และกระแสไฟฟ้าลงในตาราง
7. เปรียบเทียบค่า Hall sensor ระหว่างสภาวะ Balance ทางไฟฟ้า กับ Unbalance ทาง

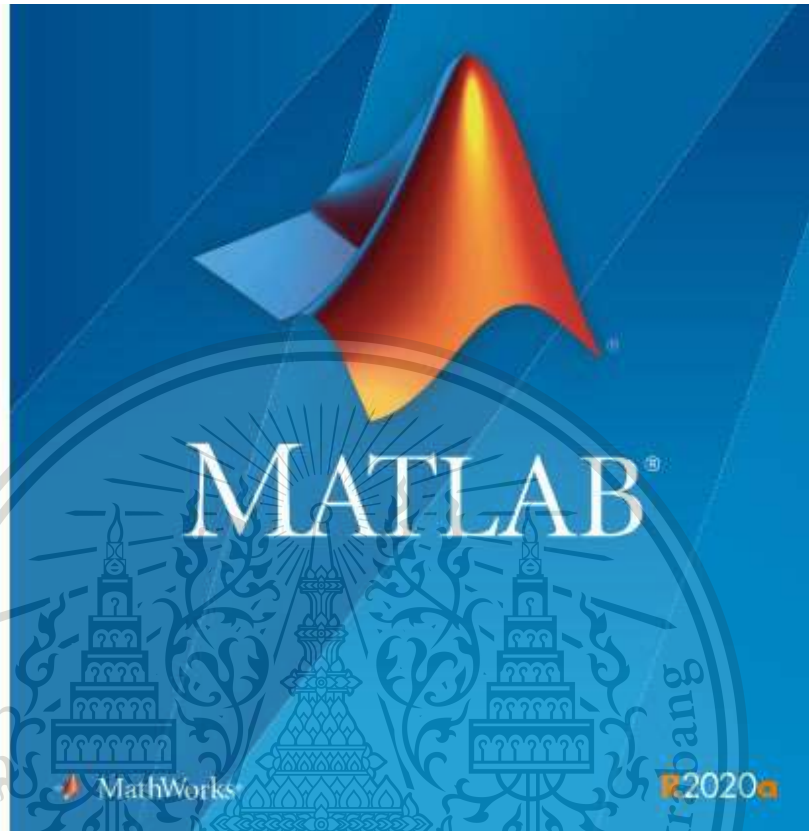
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

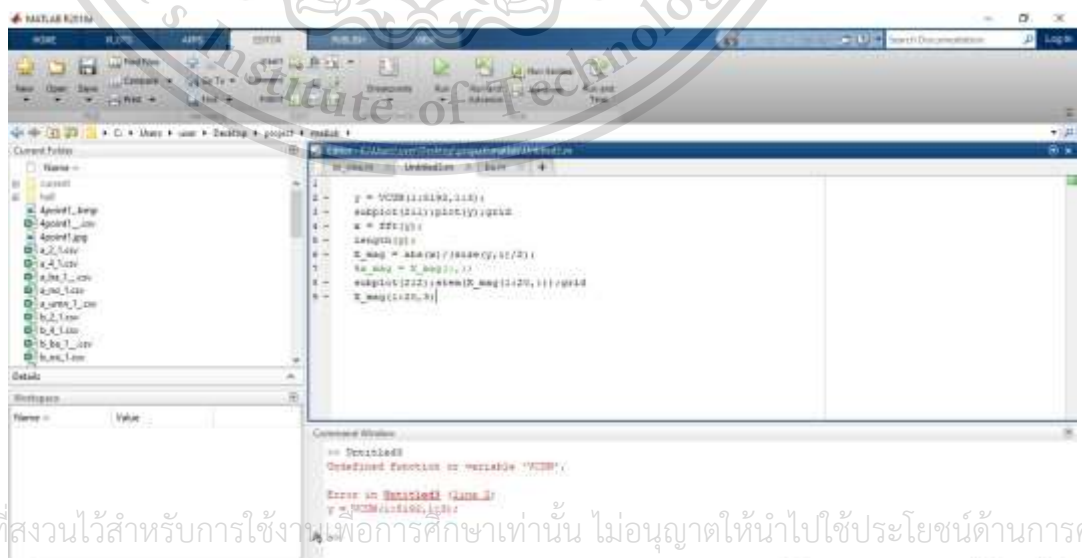
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.5 วิเคราะห์สเปกตรัมของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่ได้จาก Hall sensor โดยใช้โปรแกรม MATLAB



รูปที่ 3.10 โปรแกรม MATLAB



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.11 การใช้งานภายในโปรแกรม MATLAB

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

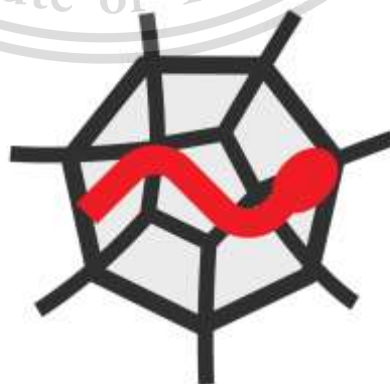
อุปกรณ์การทดลอง

1. Notebook
2. แผ่นดิสก์
3. USB External Floppy Disk Drive
4. โปรแกรม MATLAB

ขั้นตอนการทดลอง

1. บันทึกผลการทดลองที่ได้จาก Oscilloscope ลงในแผ่นดิสก์โดยใช้เป็นไฟล์ .CSV
2. นำไฟล์ที่ได้จากแผ่นดิสก์เข้าไปใน Notebook โดยการใช้ตัวแปลงแผ่นดิสก์
3. ใช้โปรแกรม MATLAB ที่แสดงตามรูปที่ 3.10 ในการวิเคราะห์สเปกตรัมของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า
4. เขียนโค้ดนำเข้าข้อมูลไฟล์ .CSV และใช้ฟังก์ชัน FFT ในการดูสเปกตรัมของสถานะต่างๆ ดังรูปที่ 3.11
5. เปรียบเทียบสเปกตรัมของสถานะ Balance กับ Unbalance ทางกล และสถานะ Balance กับ Unbalance ทางไฟฟ้า

3.6 การเขียนโปรแกรมตรวจสอบสถานะของ induction motor



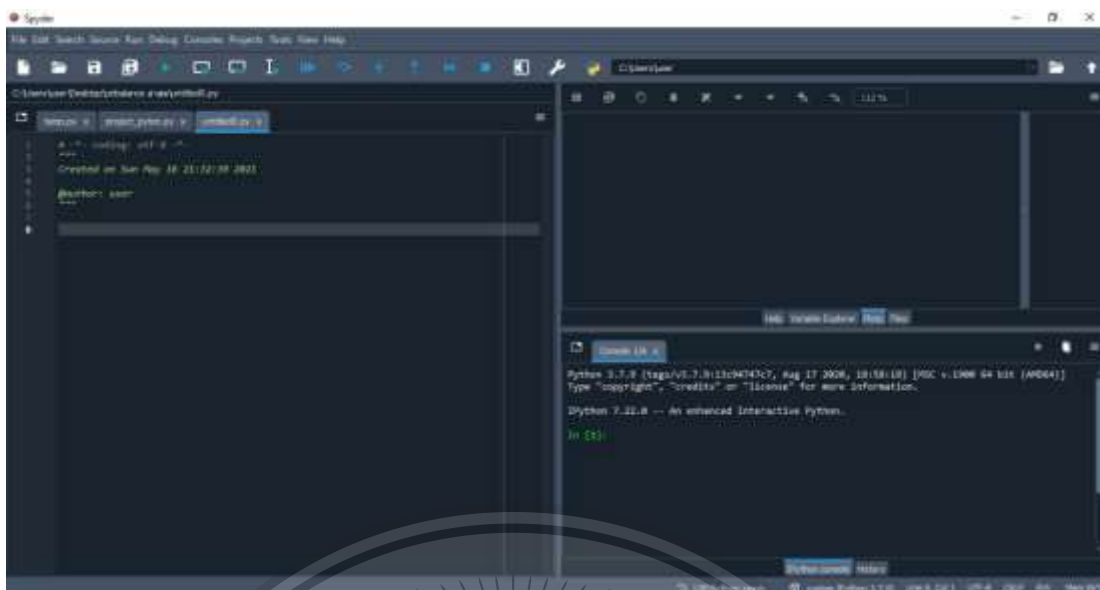
SPYDER

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.12 โปรแกรม Spyder

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.13 การใช้งานภายในโปรแกรม Spyder

อุปกรณ์การทดลอง

1. Note book
2. โปรแกรม Spyder

ขั้นตอนการทดลอง

1. ใช้โปรแกรม Spyder ซึ่งแสดงดังรูปที่ 3.12 ในการตรวจสอบสถานะของ induction motor
2. เขียนโค้ดภาษา python ในโปรแกรม Spyder ดังรูปที่ 3.13 เพื่อให้แสดงรูปคลื่นและแรงดันไฟฟ้าจาก Hall sensor , กระแสไฟฟ้า และ สถานะของ Induction motor
3. ตรวจสอบโดยการใส่ข้อมูลของสถานะต่าง ๆ ที่เป็นไฟล์ .CSV ที่ได้จาก Oscilloscope

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 ผลของการหาตำแหน่งขดลวดเฟส A , B และ C ด้วยการใช้ search coil

การหาตำแหน่งขดลวดเฟส A , เฟส B, และเฟส C โดยการใช้เข็มทิศ ดังรูปที่ 4.1 , รูปที่ 4.2 และรูปที่ 4.3 ตามลำดับ



รูปที่ 4.1 ตำแหน่งของขดลวดเฟส A



รูปที่ 4.2 ตำแหน่งของขดลวดเฟส B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับงานวิจัยเท่านั้น ไม่ควรนำเอกสารนี้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

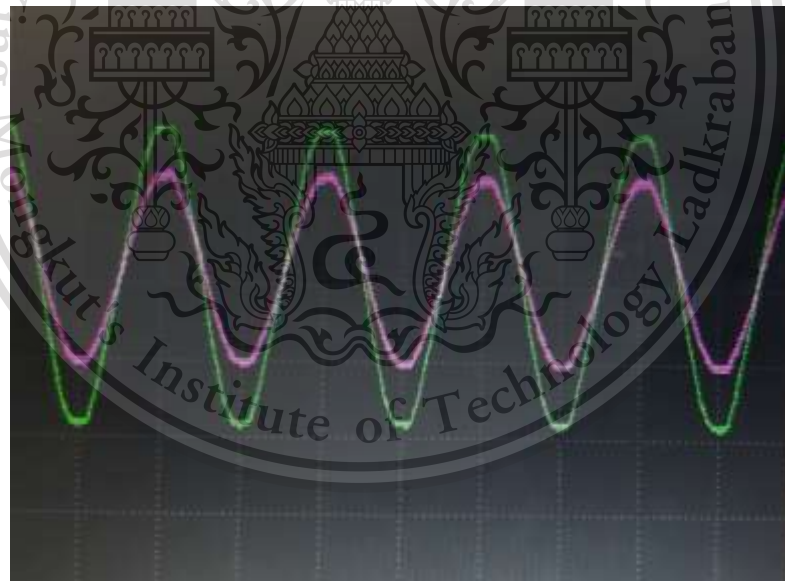
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.3 ตำแหน่งของขดลวดเฟส C

กราฟที่ได้จากการหมุน Search coil ของเฟส A , เฟส B และเฟส C

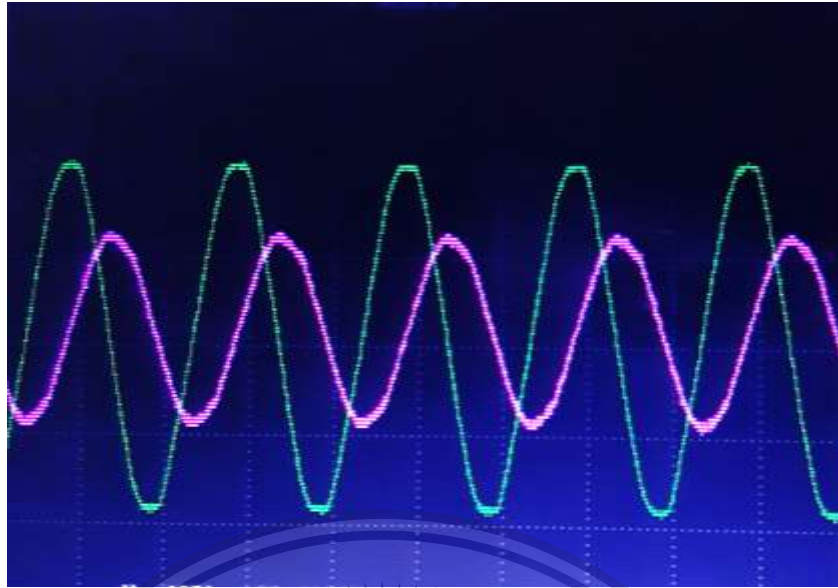


รูปที่ 4.4 Search coil phase A

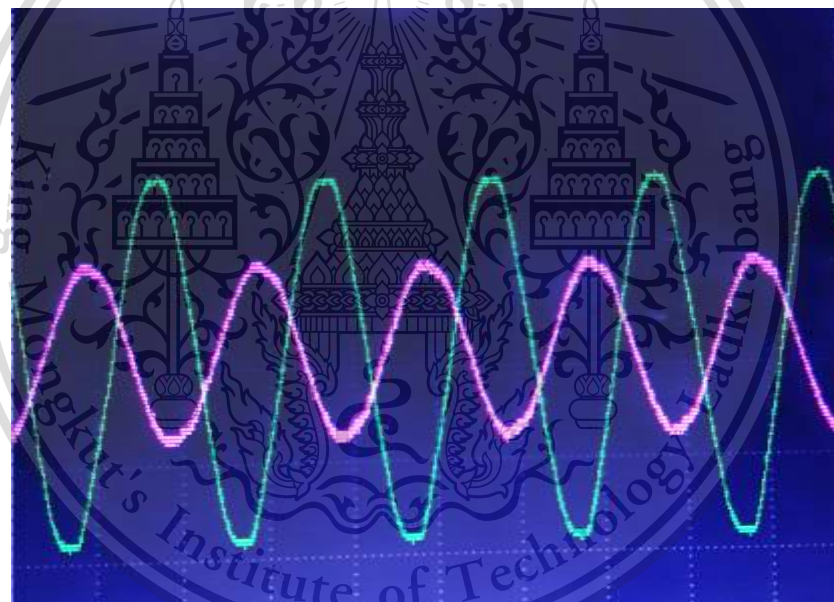
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.5 Search coil phase B



รูปที่ 4.6 Search coil phase C

จากรูปแสดงกราฟจากการหมุน Search coil phase A โดยจะเห็นได้ว่าทั้งสองกราฟทับกันสนิทพอดี เมื่อเทียบกับแรงดันอ้างอิง phase A ดังแสดงในรูปที่ 4.4 ในขณะที่กราฟจากการหมุน Search coil phase B และ phase C จะตามหลัง phase A อยู่ 120 องศาและ 240 องศาตามลำดับ ดังแสดงตามรูปที่ 4.5 และ รูปที่ 4.6 โดยได้ผลลัพธ์เช่นเดียวกันกับการใช้เข็มทิศชี้ตำแหน่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.2 ผลการทดสอบสนามแม่เหล็กโดยใช้ Hall sensor ของมอเตอร์ที่สภาวะ No-load

เมื่อทำการทดสอบสนามแม่เหล็กโดยใช้ Hall sensor ของมอเตอร์ในสภาวะ No-load จะสามารถบันทึกผลการทดลองได้ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แรงดันขาออกของฟลักซ์แม่เหล็กเฟส A , B และ C ที่ได้จาก Hall sensor ในสภาวะ No-load

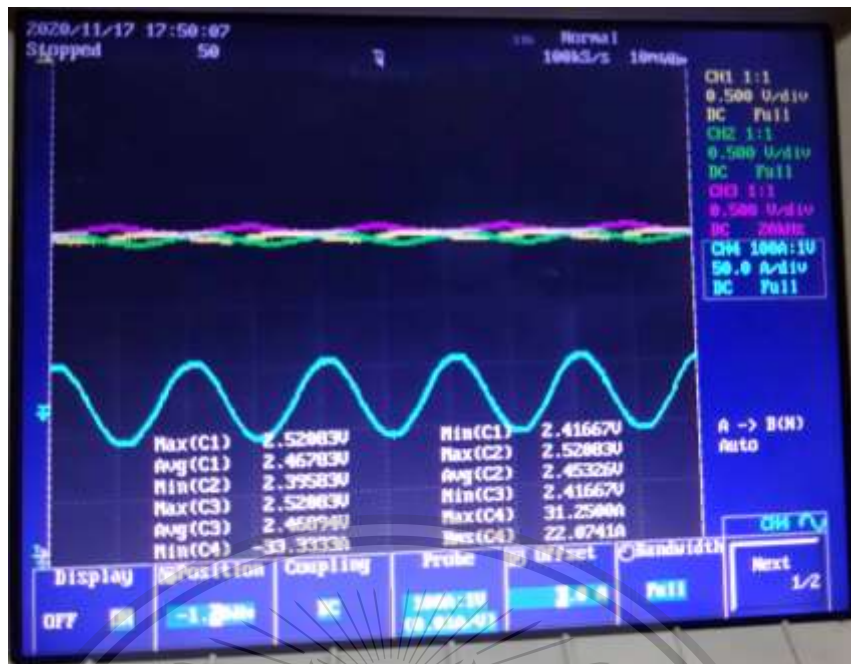
Voltage (V)	Phase A			Phase B			Phase C		
	V _{max} (V)	V _{min} (V)	V _{avg} (V)	V _{max} (V)	V _{min} (V)	V _{avg} (V)	V _{max} (V)	V _{min} (V)	V _{avg} (V)
0	2.5000	2.4375	2.4741	2.4792	2.4375	2.4565	2.4792	2.4583	2.4726
20	2.5208	2.4167	2.4678	2.5208	2.3958	2.4533	2.5208	2.4167	2.4689
40	2.5208	2.3958	2.4666	2.5417	2.3750	2.4530	2.5417	2.4167	2.4960
60	2.5427	2.3750	2.4646	2.5625	2.3542	2.4520	2.5625	2.3750	2.4676
80	2.5833	2.3542	2.4655	2.5833	2.3125	2.4535	2.5833	2.3542	2.4690
100	2.6042	2.3542	2.4667	2.6250	2.2917	2.4552	2.6042	2.3333	2.4696
120	2.6042	2.3125	2.4689	2.6458	2.2708	2.4568	2.6250	2.3125	2.4712
140	2.6458	2.2917	2.4695	2.6667	2.2500	2.4579	2.6458	2.2917	2.4710
160	2.6667	2.2917	2.4695	2.7083	2.2083	2.4587	2.6875	2.2708	2.4718
180	2.6875	2.2500	2.4710	2.7292	2.1875	2.4592	2.7083	2.2292	2.4728
200	2.7500	2.2083	2.4717	2.7708	2.1458	2.4584	2.7708	2.1875	2.4728
220	2.7919	2.1450	2.4718	2.8333	2.1042	2.4606	2.8333	2.1042	2.4744

จากตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบมอเตอร์ที่สภาวะ No-load สามารถสรุปผลได้ว่าเมื่อทำการเพิ่มแรงดัน Input ให้กับมอเตอร์ แรงดัน Output จาก Hall sensor จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามแรงดัน Input ที่เพิ่มเข้าไป สามารถดูกราฟความแตกต่างของแรงดัน Output ที่ได้จาก Hall sensor ที่แรงดัน Input มีค่าไม่เท่ากันจากรูปที่ 4.7 และ รูปที่ 4.8

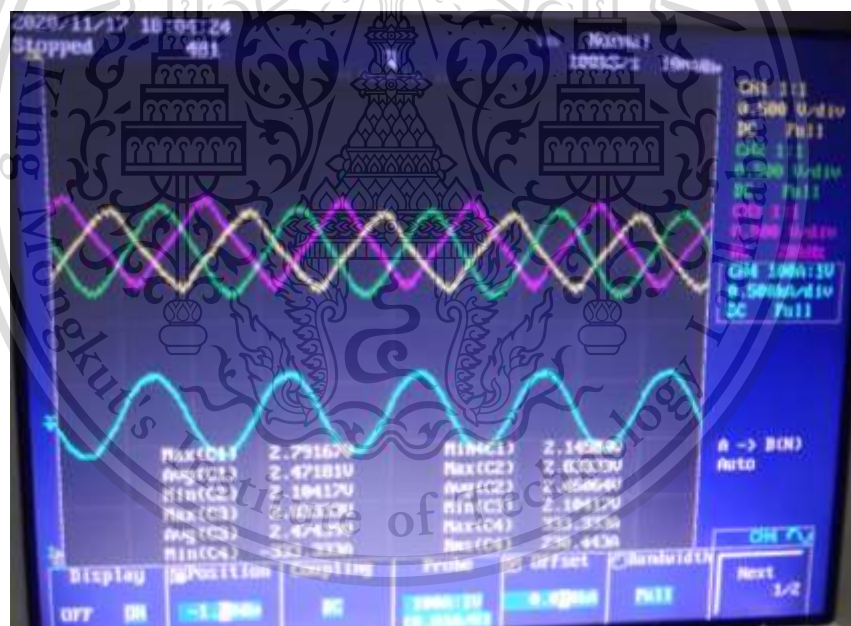
เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.7 สัญญาณแรงดัน Output ที่ได้จาก Hall sensor 20 Volt ที่สภาวะ No-load

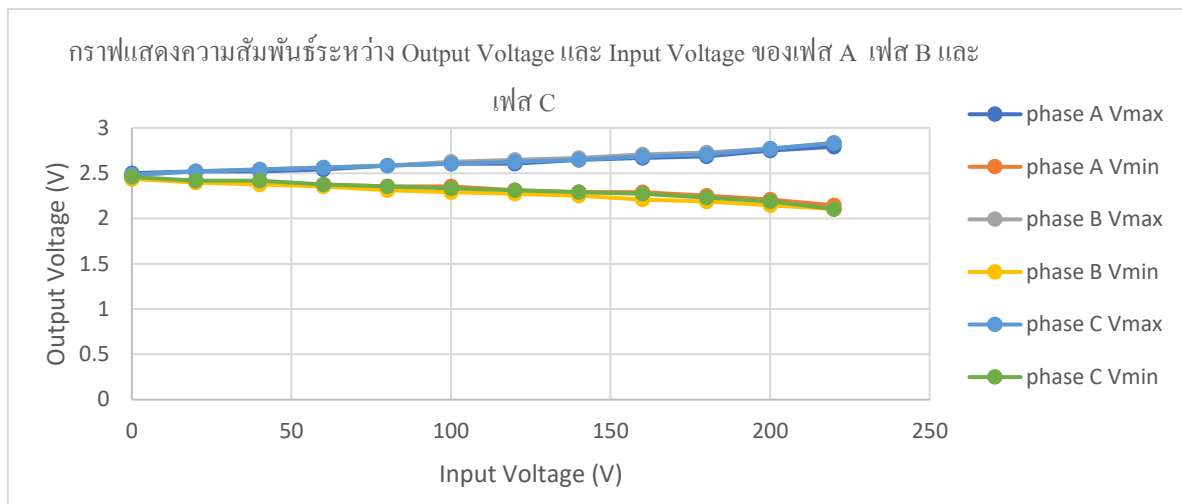


รูปที่ 4.8 สัญญาณแรงดัน Output ที่ได้จาก Hall sensor 220 Volt ที่สภาวะ No-load

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.9 กราฟแรงดัน Output เทียบกับแรงดัน Input ของเฟส A ,เฟส B และเฟส C

จากรูปที่ 4.9 จะพบว่า V_{max} จะมีค่ามากขึ้น ในขณะที่ V_{min} จะมีค่าลดลงเป็นเชิงเส้นตามแรงดัน Input ที่เพิ่มขึ้น

จากการทดลอง ทำการวัดค่ากระแสเพื่อวิเคราะห์ค่ากระแสแต่ละเฟส สำหรับใช้เป็นค่ากระแสอ้างอิงให้กับสภาวะอื่น ๆ ค่ากระแสที่ได้จากการทดลองสามารถแสดงผลได้ดังตารางที่ 4.2

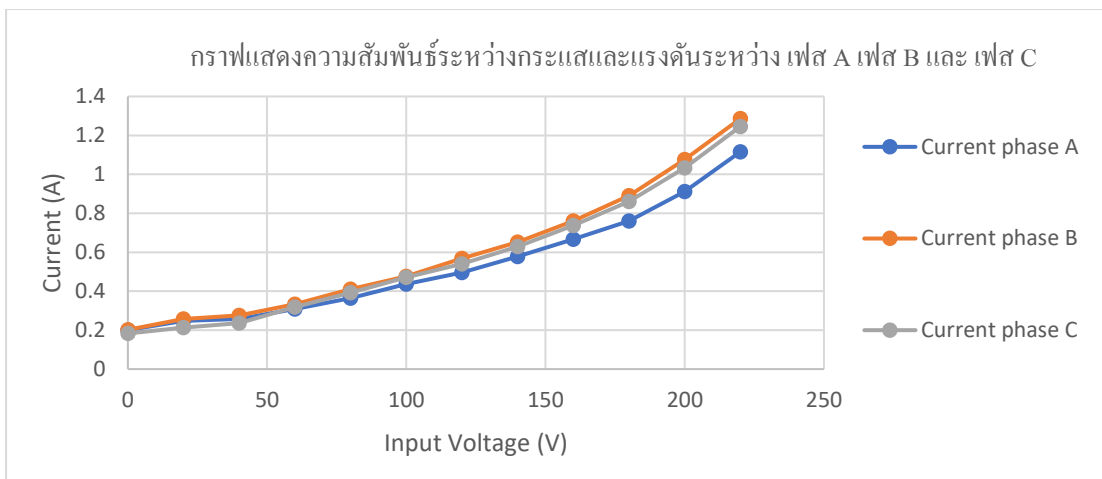
ตาราง 4.2 ค่ากระแสของเฟส A B และ C ในสภาวะ No-load

Voltage (V)	Current Phase A (A)	Current Phase B (A)	Current Phase C (A)
0	0.2002	0.2019	0.1829
20	0.2480	0.2570	0.2130
40	0.2580	0.2760	0.2360
60	0.3090	0.3330	0.3180
80	0.3650	0.4110	0.3930
100	0.4370	0.4760	0.4710
120	0.4960	0.5680	0.5410
140	0.5780	0.6520	0.6290
160	0.6670	0.7600	0.7370
180	0.7600	0.8900	0.8600
200	0.9110	1.0760	1.0336
220	1.1160	1.2865	1.2460

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ภายนอกด้วยการค้า
ไม่ว่ากรณีใดก็ตาม ทั้งสิ้น อธิบายเพิ่มเติมได้ดัดแปลงแก้ไข และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.10 กราฟกระแสเทียบกับแรงดัน Input ของเฟส A B และ C

จากรูปที่ 4.10 จะสามารถสรุปได้ว่าเมื่อแรงดัน Input มีค่าเพิ่มมากขึ้น ค่ากระแสจะเพิ่มขึ้นตามค่าแรงดัน Input โดยค่ากระแสของเฟส B มีค่ามากที่สุด รองลงมาคือ เฟส C และเฟส A ตามลำดับ สาเหตุอันเนื่องมาจากค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์แต่ละเฟสมีค่าไม่เท่ากัน จึงทำให้ค่ากระแสในแต่ละเฟสมีค่าไม่เท่ากัน

4.2.1 ผลจากการหาค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์

4.2.1.1 VI Method

ผลการทดลองจากการทำ VI Method สามารถนำมาแสดงได้ดังตารางที่ 4.3

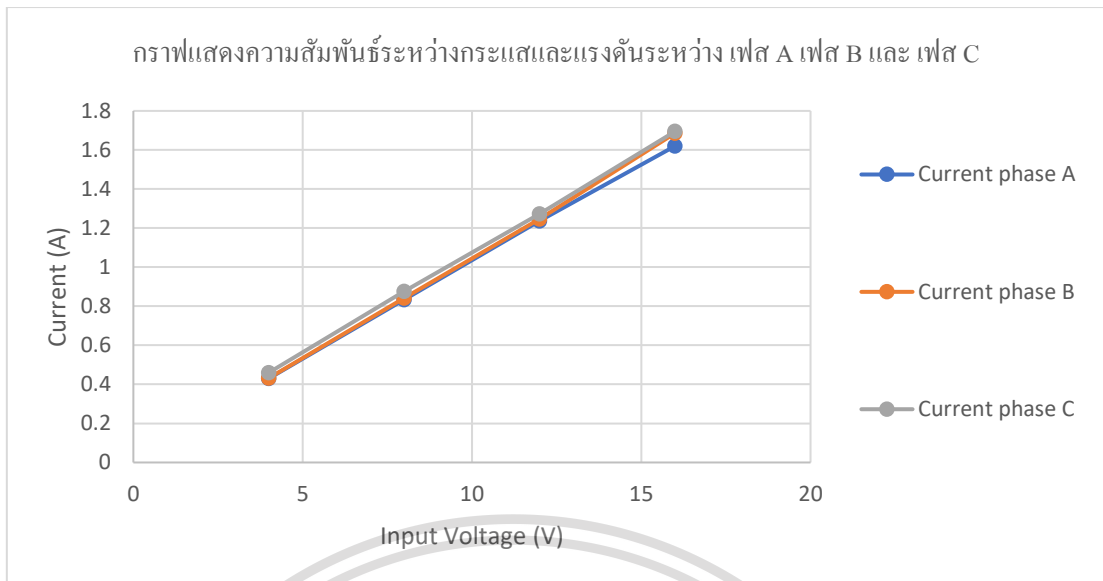
ตารางที่ 4.3 ผลการทดลอง VI Method ของเฟส A , เฟส B และ เฟส C

Voltage (V)	Current (A)		
	Phase A	Phase B	Phase C
4	0.430	0.432	0.460
8	0.833	0.842	0.876
12	1.237	1.247	1.273
16	1.620	1.686	1.695

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.11 กราฟกระแสเทียบกับแรงดัน Input ของเฟส A B และ C จาก VI Method

จากตารางที่ 4.3 สามารถนำค่าแรงดัน(V) และค่ากระแส (A) มาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและกระแส ซึ่งแสดงดังรูปที่ 4.11 จาก slope ของกราฟจะเป็นค่าความต้านทานของสเตเตอร์ของเฟส A , เฟส B และ เฟส C โดยจะได้ผลดังนี้

เฟส A มีค่า $R_1 = 9.9133 \Omega$

เฟส B มีค่า $R_1 = 9.8160 \Omega$

เฟส C มีค่า $R_1 = 9.8401 \Omega$

4.2.2.2 No-load test

ทำการทดลอง No-load test โดยการป้อนแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่พิกัดขณะมอเตอร์ไม่มีภาระทางกล ผลจากการทำการทดลองสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ผลการทดลอง No-load test ของเฟส A เฟส B และ เฟส C

	Voltage(V)	Current (A)	Power Factor	ϕ_0 (Degree)
Phase A	218	1.03	0.1908	79
Phase B	221	1.25	0.1908	79
Phase C	220	1.15	0.1908	79

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

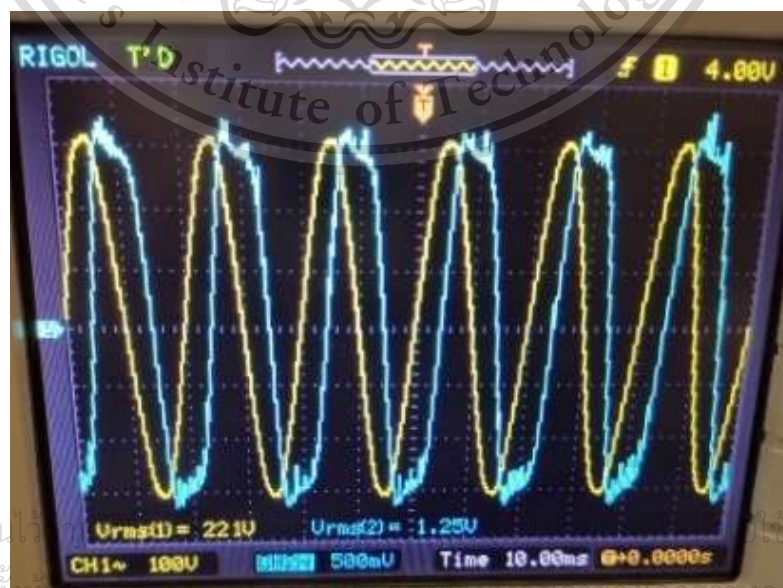
จากตารางที่ 4.4 การทดลอง No-load test สามารถหาค่าพารามิเตอร์ของแต่ละเฟสดังนี้

เฟส A จะได้ค่า	$R_c = 1109.23 \ \Omega$	$X_m = 215.61 \ \Omega$
เฟส B จะได้ค่า	$R_c = 926.58 \ \Omega$	$X_m = 180.11 \ \Omega$
เฟส C จะได้ค่า	$R_c = 1002.60 \ \Omega$	$X_m = 194.88 \ \Omega$

กราฟแรงดันและกระแสที่ได้จากการทดลอง No-load test ของเฟส A , เฟส B และ เฟส C สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.12 , รูปที่ 4.13 และรูปที่ 4.14 ตามลำดับ



รูปที่ 4.12 แรงดันและกระแสจากการทำ No-load test ของเฟส A

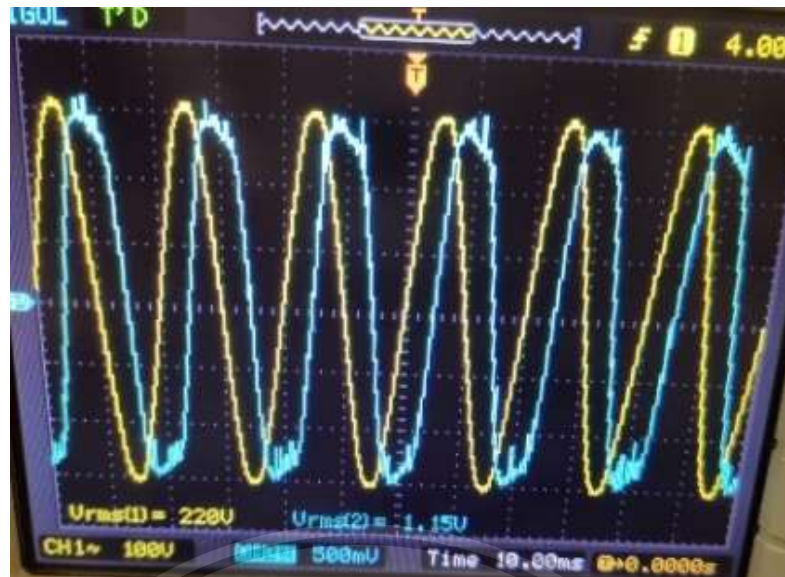


รูปที่ 4.13 แรงดันและกระแสจากการทำ No-load test ของเฟส B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรนำเอกสารนี้ไปใช้เพื่อประโยชน์ด้านการค้า

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.14 แรงดันและกระแสจากการทำ No-load test ของเฟส C

4.2.2.3 Block-rotor

ทำการทดลอง Block-rotor test โดยการยึดโรเตอร์ให้อยู่กับที่ แล้วค่อย ๆ ปรับเพิ่มแรงดันไฟฟ้า โดยค่ากระแสที่ป้อนเข้าเท่ากับค่ากระแสพิกัด

ตารางที่ 4.5 ผลการทดลอง Block-rotor test

	Voltage(V)	Current (A)	Power Factor	ϕ_0 (Degree)
Phase A	50.1	1.91	0.7193	44
Phase B	50.5	1.99	0.7193	44
Phase C	50.4	1.93	0.7193	44

เมื่อนำผลการทดลองที่ได้จากตารางที่ 4.5 มาคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์ จะได้ค่าพารามิเตอร์ของแต่ละเฟสดังนี้

$$\text{Motor class B : } X_1 + X_2 = 0.4X_b + 0.6X_b$$

$$\text{เฟส A จะได้ค่า } Z_b = 18.8685 + j18.2211 \, \Omega \quad X_1 = 7.2884 \, \Omega \quad X_2 = 10.9327 \, \Omega$$

$$\text{เฟส B จะได้ค่า } Z_b = 18.2546 + j17.6283 \, \Omega \quad X_1 = 7.0713 \, \Omega \quad X_2 = 10.5770 \, \Omega$$

$$\text{เฟส C จะได้ค่า } Z_b = 18.7848 + j18.1403 \, \Omega \quad X_1 = 7.2561 \, \Omega \quad X_2 = 10.8842 \, \Omega$$

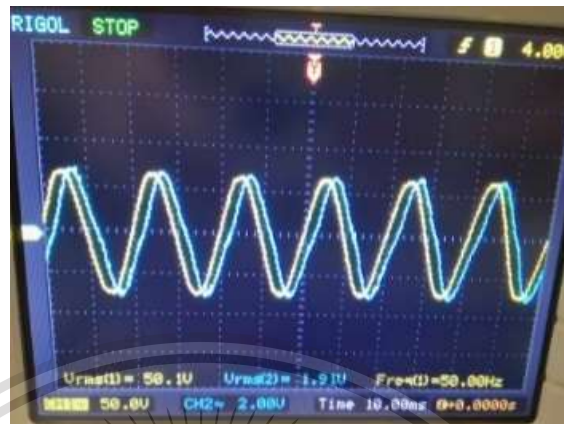
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

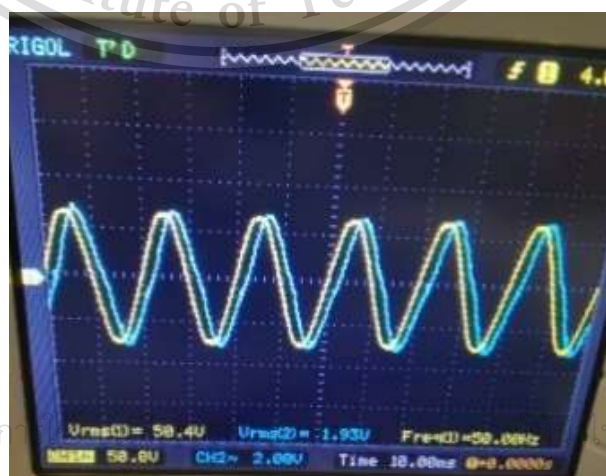
กราฟแรงดันและกระแสที่ได้จากการทดลอง Block rotor test ของเฟส A , เฟส B และเฟส C สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.15 , รูปที่ 4.16 และรูปที่ 4.17 ตามลำดับ



รูปที่ 4.15 แรงดัน กระแสและความถี่ จากการทำ Block-rotor test ของเฟส A



รูปที่ 4.16 แรงดัน กระแสและความถี่ จากการทำ Block-rotor test ของเฟส B



รูปที่ 4.17 แรงดัน กระแสและความถี่ จากการทำ Block-rotor test ของเฟส C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับก... ใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้าม... และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ดังนั้น เฟส A มีค่า $R_2 = 8.9552 \Omega$
เฟส B มีค่า $R_2 = 8.4386 \Omega$
เฟส C มีค่า $R_2 = 8.9447 \Omega$

4.3 ผลการทดสอบสนามแม่เหล็กโดยใช้ Hall sensor ของมอเตอร์ที่สภาวะ Balance และ Unbalance ทางกล

4.3.1 ผลการทดสอบสนามแม่เหล็กโดยใช้ Hall sensor ของมอเตอร์ที่สภาวะ Balance

ทางกล

ผลการทดสอบมอเตอร์ที่สภาวะ Balance ทางกล

ตารางที่ 4.6 แรงดันขาออกของฟลักซ์แม่เหล็กเฟส A , B และ C ที่ได้จาก Hall sensor ในสภาวะ Balance ทางกล

Voltage (V)	Phase A			Phase B			Phase C		
	$V_{max}(V)$	$V_{min}(V)$	$V_{avg}(V)$	$V_{max}(V)$	$V_{min}(V)$	$V_{avg}(V)$	$V_{max}(V)$	$V_{min}(V)$	$V_{avg}(V)$
0	2.5208	2.4583	2.4874	2.5000	2.4375	2.4673	2.5000	2.4792	2.4908
20	2.5417	2.4167	2.4839	2.5833	2.3542	2.4690	2.5625	2.4167	2.4890
40	2.5417	2.4167	2.4819	2.5417	2.3750	2.4662	2.5625	2.4167	2.4883
60	2.5833	2.3958	2.4891	2.5833	2.3750	2.4746	2.5833	2.4167	2.4962
80	2.6042	2.3750	2.4911	2.6042	2.3333	2.4762	2.6042	2.3958	2.4977
100	2.6250	2.3542	2.4918	2.6458	2.3125	2.4771	2.6250	2.3750	2.4985
120	2.6458	2.3333	2.4927	2.6667	2.2917	2.4776	2.6667	2.3542	2.4989
140	2.6667	2.3125	2.4934	2.6875	2.2708	2.4781	2.6875	2.3125	2.4993
160	2.7083	2.2917	2.4935	2.7292	2.2292	2.4779	2.7083	2.2917	2.5006
180	2.7292	2.2708	2.4942	2.7500	2.2083	2.4798	2.7500	2.2500	2.5016
200	2.7708	2.2083	2.4955	2.7917	2.1667	2.4782	2.8125	2.2083	2.5025
220	2.8542	2.1458	2.4959	2.8542	2.1250	2.4814	2.8750	2.1458	2.5026

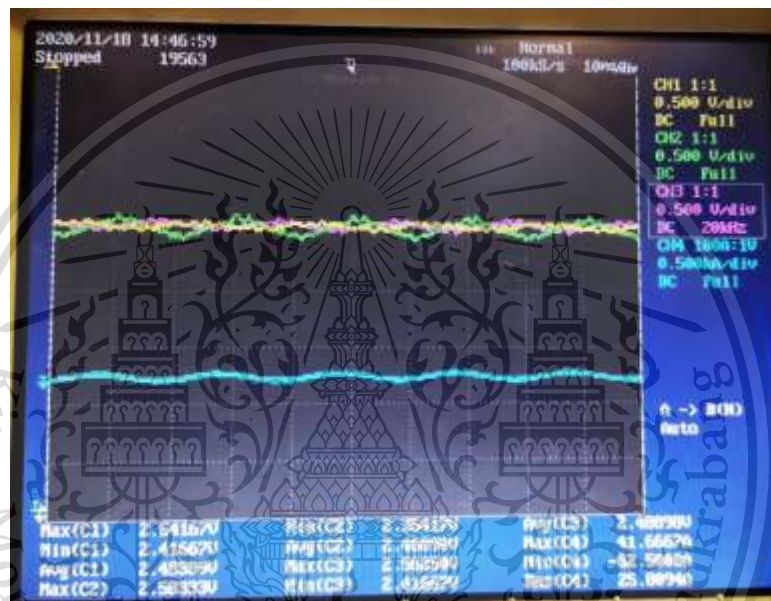
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของงานวิจัยที่จัดทำขึ้น และอนุญาตให้ผู้ใช้บริการอื่น ๆ สามารถนำเอกสารนี้ไปใช้ประโยชน์ได้

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

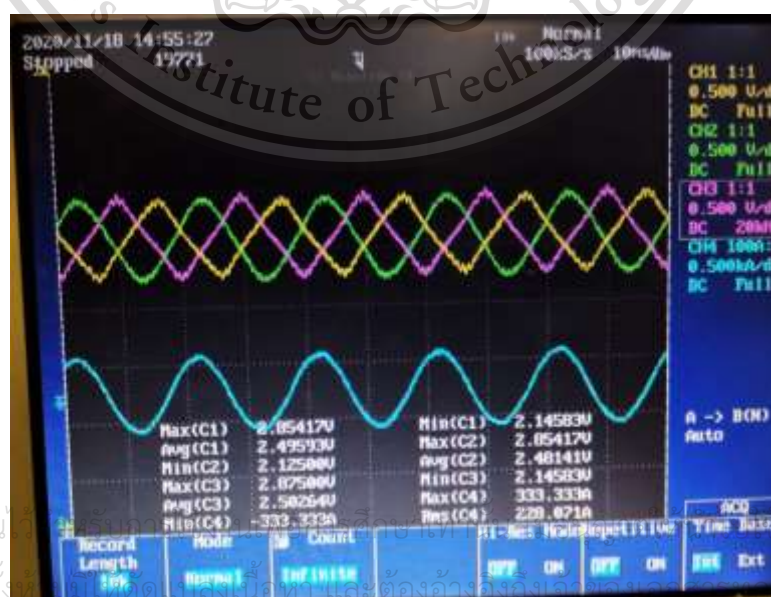
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

จากตารางที่ 4.6 แสดงผลการทดลองในสภาวะ Balance ทางกลของมอเตอร์ เมื่อนำค่าแรงดันที่ได้จาก Hall sensor มาเปรียบเทียบกับค่าแรงดันที่ได้จาก Hall sensor ในสภาวะ No-load พบว่า แรงดัน Output ของ Hall sensor มีค่าเพิ่มมากขึ้นจากสภาวะ No-load เป็นผลมาจากการที่มอเตอร์มีการขั้บภาระมากขึ้น จึงทำให้มีแรงดันเพิ่มมากขึ้น สามารถดูกราฟความแตกต่างของแรงดัน Output ที่ได้จาก Hall sensor .เมื่อแรงดัน Input มีค่าไม่เท่ากันจากรูปที่ 4.18 และ รูปที่ 4.19 และ สามารถเขียนกราฟแสดงการเปรียบเทียบกันของสภาวะ No-load กับ สภาวะ Balance ทางกลได้ดังรูปที่ 4.20



รูปที่ 4.18 สัญญาณแรงดัน Output ที่ได้จาก Hall sensor 20 V ที่สภาวะ Balance ทางกล

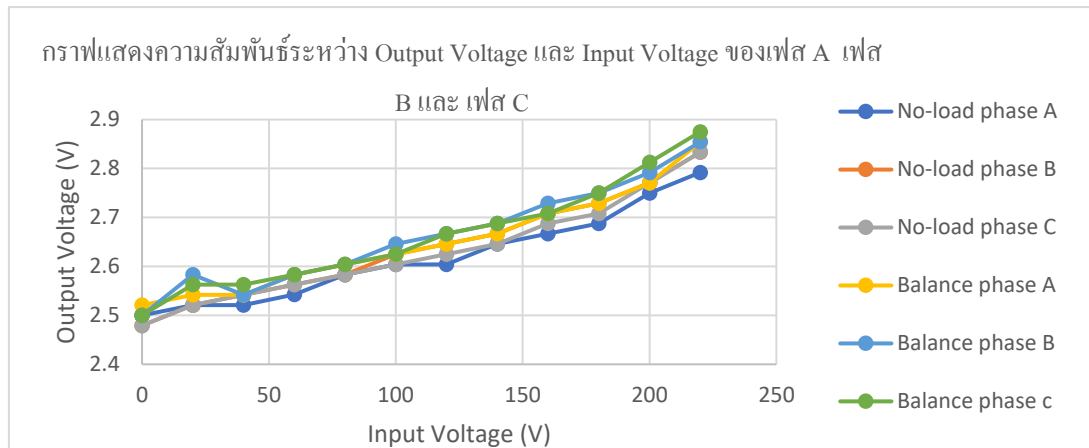


รูปที่ 4.19 สัญญาณแรงดัน Output ที่ได้จาก Hall sensor 220 V ที่สภาวะ Balance ทางกล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำออกเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.20 กราฟแรงดัน Output เทียบกับแรงดัน Input ของเฟส A , B และ C ของทั้งสองสภาวะ

เมื่อทำการวัดค่ากระแสของแต่ละเฟสในสภาวะ Balance ทางกล ได้ผลการทดลองดังแสดงตามตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ค่ากระแสของเฟส A B และ C ในสภาวะ Balance ทางกล

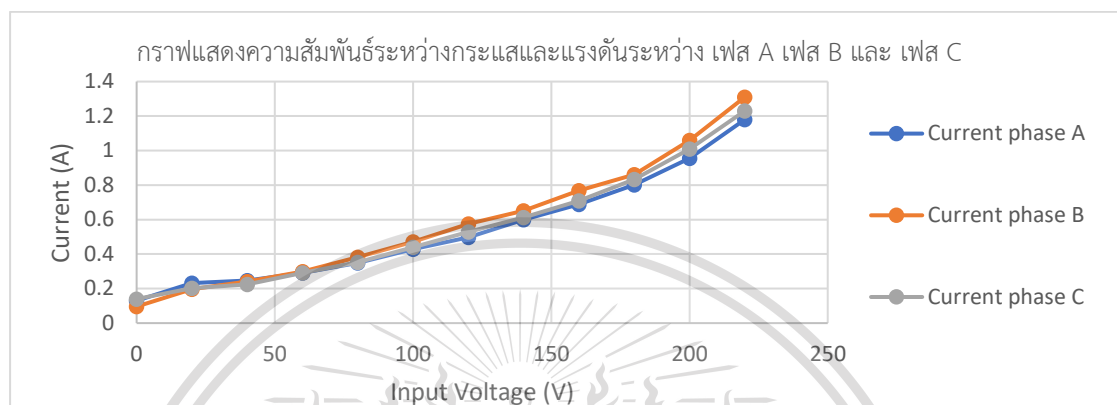
Voltage (V)	Current Phase A (A)	Current Phase B (A)	Current Phase C (A)
0	0.1300	0.0959	0.1040
20	0.2320	0.1960	0.2030
40	0.2470	0.2410	0.2240
60	0.2910	0.2990	0.2910
80	0.3490	0.3820	0.3520
100	0.4280	0.4720	0.4390
120	0.4980	0.5750	0.5280
140	0.6000	0.6520	0.6130
160	0.6890	0.7680	0.7080
180	0.8010	0.8610	0.8330
200	0.9550	0.1060	1.0100
220	1.1800	0.1310	1.2300

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ทางการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรนำเอกสารนี้ไปใช้ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ซึ่งห้ามมิให้ดัดแปลง และต้องอ้างอิงถึงชื่อของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

จากตารางที่ 4.7 จะเห็นได้ว่าค่าของกระแสในสภาวะ Balance ทางกลมีค่าเพิ่มมากขึ้นจากสภาวะ No-load เนื่องจากในสภาวะ Balance ทางกลมีโหลดที่เพิ่มขึ้นจากสภาวะ No-load ค่ากระแสจึงเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งสามารถแสดงกราฟเปรียบเทียบระหว่างค่ากระแสและแรงดันตามรูปที่ 4.21 โดยค่ากระแสที่ไม่เท่ากันเนื่องมาจากการที่พารามิเตอร์ของมอเตอร์แต่ละเฟสไม่เท่ากัน



รูปที่ 4.21 กราฟกระแสเทียบกับแรงดัน Input ของเฟส A , เฟส B และเฟส C

4.3.2 ผลการทดสอบสนามแม่เหล็กโดยใช้ Hall sensor ของมอเตอร์ที่ สภาวะ Unbalance ทางกล

ผลการทดสอบมอเตอร์ที่สภาวะ Unbalance ทางกล สามารถแสดงได้ตามตารางที่ 4.8

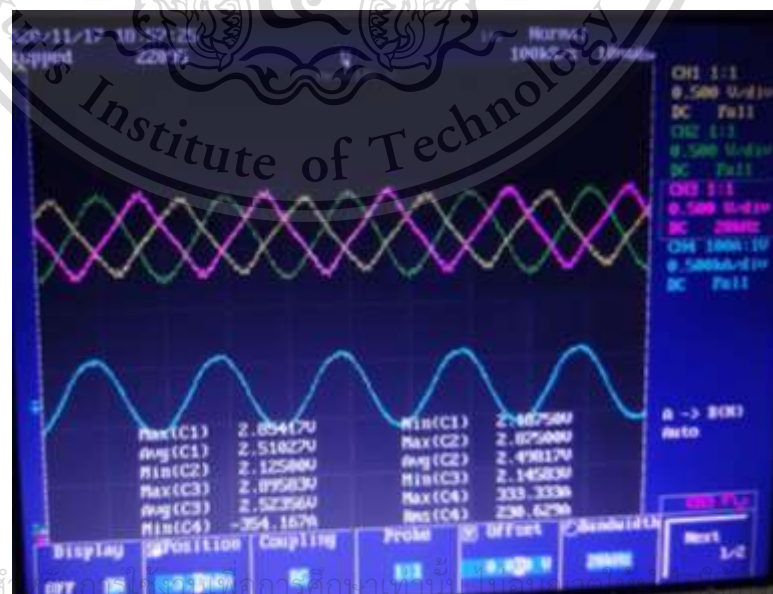
ตาราง 4.8 แรงดันขาออกของฟลักซ์แม่เหล็กเฟส A เฟส B และเฟส C ที่ได้จาก Hall sensor ในสภาวะ Unbalance ทางกล

Voltage (V)	Phase A			Phase B			Phase C		
	$V_{max}(V)$	$V_{min}(V)$	$V_{avg}(V)$	$V_{max}(V)$	$V_{min}(V)$	$V_{avg}(V)$	$V_{max}(V)$	$V_{min}(V)$	$V_{avg}(V)$
0	2.5417	2.5000	2.5155	2.5208	2.4792	2.4992	2.5417	2.5000	2.5187
20	2.5625	2.4583	2.5115	2.6042	2.3958	2.4965	2.5833	2.4583	2.5210
40	2.5833	2.4375	2.4955	2.5833	2.3750	2.4817	2.5833	2.4375	2.5073
60	2.5833	2.4167	2.5035	2.6250	2.3750	2.4910	2.6042	2.4167	2.5160
80	2.6250	2.3958	2.5053	2.6458	2.3542	2.4929	2.6458	2.3958	2.5175
100	2.6250	2.3750	2.5064	2.6667	2.3333	2.4949	2.6667	2.3750	2.5193
120	2.6458	2.3750	2.5075	2.6875	2.3125	2.4958	2.6875	2.3542	2.5201
140	2.6875	2.3333	2.5078	2.7083	2.2708	2.4952	2.7083	2.3333	2.5211
160	2.7083	2.3125	2.5093	2.7500	2.2500	2.4951	2.7292	2.3125	2.5222
180	2.7292	2.2708	2.5091	2.7917	2.2083	2.4978	2.7708	2.2708	2.5218
200	2.7708	2.2500	2.5091	2.8125	2.1667	2.4973	2.8125	2.2292	2.5230
220	2.8542	2.1675	2.5103	2.8750	2.1250	2.4982	2.8958	2.1458	2.5236

จากตารางที่ 4.8 แสดงผลการทดลองในสภาวะ Unbalance ทางกลของมอเตอร์เทียบกับสภาวะ No-load พบว่าในสภาวะ Unbalance ทางกล แรงดัน Output ของ Hall sensor จะมีค่าสูงกว่าที่สภาวะ No-load เนื่องมาจากการเพิ่มขึ้นของโหลด สามารถดูกราฟความแตกต่างของแรงดัน Output ที่ได้จาก Hall sensor .เมื่อแรงดัน Input มีค่าไม่เท่ากันจากรูปที่ 4.22 และ รูปที่ 4.23 และสามารถเขียนกราฟแสดงการเปรียบเทียบกันของสภาวะ No-load กับ สภาวะ Unbalance ทางกล ได้ดังรูปที่ 4.24



รูปที่ 4.22 ตัวอย่างสัญญาณแรงดัน Output ที่ได้จาก Hall sensor 20 V

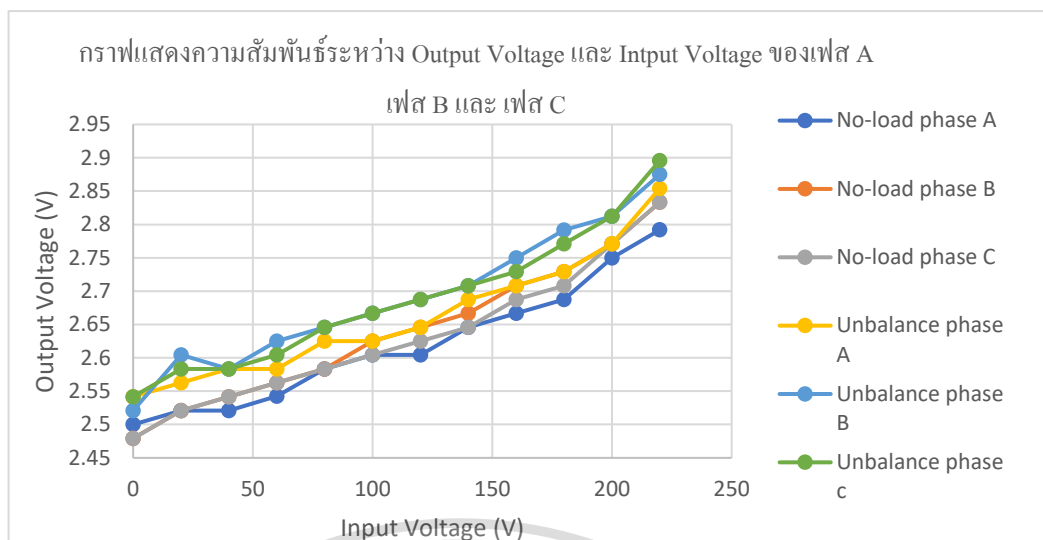


รูปที่ 4.23 ตัวอย่างสัญญาณแรงดัน Output ที่ได้จาก Hall sensor 220 V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ประกอบการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้
 โยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต และต้องขออนุญาตเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.24 กราฟแรงดัน Output เทียบกับแรงดัน Input ของเฟส A B และ C ของทั้งสองสภาวะ

ทำการวัดค่ากระแสของแต่ละเฟสในสภาวะ Unbalance ทางกล ได้ผลการทดลองซึ่งสามารถแสดงได้ตามตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 ค่ากระแสของเฟส A B และ C ในสภาวะ Unbalance ทางกล

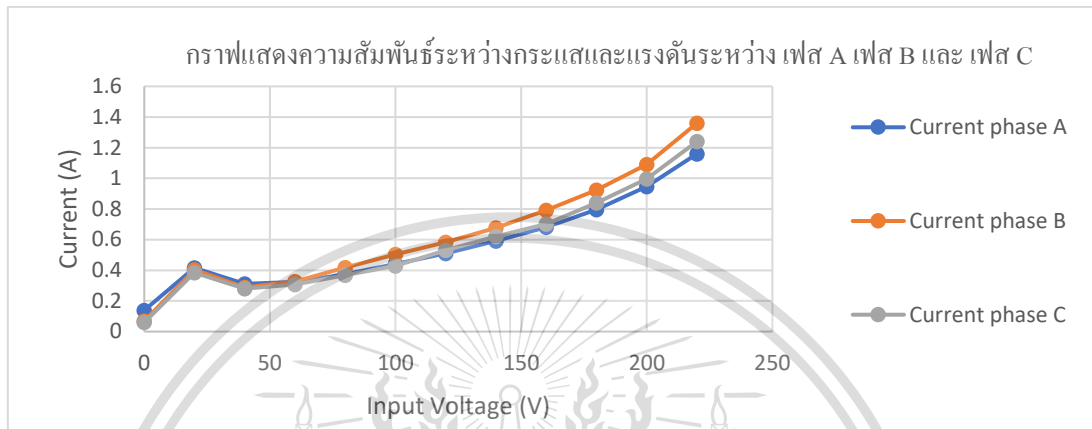
Voltage (V)	Current Phase A (A)	Current Phase B (A)	Current Phase C (A)
0	0.0800	0.0894	0.0800
20	0.4160	0.4040	0.3840
40	0.3120	0.2880	0.2800
60	0.3250	0.3270	0.3070
80	0.3750	0.4180	0.3670
100	0.4420	0.5030	0.4290
120	0.5090	0.5820	0.5310
140	0.5920	0.6780	0.6210
160	0.6820	0.7910	0.7030
180	0.7960	0.9230	0.8390
200	0.9470	1.0900	0.9970
220	1.1600	1.3600	1.2400

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

จากตารางที่ 4.9 จะเห็นได้ว่าค่าของกระแสในสภาวะ Unbalance ทางกลมีค่าเพิ่มมากขึ้น จากสภาวะ No-load เนื่องจากในสภาวะ Unbalance ทางกลมีโหลดที่เพิ่มมากขึ้นจากสภาวะ No-load ค่ากระแสจึงเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งสามารถแสดงการเปรียบเทียบกันของสองสภาวะได้ดังรูปที่ 4.25 ค่ากระแสที่ไม่เท่ากันเกิดจากการที่พารามิเตอร์ของมอเตอร์แต่ละเฟสไม่เท่ากัน

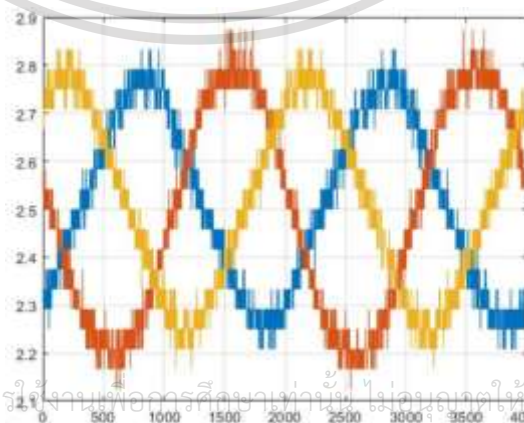


รูปที่ 4.25 กราฟกระแสเทียบกับแรงดัน Input ของเฟส A B และ C

4.4 ผลการทดสอบสนามแม่เหล็กโดยใช้ Hall sensor ของมอเตอร์ที่สภาวะ Balance และ Unbalance ทางไฟฟ้า

4.4.1 ผลการทดสอบสนามแม่เหล็กโดยใช้ Hall sensor ของมอเตอร์ที่สภาวะ Balance ทางไฟฟ้า

การทดสอบมอเตอร์ที่สภาวะ Balance ทางไฟฟ้าโดยการป้อนแรงดันไฟฟ้า 3 เฟสที่มีแรงดันแต่ละเฟสใกล้เคียงกัน (220V) ให้กับมอเตอร์เพื่อดูกราฟและค่าแรงดันไฟฟ้าที่ได้จาก Hall sensor ซึ่งได้ค่าตามรูปที่ 4.26 และตารางที่ 4.10



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.26 ค่าแรงดันไฟฟ้าจาก Hall sensor สภาวะ Balance ทางไฟฟ้า

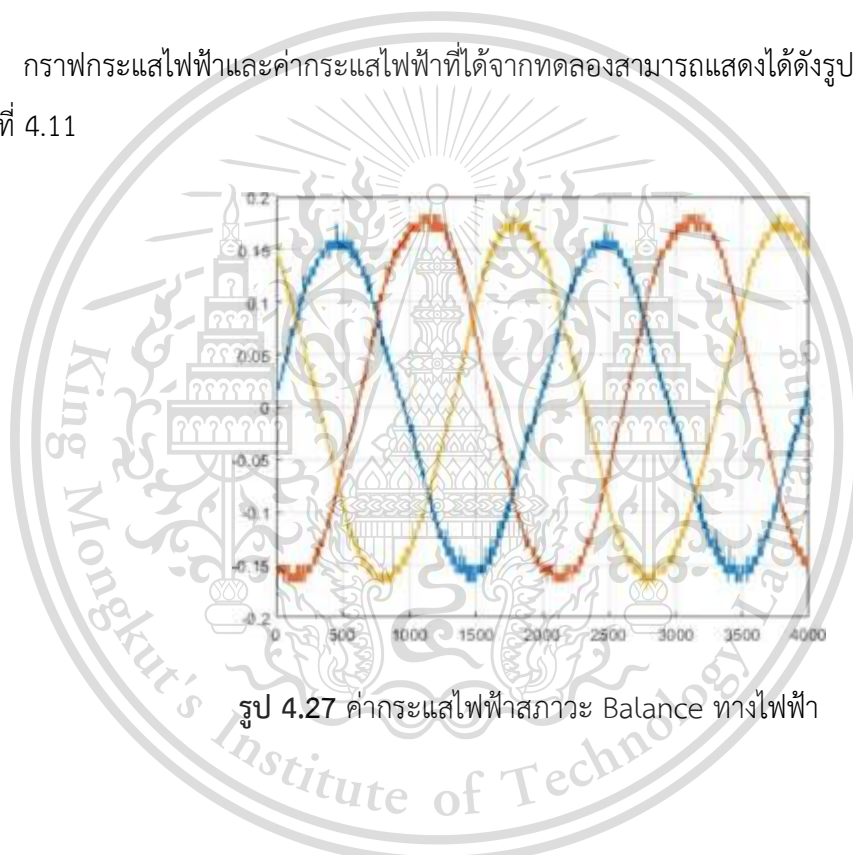
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 4.10 ค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดของแรงดันไฟฟ้าที่ได้จาก Hall sensor ที่สภาวะ Balance ทางไฟฟ้า

	เฟส A (V)	เฟส B (V)	เฟส C (V)
ค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุด	2.8750	2.8750	2.8333
ค่าแรงดันไฟฟ้าต่ำสุด	2.1250	2.1667	2.2083

กราฟกระแสไฟฟ้าและค่ากระแสไฟฟ้าที่ได้จากทดลองสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.27 และตารางที่ 4.11



รูป 4.27 ค่ากระแสไฟฟ้าสภาวะ Balance ทางไฟฟ้า

ตารางที่ 4.11 ค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดของกระแสไฟฟ้าที่สภาวะ Balance ทางไฟฟ้า

	เฟส A (A)	เฟส B (A)	เฟส C (A)
ค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุด	1.7500	1.9167	1.8333
ค่ากระแสไฟฟ้าต่ำสุด	-1.6667	-1.6667	-1.7500

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ทางการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.4.2 ผลการทดสอบสนามแม่เหล็กโดยใช้ Hall sensor ของมอเตอร์ที่สภาวะ Unbalance ทางไฟฟ้า

การทดสอบมอเตอร์ที่สภาวะ Unbalance ทางไฟฟ้าโดยการป้อนแรงดันไฟฟ้า 3 เฟสที่มีแรงดัน 1 เฟส(170V) ไม่เท่ากับเฟสที่เหลือ(220V)โดยการใช้หม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟสในการปรับลดแรงดันไฟฟ้าในเฟสที่ต้องการลดแรงดันให้กับมอเตอร์ ตามรูปที่ 4.28 เพื่อดูค่าแรงดันไฟฟ้าที่ได้จาก Hall sensor และ กระแสไฟฟ้าของเฟส A เฟส B และ เฟส C ตามลำดับ



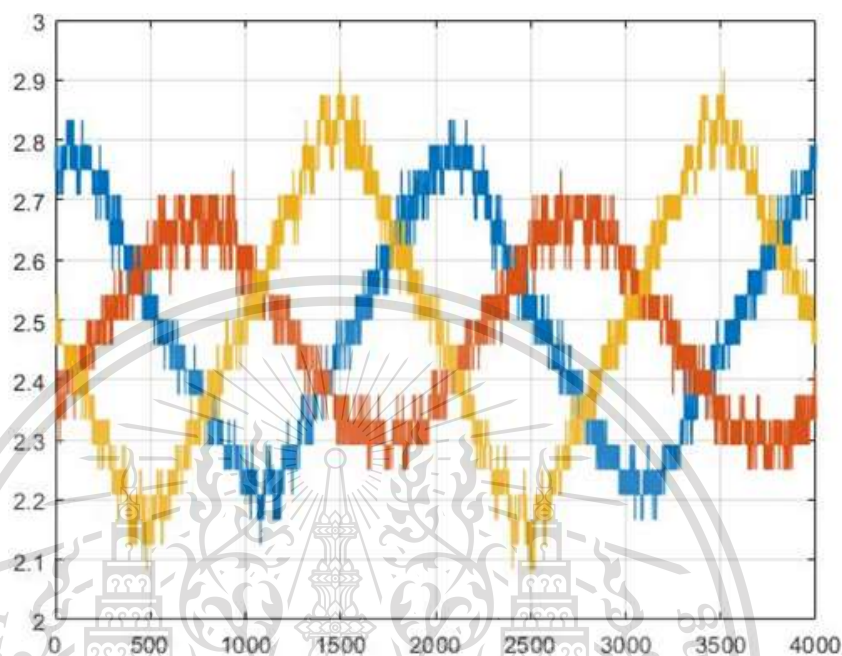
รูปที่ 4.28 การทดลอง Unbalance ทางไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

กราฟแรงดันและค่าแรงดันไฟฟ้าที่ได้จาก Hall sensor ในทดลองของเฟส A สามารถแสดง
ได้ดังรูปที่ 4.29 และตารางที่ 4.12



รูป 4.29 กราฟแรงดันไฟฟ้าจาก Hall sensor ที่สภาวะ Unbalance ทางไฟฟ้า เฟส A

ตารางที่ 4.12 ค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดของแรงดันไฟฟ้าที่ได้จาก Hall sensor ที่สภาวะ Unbalance
ทางไฟฟ้า เฟส A

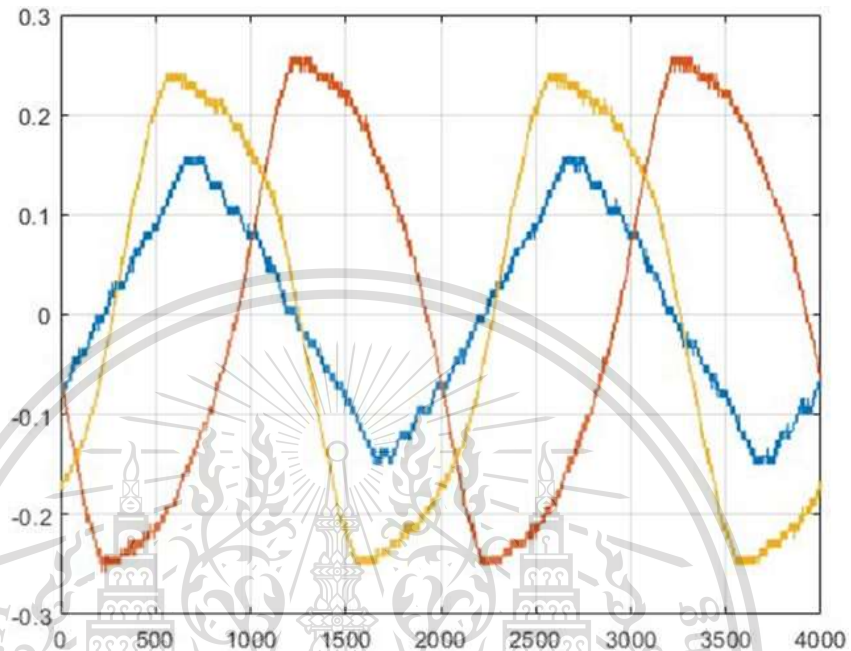
	เฟส A (V)	เฟส B (V)	เฟส C (V)
ค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุด	2.7500	2.9167	2.8750
ค่าแรงดันไฟฟ้าต่ำสุด	2.2500	2.0833	2.1250

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

กราฟกระแสไฟฟ้าและค่ากระแสไฟฟ้าที่ได้จากทดลองของเฟส A สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.30 และตารางที่ 4.13



รูป 4.30 ค่ากระแสไฟฟ้าสภาวะ Unbalance ทางไฟฟ้า เฟส A

ตารางที่ 4.13 ค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดของกระแสไฟฟ้าที่สภาวะ Unbalance ทางไฟฟ้า เฟส A

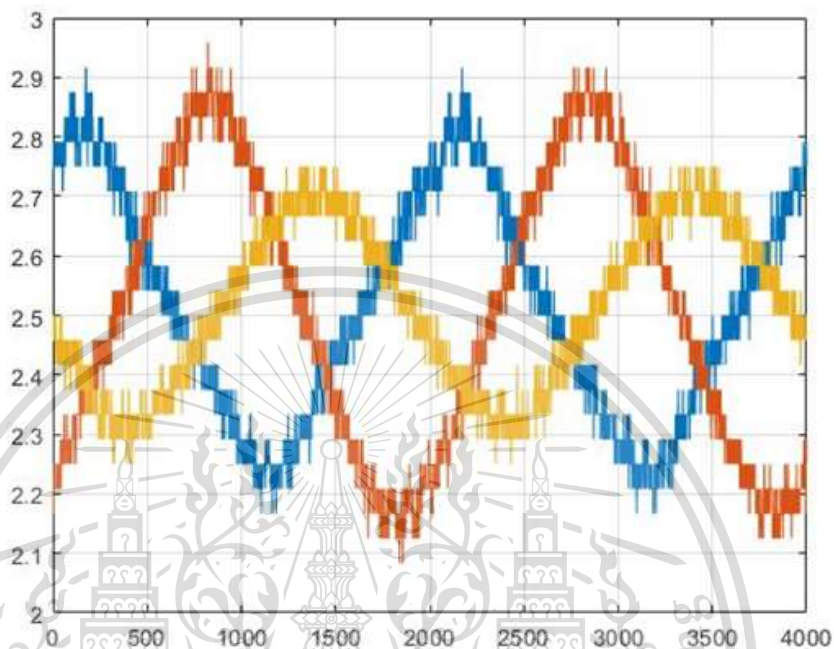
	เฟส A (A)	เฟส B (A)	เฟส C (A)
ค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุด	1.5833	2.5833	2.4167
ค่ากระแสไฟฟ้าต่ำสุด	-1.5833	-0.25833	-2.5000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

กราฟแรงดันและค่าแรงดันไฟฟ้าที่ได้จาก Hall sensor ในทดลองของเฟส B สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.31 และตารางที่ 4.14



รูปที่ 4.31 ค่าแรงดันไฟฟ้าจาก Hall sensor ที่สภาวะ Unbalance ทางไฟฟ้า เฟส B

ตารางที่ 4.14 ค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดของแรงดันไฟฟ้าที่ได้จาก Hall sensor ที่สภาวะ Unbalance ทางไฟฟ้า เฟส B

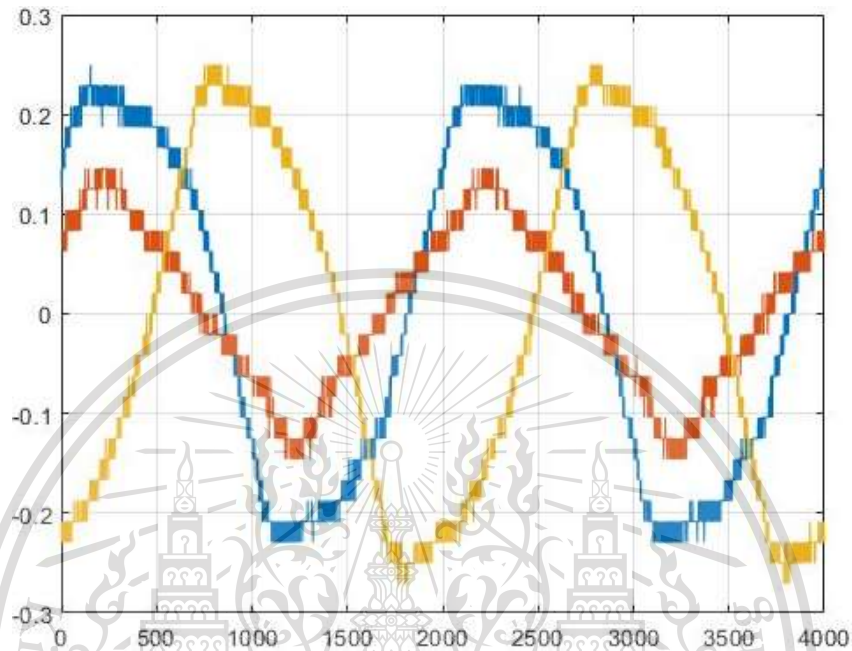
	เฟส A (V)	เฟส B (V)	เฟส C (V)
ค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุด	2.9583	2.7917	2.9167
ค่าแรงดันไฟฟ้าต่ำสุด	2.0833	2.2500	2.1667

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

กราฟกระแสไฟฟ้าและค่ากระแสไฟฟ้าที่ได้จากทดลองของเฟส B สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.32 และตารางที่ 4.15



รูป 4.32 ค่ากระแสไฟฟ้าสภาวะ Unbalance ทางไฟฟ้า เฟส B

ตารางที่ 4.15 ค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดของกระแสไฟฟ้าที่สภาวะ Unbalance ทางไฟฟ้า เฟส B

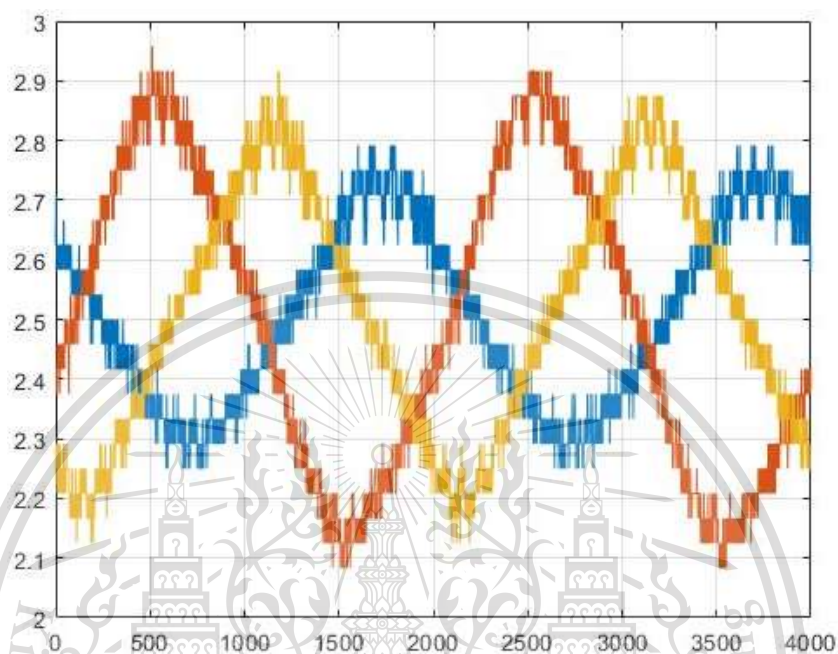
	เฟส A (A)	เฟส B (A)	เฟส C (A)
ค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุด	2.5000	1.4583	2.5000
ค่ากระแสไฟฟ้าต่ำสุด	-2.2917	-1.4583	-2.7083

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

กราฟแรงดันและค่าแรงดันไฟฟ้าที่ได้จาก Hall sensor ในทดลองของเฟส B สามารถแสดง
ได้ดังรูปที่ 4.33 และตารางที่ 4.16



รูป 4.33 ค่าแรงดันไฟฟ้าจาก Hall sensor ที่สภาวะ Unbalance ทางไฟฟ้า เฟส C

ตารางที่ 4.16 ค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดของแรงดันไฟฟ้าที่ได้จาก Hall sensor ที่สภาวะ Unbalance
ทางไฟฟ้า เฟส C

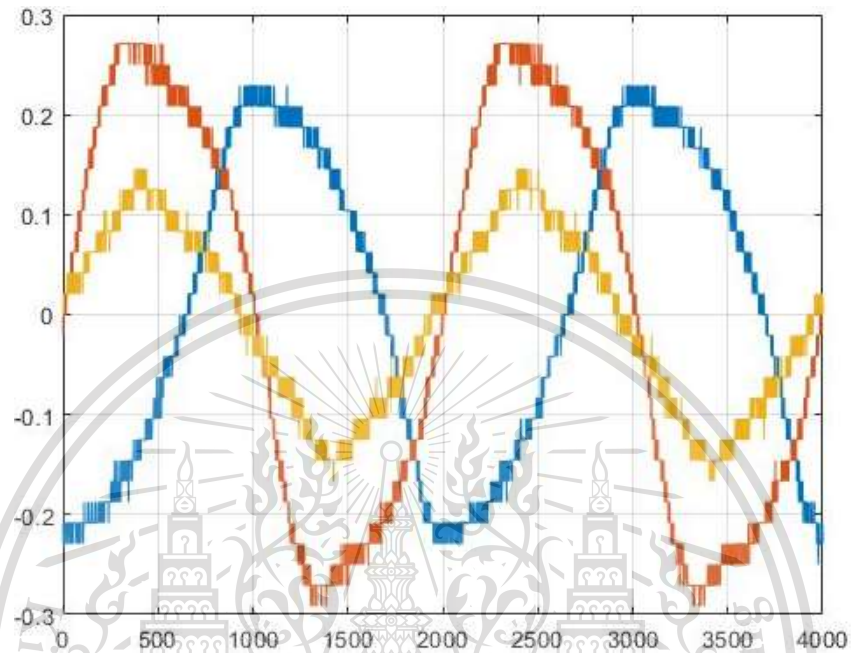
	เฟส A (V)	เฟส B (V)	เฟส C (V)
ค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุด	2.9583	2.9167	2.7917
ค่าแรงดันไฟฟ้าต่ำสุด	2.0417	2.1250	2.2083

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

กราฟกระแสไฟฟ้าและค่ากระแสไฟฟ้าที่ได้จากทดลองของเฟส B สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.34 และตารางที่ 4.17



รูป 4.34 ค่ากระแสไฟฟ้าสภาวะ Unbalance ทางไฟฟ้า เฟส C

ตารางที่ 4.17 ค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดของกระแสไฟฟ้าที่สภาวะ Unbalance ทางไฟฟ้า เฟส C

	เฟส A (A)	เฟส B (A)	เฟส C (A)
ค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุด	2.2917	2.9167	1.4583
ค่ากระแสไฟฟ้าต่ำสุด	-2.5000	-2.9167	-1.6667

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 4.18 การเปรียบเทียบค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุดจาก Hall sensor ของสภาวะ Balance กับ Unbalance ทางไฟฟ้า

	เฟส A (V)	เฟส B (V)	เฟส C (V)
Balance	2.8750	2.8750	2.8333
Unbalance เฟส A	2.7500	2.9167	2.8750
Unbalance เฟส B	2.9583	2.7917	2.9167
Unbalance เฟส C	2.9583	2.9167	2.7917

จากตารางที่ 4.18 จะเห็นได้ว่าเมื่อเกิดการ Unbalance ทางไฟฟ้าที่เฟสไหนจะทำให้ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ได้จาก Hall sensor ในเฟสนั้น จะมีค่าน้อยกว่าค่าแรงดันไฟฟ้าจาก Hall sensor ในสภาวะ Balance ทางไฟฟ้า

ตารางที่ 4.19 การเปรียบเทียบค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุดของสภาวะ Balance กับ Unbalance ทางไฟฟ้า

	เฟส A (A)	เฟส B (A)	เฟส C (A)
Balance	1.7500	1.9167	1.8333
Unbalance เฟส A	1.5833	2.5833	2.4167
Unbalance เฟส B	2.5000	1.4583	2.5000
Unbalance เฟส C	2.2917	2.9167	1.4583

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

จากตารางที่ 4.19 จะเห็นได้ว่าเมื่อเกิดการ Unbalance ทางไฟฟ้าที่เฟสไหนจะทำให้ค่า

กระแสไฟฟ้าในเฟสนั้น จะมีค่าน้อยกว่าค่ากระแสไฟฟ้าในสภาวะ Balance ทางไฟฟ้า

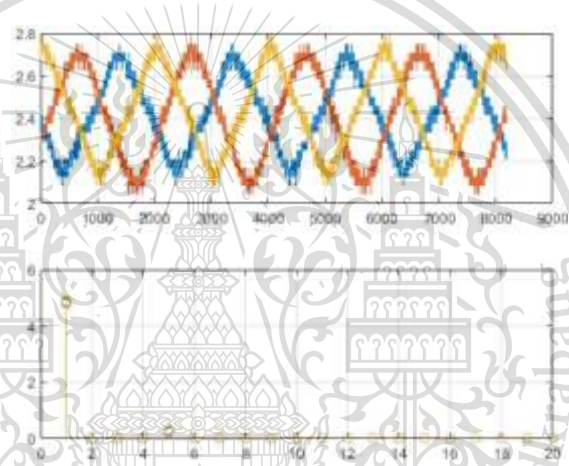
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.5 ผลวิเคราะห์สเปกตรัมของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่ได้จาก Hall sensor โดยใช้โปรแกรม MATLAB

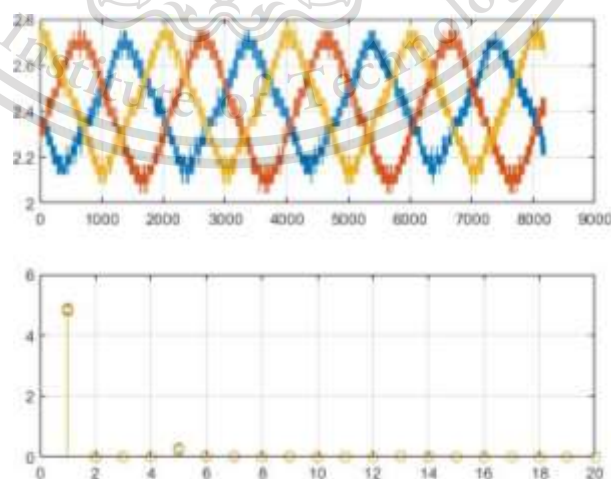
4.5.1 ผลการวิเคราะห์สเปกตรัมของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่ได้จาก Hall sensor ในกรณี Balance กับ Unbalance ทางกล

โดยการนำข้อมูลแรงดันไฟฟ้าจาก Hall sensor ที่วัดได้จาก Oscilloscope ที่เป็นไฟล์ .CSV นำไปใช้วิเคราะห์สเปกตรัมโดยการใช้ฟังก์ชัน FFT ในโปรแกรม MATLAB ได้ค่าสเปกตรัมของแรงดันไฟฟ้าจาก Hall sensor ที่สภาวะ Balance และ Unbalance ทางไฟฟ้าตามรูปที่ 4.35 และ รูปที่ 4.36 และตารางที่ 4.20



รูปที่ 4.35 ด้านบนแสดงค่าแรงดันไฟฟ้าจาก Hall sensor

ด้านล่างแสดงค่าสเปกตรัมของแรงดันไฟฟ้าด้านบน ที่สภาวะ Balance ทางกล



รูปที่ 4.36 ด้านบนแสดงค่าแรงดันไฟฟ้าจาก Hall sensor

ด้านล่างแสดงค่าสเปกตรัมของแรงดันไฟฟ้าด้านบน ที่สภาวะ Unbalance ทางกล

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตาราง 4.20 เปรียบเทียบค่าสเปกตรัมของแรงดันไฟฟ้าจาก Hall sensor ที่สภาวะ Balance กับ Unbalance ทางกล

ลำดับที่	Balance ทางกล			Unbalance ทางกล		
	เฟส A	เฟส B	เฟส C	เฟส A	เฟส B	เฟส C
1	4.8430	4.8058	4.8783	4.8483	4.8145	4.8810
2	0.0066	0.0047	0.0146	0.0058	0.0037	0.0134
3	0.0096	0.0073	0.0173	0.0091	0.0093	0.0157
4	0.0194	0.0220	0.0284	0.0186	0.0203	0.0261
5	0.2321	0.2770	0.2615	0.2325	0.2789	0.2621
6	0.0265	0.0340	0.0243	0.0255	0.0319	0.0223
7	0.0126	0.0184	0.0077	0.0129	0.0172	0.0082
8	0.0093	0.0121	0.0046	0.0084	0.0121	0.0053
9	0.0081	0.0102	0.0012	0.0077	0.0098	0.0019
10	0.0061	0.0085	0.0023	0.0057	0.0088	0.0015
11	0.0052	0.0081	0.0015	0.0043	0.0075	0.0014
12	0.0056	0.0089	0.0037	0.0057	0.0084	0.0042
13	0.0246	0.0194	0.02432	0.0239	0.0204	0.0245
14	0.0114	0.0049	0.0118	0.0116	0.0040	0.0109
15	0.0061	0.0032	0.0056	0.0064	0.0029	0.0048
16	0.0047	0.0029	0.0038	0.0041	0.0021	0.0035
17	0.0037	0.0030	0.0027	0.0036	0.0030	0.0027
18	0.0038	0.0024	0.0022	0.0038	0.0022	0.0024
19	0.0037	0.0025	0.0015	0.0030	0.0030	0.0011
20	0.0032	0.0027	0.0007	0.0035	0.0031	0.0004

จากตารางที่ 4.20 จะเห็นได้ว่าค่าสเปกตรัมลำดับที่ 1 ของสภาวะ Unbalance ทางกล มีค่ามากกว่าค่าสเปกตรัมลำดับที่ 1 ของสภาวะ Balance ทางกล ทั้งเฟส A , B และ C

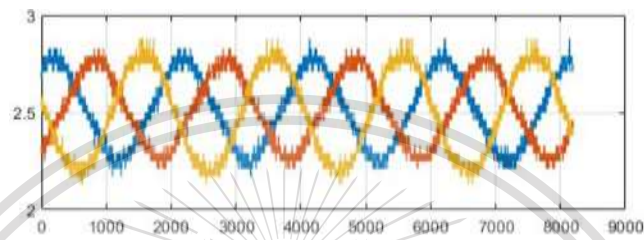
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

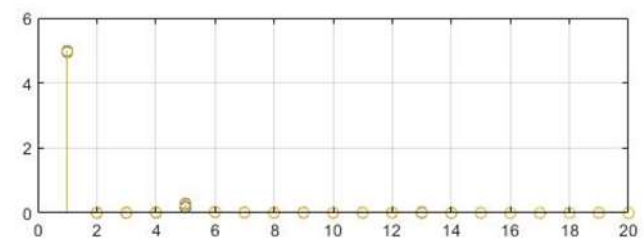
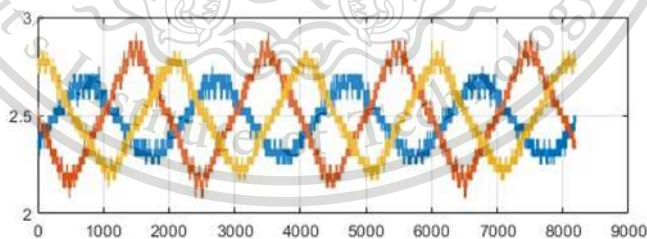
4.5.2 ผลการวิเคราะห์สเปกตรัมของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่ได้จาก Hall sensor ในกรณี Balance กับ Unbalance ทางไฟฟ้า

โดยการนำข้อมูลแรงดันไฟฟ้าจาก Hall sensor ที่วัดได้จาก Oscilloscope ที่เป็นไฟล์ .CVC นำไปใช้วิเคราะห์สเปกตรัมโดยการใช้ฟังก์ชัน FFT ในโปรแกรม MATLAB ได้ค่าสเปกตรัมของแรงดันไฟฟ้าจาก Hall sensor ที่สภาวะ Balance และ Unbalance ทางไฟฟ้าของเฟส A , เฟส B และเฟส C ดังรูปที่ 4.37 , รูปที่ 4.38 รูปที่ 4.39 และรูปที่ 4.40 ตามลำดับ



รูปที่ 4.37 ด้านบนแสดงค่าแรงดันไฟฟ้าจาก Hall sensor

ด้านล่างแสดงค่าสเปกตรัมของแรงดันไฟฟ้าด้านบน ที่สภาวะ Balance ทางไฟฟ้า



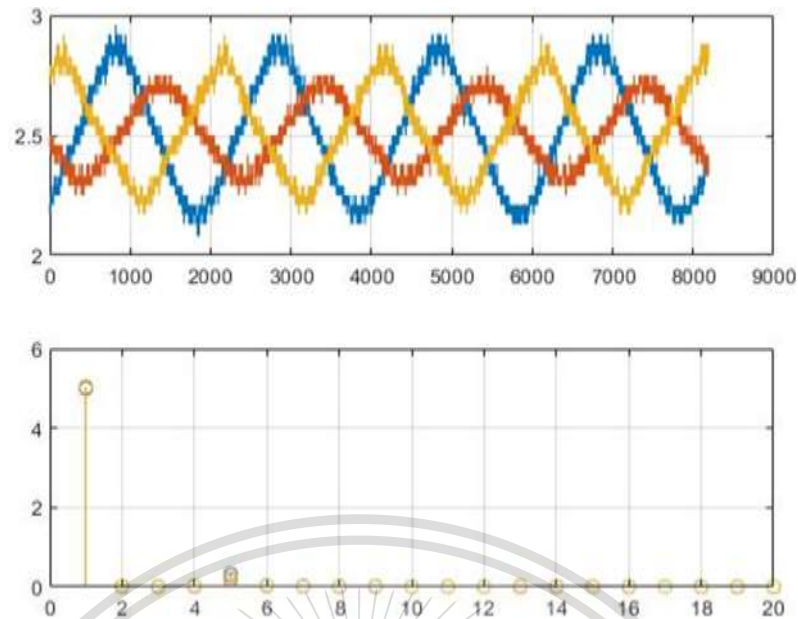
รูปที่ 4.38 ด้านบนแสดงค่าแรงดันไฟฟ้าจาก Hall sensor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งนี้ ด้านล่างแสดงค่าสเปกตรัมของแรงดันไฟฟ้าด้านบน ที่สภาวะ Unbalance ทางไฟฟ้า เฟส A นำไปใช้

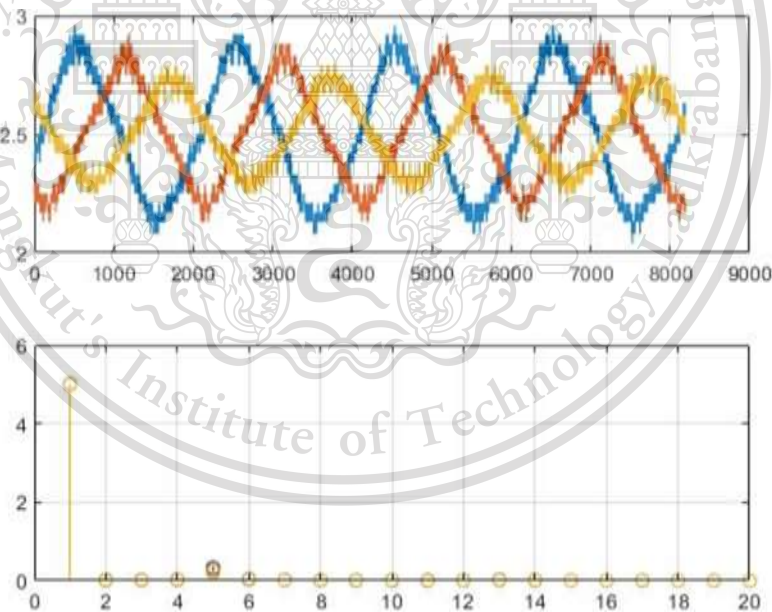
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.39 ด้านบนแสดงค่าแรงดันไฟฟ้าจาก Hall sensor

ด้านล่างแสดงค่าสเปกตรัมของแรงดันไฟฟ้าด้านบน ที่สภาวะ Unbalance ทางไฟฟ้า เฟส B



รูปที่ 4.40 ด้านบนแสดงค่าแรงดันไฟฟ้าจาก Hall sensor

ด้านล่างแสดงค่าสเปกตรัมของแรงดันไฟฟ้าด้านบน ที่สภาวะ Unbalance ทางไฟฟ้า เฟส C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตาราง 4.21 เปรียบเทียบค่าสเปกตรัมของแรงดันไฟฟ้าจาก Hall sensor ที่สภาวะ Balance กับ Unbalance เฟส A ทางไฟฟ้า

ลำดับที่	Balance			Unbalance เฟส A		
	เฟส A	เฟส B	เฟส C	เฟส A	เฟส B	เฟส C
1	4.9858	5.0364	5.0184	4.9585	4.9895	4.9975
2	0.0037	0.0124	0.0073	0.0038	0.0053	0.0132
3	0.0064	0.0151	0.0109	0.0076	0.0078	0.0167
4	0.0226	0.0248	0.0212	0.0135	0.0213	0.0258
5	0.2935	0.2529	0.2402	0.1778	0.2848	0.2525
6	0.0350	0.0237	0.0261	0.0208	0.0334	0.0221
7	0.0185	0.0108	0.0124	0.0114	0.0181	0.0089
8	0.0125	0.0065	0.0095	0.0071	0.0123	0.0040
9	0.0105	0.0059	0.0083	0.0066	0.0111	0.0022
10	0.0078	0.0025	0.0044	0.0045	0.0087	0.0019
11	0.0066	0.0014	0.0045	0.0036	0.0077	0.0014
12	0.0052	0.0006	0.0037	0.0037	0.0105	0.0029
13	0.0035	0.0105	0.0108	0.0094	0.0302	0.0213
14	0.0077	0.0071	0.0073	0.0034	0.0106	0.0099
15	0.0056	0.0040	0.0043	0.0019	0.0046	0.0005
16	0.0045	0.0030	0.0031	0.0021	0.0036	0.0033
17	0.0041	0.0038	0.0044	0.0008	0.0031	0.0024
18	0.0046	0.0014	0.00222	0.0025	0.0035	0.0018
19	0.0043	0.0017	0.0016	0.0013	0.0036	0.0010
20	0.0049	0.0014	0.0021	0.0017	0.0023	0.0016

จากตารางที่ 4.21 จะเห็นว่าค่าสเปกตรัมลำดับที่ 5 ของแรงดันไฟฟ้าเฟส A ที่สภาวะ Unbalance มีค่าน้อยกว่าค่าสเปกตรัมลำดับที่ 5 ของแรงดันไฟฟ้าเฟส A ที่สภาวะ Balance

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตาราง 4.22 เปรียบเทียบค่าสเปกตรัมของแรงดันไฟฟ้าจาก Hall sensor ที่สภาวะ Balance กับ Unbalance เฟส B ทางไฟฟ้า

ลำดับที่	Balance			Unbalance เฟส B		
	เฟส A	เฟส B	เฟส C	เฟส A	เฟส B	เฟส C
1	4.9858	5.0364	5.0184	5.0037	5.0258	5.0422
2	0.0037	0.0124	0.0073	0.0108	0.0047	0.0139
3	0.0064	0.0151	0.0109	0.0127	0.0084	0.0187
4	0.0226	0.0248	0.0212	0.0288	0.0150	0.0271
5	0.2935	0.2529	0.2402	0.3232	0.1824	0.2580
6	0.0350	0.0237	0.0261	0.0358	0.0209	0.0233
7	0.0185	0.0108	0.0124	0.0195	0.0103	0.0077
8	0.0125	0.0065	0.0095	0.0122	0.0072	0.0036
9	0.0105	0.0059	0.0083	0.0157	0.0059	0.0047
10	0.0078	0.0025	0.0044	0.0049	0.0047	0.0026
11	0.0066	0.0014	0.0045	0.0052	0.0038	0.0009
12	0.0052	0.0006	0.0037	0.0054	0.0045	0.0039
13	0.0035	0.0105	0.0108	0.0146	0.0106	0.0238
14	0.0077	0.0071	0.0073	0.0083	0.0042	0.0119
15	0.0056	0.0040	0.0043	0.0047	0.0025	0.0053
16	0.0045	0.0030	0.0031	0.0039	0.0029	0.0046
17	0.0041	0.0038	0.0044	0.0043	0.0044	0.0043
18	0.0046	0.0014	0.00222	0.0040	0.0014	0.0012
19	0.0043	0.0017	0.0016	0.0032	0.0015	0.0021
20	0.0049	0.0014	0.0021	0.0028	0.0020	0.0016

จากตารางที่ 4.22 จะเห็นว่าค่าสเปกตรัมลำดับที่ 5 ของแรงดันไฟฟ้าเฟส B ที่สภาวะ Unbalance มีค่าน้อยกว่าค่าสเปกตรัมลำดับที่ 5 ของแรงดันไฟฟ้าเฟส B ที่สภาวะ Balance

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตาราง 4.23 เปรียบเทียบค่าสเปกตรัมของแรงดันไฟฟ้าจาก Hall sensor ที่สภาวะ Balance กับ Unbalance เฟส C ทางไฟฟ้า

ลำดับที่	Balance			Unbalance เฟส C		
	เฟส A	เฟส B	เฟส C	เฟส A	เฟส B	เฟส C
1	4.9858	5.0364	5.0184	5.0000	5.0061	5.0192
2	0.0037	0.0124	0.0073	0.0034	0.0157	0.0045
3	0.0064	0.0151	0.0109	0.0102	0.0184	0.0081
4	0.0226	0.0248	0.0212	0.0251	0.0286	0.0159
5	0.2935	0.2529	0.2402	0.3359	0.2777	0.2036
6	0.0350	0.0237	0.0261	0.0401	0.0259	0.0239
7	0.0185	0.0108	0.0124	0.0199	0.0106	0.0116
8	0.0125	0.0065	0.0095	0.0146	0.0049	0.0079
9	0.0105	0.0059	0.0083	0.0126	0.0034	0.0068
10	0.0078	0.0025	0.0044	0.0107	0.0010	0.0068
11	0.0066	0.0014	0.0045	0.0099	0.0009	0.0056
12	0.0052	0.0006	0.0037	0.0101	0.0032	0.0056
13	0.0035	0.0105	0.0108	0.0259	0.0233	0.0146
14	0.0077	0.0071	0.0073	0.0090	0.0113	0.0041
15	0.0056	0.0040	0.0043	0.0047	0.0057	0.0024
16	0.0045	0.0030	0.0031	0.0052	0.0033	0.0025
17	0.0041	0.0038	0.0044	0.0069	0.0030	0.0018
18	0.0046	0.0014	0.00222	0.0021	0.0021	0.0026
19	0.0043	0.0017	0.0016	0.0030	0.0011	0.0019
20	0.0049	0.0014	0.0021	0.0030	0.0017	0.0013

จากตารางที่ 4.23 จะเห็นว่าค่าสเปกตรัมลำดับที่ 5 ของแรงดันไฟฟ้าเฟส C ที่สภาวะ Unbalance มีค่าน้อยกว่าค่าสเปกตรัมลำดับที่ 5 ของแรงดันไฟฟ้าเฟส C ที่สภาวะ Balance

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.6 ผลการเขียนโปรแกรมตรวจสอบสถานะของ induction motor

ผลการทดลองการเขียนโปรแกรมตรวจสอบสถานะ ของ induction motor โดย การเขียนโปรแกรมภาษา Python รับข้อมูลที่เป็นไฟล์ CSV จาก Oscilloscope ในสถานะต่าง ๆ มาแสดงเป็นรูปคลื่นและค่าของแรงดันไฟฟ้า จาก Hall sensor , กระแสไฟฟ้า และ บอกรหัสสถานะของมอเตอร์ ซึ่งเขียนโค้ดได้ดังรูปที่ 4.41

```

7 import numpy as np
8 import matplotlib.pyplot as plt
9 import pandas as pd
10 from scipy import fftpack
11 #Balance
12 dataframe_ba = pd.read_csv(r'C:/Users/user/Desktop/unbalance ค่าจก/V ba python.csv')
13 da_ba = pd.DataFrame(dataframe_ba,columns=['a'])
14 db_ba = pd.DataFrame(dataframe_ba,columns=['b'])
15 dc_ba = pd.DataFrame(dataframe_ba,columns=['c'])
16 b_ba = db_ba.loc[:, 'b'].to_numpy()
17 a_ba = da_ba.loc[:, 'a'].to_numpy()
18 c_ba = dc_ba.loc[:, 'c'].to_numpy()
19 #Unbalance
20 dataframe_un = pd.read_csv(r'C:/Users/user/Desktop/unbalance ค่าจก/V un A python.csv')
21 da_un = pd.DataFrame(dataframe_un,columns=['a'])
22 db_un = pd.DataFrame(dataframe_un,columns=['b'])
23 dc_un = pd.DataFrame(dataframe_un,columns=['c'])
24 b_un = db_un.loc[:, 'b'].to_numpy()
25 a_un = da_un.loc[:, 'a'].to_numpy()
26 c_un = dc_un.loc[:, 'c'].to_numpy()
27 plt.plot(a_un)
28 plt.plot(b_un)
29 plt.plot(c_un)
30 plt.show()
31 #Unbalance current
32 dataframe_unC = pd.read_csv(r'C:/Users/user/Desktop/unbalance ค่าจก/I unA python.csv')
33 da_unC = pd.DataFrame(dataframe_unC,columns=['a'])
34 db_unC = pd.DataFrame(dataframe_unC,columns=['b'])
35 dc_unC = pd.DataFrame(dataframe_unC,columns=['c'])
36 b_unC = db_unC.loc[:, 'b'].to_numpy()*10
37 a_unC = da_unC.loc[:, 'a'].to_numpy()*10
38 c_unC = dc_unC.loc[:, 'c'].to_numpy()*10
39 plt.plot(a_unC)
40 plt.plot(b_unC)
41 plt.plot(c_unC)
42 plt.show()
43 # ตรวจสอบสถานะ
44 # Max Balance
45 max_a_ba = max(a_ba)
46 max_b_ba = max(b_ba)
47 max_c_ba = max(c_ba)
48 # Max Unbalance
49 max_a_un = max(a_un)
50 max_b_un = max(b_un)
51 max_c_un = max(c_un)
52 print('V phase A',max_a_un)
53 print('V phase B',max_b_un)
54 print('V phase C',max_c_un)
55 # Max Unbalance Current
56 max_a_unC = max(a_unC)
57 max_b_unC = max(b_unC)
58 max_c_unC = max(c_unC)
59 print('Current phase A',max_a_unC)
60 print('Current phase B',max_b_unC)
61 print('Current phase C',max_c_unC)
62 # Condition
63 if max_a_un < max_a_ba:
64     print('Unbalance phase A')
65 elif max_b_un < max_b_ba:
66     print('Unbalance phase B')
67 elif max_c_un < max_c_ba:
68     print('Unbalance phase c')
69

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวน

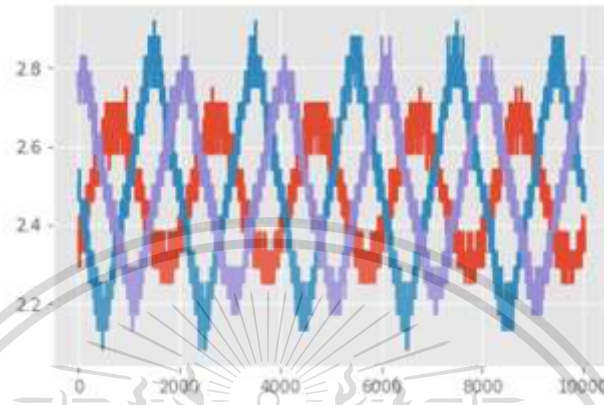
ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
รูปที่ 4.41 โค้ดที่นำมาใช้ในการแสดงค่าของแรงดันไฟฟ้าจาก Hall sensor และค่ากระแสไฟฟ้า

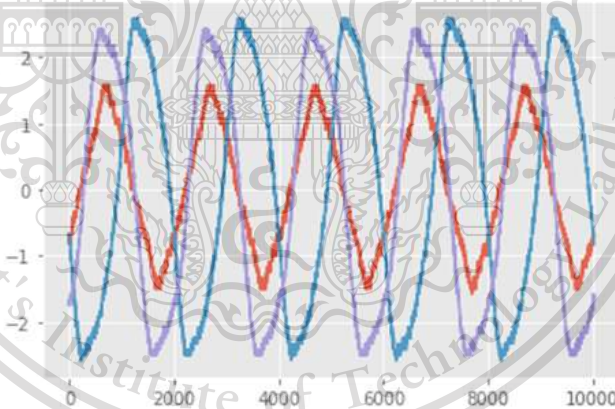
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ผลการทดสอบโปรแกรมโดยการใส่ข้อมูลที่สภาวะ Unbalance ทางไฟฟ้าเฟส A โดยจะแสดงรูปคลื่นและค่าของแรงดันไฟฟ้า จาก Hall sensor, กระแสไฟฟ้า และ บอกรหัสของมอเตอร์ ซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.42 , รูปที่ 4.43 และรูปที่ 4.44 ตามลำดับ



รูปที่ 4.42 รูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าของ Hall sensor จากตัวโค้ดในสภาวะ Unbalance ของไฟฟ้าเฟสA



รูปที่ 4.43 รูปคลื่นกระแสไฟฟ้าของ Hall sensor จากตัวโค้ดในสภาวะ Unbalance ของไฟฟ้าเฟสA

```
V phase A 2.75
V phase B 2.92
V phase C 2.88
Current phase A 1.58
Current phase B 2.58
Current phase C 2.42
Unbalance phase A
```

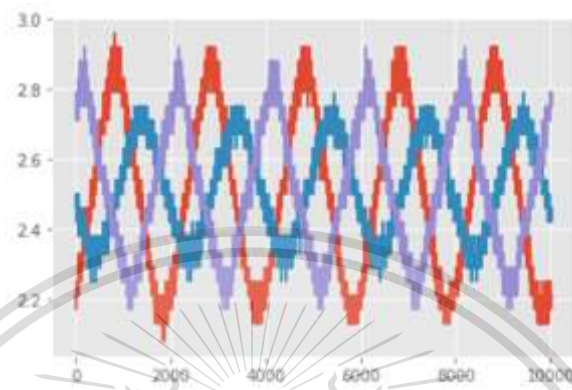
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

รูปที่ 4.44 ค่าแรงดันไฟฟ้าของ Hall sensor , กระแสไฟฟ้า และ สภาวะมอเตอร์จากตัวโค้ด
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
ในสภาวะ Unbalance ของไฟฟ้าเฟส A

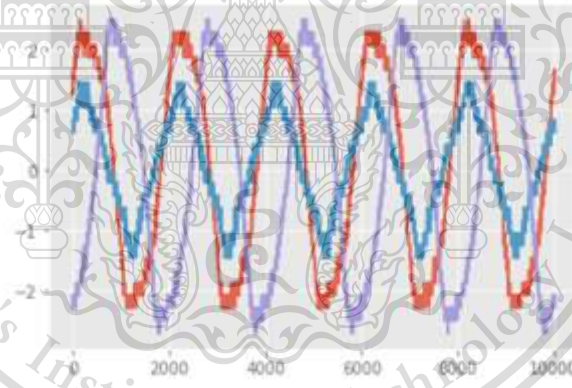
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ผลการทดสอบโปรแกรมโดยการใส่ข้อมูลที่สภาวะ Unbalance ทางไฟฟ้าเฟส B โดยจะแสดง รูปคลื่นและค่าของแรงดันไฟฟ้า จาก Hall sensor , กระแสไฟฟ้า และ บอกรหัสของมอเตอร์ ซึ่ง สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.45 , รูปที่ 4.46 และรูปที่ 4.47 ตามลำดับ



รูปที่ 4.45 รูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าของ Hall sensor จากตัวโค้ดในสภาวะ Unbalance ของไฟฟ้าเฟสB



รูปที่ 4.46 รูปคลื่นกระแสไฟฟ้าของ Hall sensor จากตัวโค้ดในสภาวะ Unbalance ของไฟฟ้าเฟสB

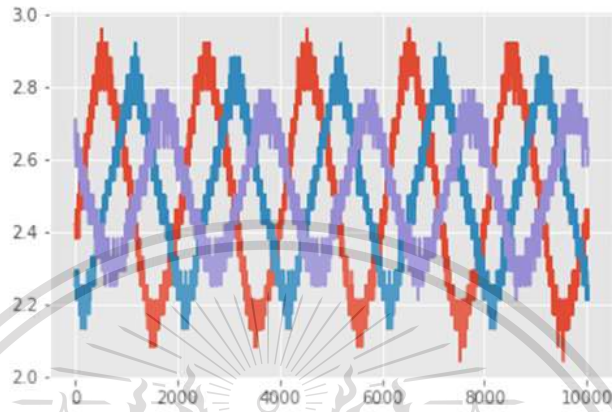
```
V phase A 2.96
V phase B 2.79
V phase C 2.92
Current phase A 2.5
Current phase B 1.46
Current phase C 2.5
Unbalance phase B
```

รูปที่ 4.47 ค่าแรงดันไฟฟ้าของ Hall sensor , กระแสไฟฟ้า และ รหัสของมอเตอร์จากตัวโค้ดด้านการค้า เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในเชิงพาณิชย์ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงแหล่งของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ ในสภาวะ Unbalance ของไฟฟ้าเฟส B

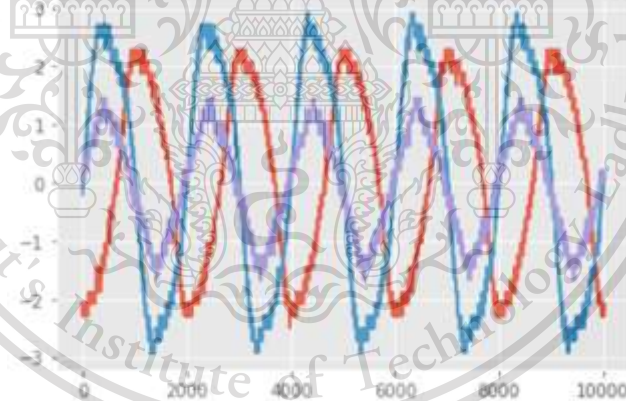
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ผลการทดสอบโปรแกรมโดยการใส่ข้อมูลที่สภาวะ Unbalance ทางไฟฟ้าเฟส C โดยจะแสดง รูปคลื่นและค่าของแรงดันไฟฟ้า จาก Hall sensor , กระแสไฟฟ้า และ บอกรสภาวะของมอเตอร์ ซึ่ง สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.48 , รูปที่ 4.49 และรูปที่ 4.50 ตามลำดับ



รูปที่ 4.48 รูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าของ Hall sensor จากตัวโค้ดในสภาวะ Unbalance ของไฟฟ้าเฟสC



รูปที่ 4.49 รูปคลื่นกระแสไฟฟ้าของ Hall sensor จากตัวโค้ดในสภาวะ Unbalance ของไฟฟ้าเฟสC

```
V phase A 2.96
V phase B 2.92
V phase C 2.79
Current phase A 2.29
Current phase B 2.92
Current phase C 1.46
Unbalance phase c
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

รูปที่ 4.50 ค่าแรงดันไฟฟ้าของ Hall sensor , กระแสไฟฟ้า และ สภาวะมอเตอร์จากตัวโค้ด
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในสภาวะ Unbalance ของไฟฟ้าเฟส C

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการทดลองที่ 1 ผลของการหาตำแหน่งขดลวดเฟส A , B และ C ด้วยการใช้ search coil

จากการทดลองสามารถหาตำแหน่งขดลวดเฟส A , B และ C ได้จากการจำลองค่ากระแสที่ 0 องศา 120 องศา และ 240 องศา โดยการต่อขดลวดเฟส A , B และ C เข้าวงจรเรียงกระแส (Bridge rectifier) แล้วใช้เข็มทิศหาทิศทางฟลักซ์แม่เหล็ก แล้วตรวจสอบตำแหน่งของขดลวดเฟส A , B และ C โดยการใช้ search coil ที่มีจุดอ้างอิงเป็นแรงดันไฟฟ้าเฟส A ซึ่งผลที่ได้คือตำแหน่งขดลวดเฟส A แรงดันไฟฟ้าที่วัดได้จาก search coil ทับกันพอดีกับแรงดันไฟฟ้าเฟส A ตำแหน่งขดลวดเฟส B แรงดันไฟฟ้าที่วัดได้จาก search coil ตามหลังแรงดันไฟฟ้าเฟส A อยู่ 120 องศา ตำแหน่งขดลวดเฟส C แรงดันไฟฟ้าที่วัดได้จาก search coil ตามหลังแรงดันไฟฟ้าเฟส A อยู่ 240 องศา

สรุปผลการทดลองที่ 2 ผลการทดสอบสนามแม่เหล็กโดยใช้ Hall sensor ของมอเตอร์ที่สภาวะ No-load

จากการทดลองพบว่าเมื่อเพิ่มแรงดันให้กับมอเตอร์ค่า Output Voltage ของ Hall sensor จะมีค่าเพิ่มขึ้นเป็นไปตาม $E = 4.44fN\Phi$ (แต่ในการทดลองแรงดันเพิ่มขึ้นค่อนข้างน้อย) และแสดงให้เห็นว่าฟลักซ์แม่เหล็กในเฟสต่าง ๆ แปรผันตามแหล่งจ่ายไฟเนื่องจากสัญญาณจาก Hall sensor ที่วัดได้เป็นรูปคลื่นแบบ Sinusoidal ที่มีความถี่ 50 Hz และฟลักซ์แม่เหล็กที่เฟส A , B และ C ต่างกัน 120 องศาซึ่งเหมือนกับแหล่งจ่าย 3 Phase ขาเข้าของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

สรุปผลการทดลองที่ 3 ผลการทดสอบสนามแม่เหล็กโดยใช้ Hall sensor ของมอเตอร์ที่สภาวะ Balance และ Unbalance ทางกล

จากการทดลองเมื่อนำสภาวะทั้งสองมาเปรียบเทียบกันด้วยกราฟจาก Oscilloscope ทั้งสองเอกสารนี้เป็นสภาวะมีความแตกต่างกันที่แรงดันของ Hall sensor และ ค่ากระแสซึ่งในกรณี Unbalance ค่าแรงดันที่อาร์คไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

วัดได้จาก Hall sensor และ ค่ากระแสมีค่ามากกว่าในกรณี Balance ในทางกายภาพสามารถเห็นความแตกต่างได้อย่างชัดเจนคือในกรณี Unbalance เนื่องมาจากการสั่นสะเทือนของมอเตอร์ที่รับภาระมากขึ้นและการหมุนที่ไม่สมดุลเมื่อเทียบกับกรณี Balance ซึ่งสามารถดูสัญญาณการสั่นสะเทือนได้จาก accelerometer

สรุปผลการทดลองที่ 4 ผลการทดสอบสนามแม่เหล็กโดยใช้ Hall sensor ของมอเตอร์ที่สภาวะ Balance และ Unbalance ทางไฟฟ้า

จากการทดลองสภาวะ Balance และ Unbalance จากการทดลองเมื่อนำสภาวะทั้งสองมาเปรียบเทียบกัน จากตารางที่ 4.18 ทั้งสองสภาวะมีความแตกต่างกันที่แรงดันของ Hall sensor ซึ่งในกรณี Unbalance เฟส A จะมีค่าแรงดันไฟฟ้าจาก Hall sensor เฟส A น้อยกว่าค่าแรงดันไฟฟ้าจาก Hall sensor เฟส A ของกรณี Balance กรณี Unbalance เฟส B จะมีค่าแรงดันไฟฟ้าจาก Hall sensor เฟส B น้อยกว่าค่าแรงดันไฟฟ้าจาก Hall sensor เฟส B ของกรณี Balance กรณี Unbalance เฟส C จะมีค่าแรงดันไฟฟ้าจาก Hall sensor เฟส C น้อยกว่าค่าแรงดันไฟฟ้าจาก Hall sensor เฟส C ของกรณี Balance เนื่องจากกระแสไฟฟ้าในเฟสที่มีการลดแรงดันมีค่าน้อยกว่าปกติจึงทำให้แรงดันไฟฟ้าจาก Hall sensor ในเฟสที่มีการลดแรงดันไฟฟ้ามี่ค่าน้อยลง

สรุปผลการทดลองที่ 5 ผลวิเคราะห์สเปกตรัมของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่ได้จาก Hall sensor โดยใช้โปรแกรม MATLAB

จากตารางที่ 4.20 ที่สภาวะ Balance และ Unbalance ทางกล สามารถดูความแตกต่างของทั้ง 2 กรณีได้เมื่อดูค่าที่วิเคราะห์มาได้จากแรงดันไฟฟ้าจาก Hall sensor ใน สเปกตรัมลำดับที่ 1 จะเห็นว่าค่าที่ได้จากกรณี Balance จะมีค่าน้อยกว่า กรณี Unbalance ในทุก ๆ เฟส

จากตารางที่ 4.21 , 4.22 และ 4.23 ที่สภาวะ Balance และ Unbalance ทางไฟฟ้า สามารถดูความแตกต่างของทั้ง 2 กรณีได้เมื่อดูค่าที่วิเคราะห์มาได้จากแรงดันไฟฟ้าจาก Hall sensor ใน สเปกตรัมลำดับที่ 5 จะเห็นได้ว่าเมื่อเกิดการ Unbalance ที่เฟสไหนแล้วค่าที่ได้จาก สเปกตรัมลำดับที่ 5 ของเฟสนั้นก็จะมีค่าน้อยที่สุดและน้อยกว่ากรณี Balance

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 5.1 สรุปความแตกต่างจากสถานะ Balance กับ Unbalance ทางกล และ สถานะ Balance กับ Unbalance ทางไฟฟ้า

	ความแตกต่างสถานะ Balance กับ Unbalance ทางกล		ความแตกต่างสถานะ Balance กับ Unbalance ทางไฟฟ้า	
	ชัดเจน	ไม่ชัดเจน	ชัดเจน	ไม่ชัดเจน
ค่าแรงดันไฟฟ้าจาก Hall sensor	✓		✓	
ค่ากระแสไฟฟ้า	✓		✓	
ค่าสเปกตรัมลำดับที่ 1	✓			✓
ค่าสเปกตรัมลำดับที่ 5	✓		✓	

จากตารางที่ 5.1 จะเห็นได้ว่าความแตกต่างของสถานะ Balance กับ Unbalance ทางกล จะสามารถเห็นผลการทดลองได้ชัดเจนมากกว่าความแตกต่างสถานะ Balance กับ Unbalance ทางไฟฟ้า

สรุปผลการทดลองที่ 6 การเขียนโปรแกรมตรวจสอบสถานะของ induction motor

จากการเขียนโปรแกรมสามารถเขียนโค้ดที่แสดงแรงดันไฟฟ้าจาก Hall sensor และกระแสไฟฟ้าออกมาเป็นค่าตัวเลขและสามารถพล็อตข้อมูลที่ได้ออกมาเป็นรูปคลื่นแล้วสามารถนำข้อมูลแรงดันไฟฟ้าจาก Hall sensor ไปแสดงสถานะของมอเตอร์ได้

ปัญหาและอุปสรรค

1. ปัญหาวัดค่าแรงดันไฟฟ้าจาก Hall sensor ไม่เพิ่มตามแรงดันไฟฟ้าที่มีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เนื่องจากความละเอียดในการจับการเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็กไม่มากพอ
2. ปัญหาในการติดตั้ง Hall sensor เนื่องจากมีความยากในการติดตั้งลงในร่องสล๊อตและเสียเวลาในการถอดประกอบมอเตอร์ตอนที่ Hall sensor เกิดความเสียหายแล้วจำเป็นต้องติดตั้งตัวใหม่
3. ปัญหาเนื่องจากโค้ดที่เขียนยังไม่สามารถนำไปใช้เพื่อสร้างเครื่องมือตรวจสอบได้โดยตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ข้อเสนอแนะ

1. ทำการเปลี่ยนยี่ห้อ Hall sensor ที่มีความละเอียดในการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กได้ดีขึ้น
2. ทำการหาตำแหน่งในการติดตั้ง Hall sensor ใหม่โดยสามารถเปลี่ยน Hall sensor ตัวใหม่เข้าไปได้ง่ายยิ่งขึ้น
3. จากโค้ดที่เขียนขึ้นนำไปเป็นซอร์สโค้ดแล้วแก้ไขโค้ดเพื่อสร้างเครื่องมือในการตรวจสอบมอเตอร์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

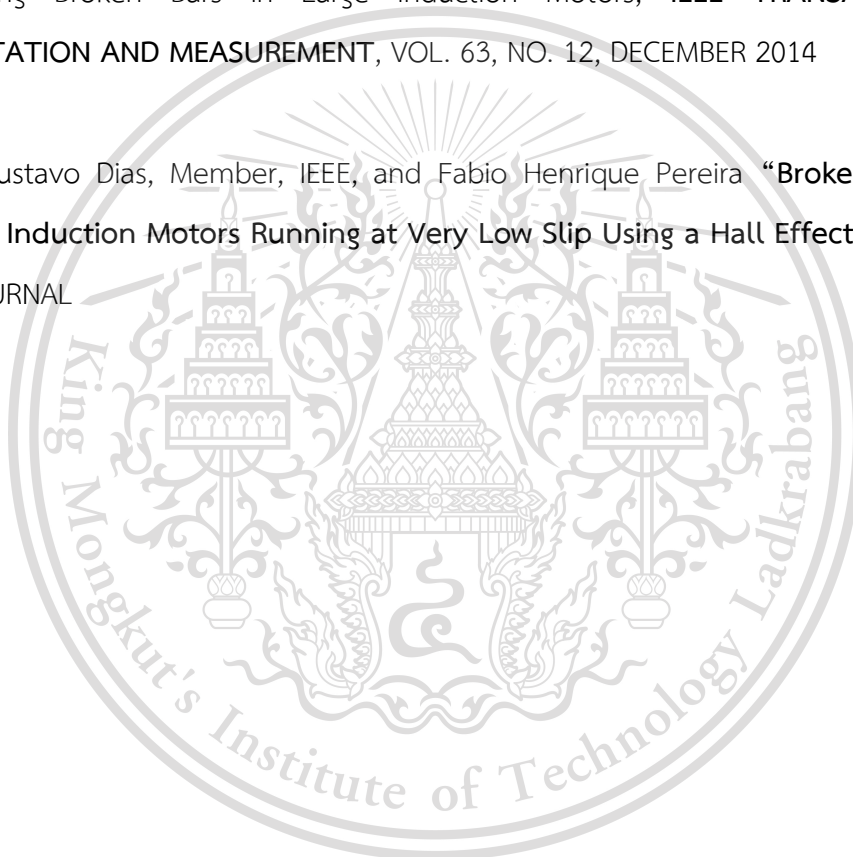
เอกสารอ้างอิง

[1] ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, เอกสารประกอบการทดลอง Electrical Engineering Laboratory IV, 2560

[2] รศ.ดร.ชัยวุฒิ ฉัตรอุทัย, เอกสารประกอบการสอนเครื่องจักรกลไฟฟ้า, 2018

[3] Cleber G. Dias, Member, IEEE, and Ivan E. Chabu, Spectral Analysis Using a Hall Effect Sensor for Diagnosing Broken Bars in Large Induction Motors, **IEEE TRANSACTIONS ON INSTRUMENTATION AND MEASUREMENT**, VOL. 63, NO. 12, DECEMBER 2014

[4] Cleber Gustavo Dias, Member, IEEE, and Fabio Henrique Pereira “Broken Rotor Bars Detection in Induction Motors Running at Very Low Slip Using a Hall Effect Sensor” **IEEE SENSORS JOURNAL**



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ระบบตรวจติดตามการทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

A MONITORING SYSTEM FOR INDUCTION MOTOR OPERATION

นางสาวชญาณิช วิไลศักดิ์ทิพาภรณ์ นางสาวชนาพร ช่วยรักษา

นายฐิติโชติ กิจนาลาภเจริญ และ นางสาวฐิติมา คล้ายขยาย

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

1 ซอย ฉลองกรุง 1 แขวงลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้นำเสนอการศึกษาและวิเคราะห์สาเหตุที่ทำให้เกิดการสั่นสะเทือนในมอเตอร์เหนี่ยวนำ โดยการตรวจจับสนามแม่เหล็กไฟฟ้า การวัดสัญญาณด้วยสนามแม่เหล็กไฟฟ้า กระแส และแรงดันของทั้ง 3 เฟสในกรณีต่าง ๆ จากนั้นวิเคราะห์สัญญาณสนามแม่เหล็กไฟฟ้าจาก Hall sensor แล้วนำไปเปรียบเทียบการสั่นสะเทือนจากการวัดด้วย Accelerometer ในสภาวะต่าง ๆ เพื่อให้สามารถระบุความผิดปกติของมอเตอร์เหนี่ยวนำได้จากสนามแม่เหล็กไฟฟ้าโดยใช้ Hall sensor สุดท้ายจึงสร้างโปรแกรมที่สามารถระบุความผิดปกติของมอเตอร์เหนี่ยวนำได้

Abstract

This thesis presents the study and analysis the causes of vibration in induction motors. By detecting the electromagnetic field, measuring the magnetic field, current and voltage of the three phases in different cases, and then the electromagnetic field signals from the Hall sensor were analyzed and compared with the measurement vibrations by accelerometer in various conditions. To be able to identify an induction motor malfunction from an electromagnetic field by Hall sensor. Finally creating a program that can identify an induction motor malfunction.

1. บทนำ

ปัจจุบันมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำเป็นเครื่องจักรกลที่นิยมใช้อย่างแพร่หลายในโรงงานอุตสาหกรรม การวิเคราะห์สัญญาณการสั่นสะเทือนจึงเป็นวิธีที่ใช้เพื่อใช้บ่งบอกถึงความผิดปกติหลายๆอย่างของเครื่องจักรกล ในโครงการนี้จะใช้วิธีการวัดการสั่นสะเทือนจากสนามแม่เหล็กโดยวัดสัญญาณ Hall sensor

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 การตรวจจับการสั่นสะเทือน แบ่งได้เป็น 2 วิธี คือ

2.1.1 วิธีแบบสัมผัส (Touch) โดยใช้การติดตั้งหัววัดสัมผัสโดยตรงกับตัวโครงของ เครื่องจักร แล้วนำค่าความถี่ที่ได้จากการตรวจจับไปเทียบกับผังขอบเขตการสั่นสะเทือนมาตรฐาน ว่าอยู่ในขอบเขตที่ยอมรับได้หรือไม่

2.1.2 วิธีแบบไม่สัมผัส (Non-Touch) เป็นวิธีที่ประยุกต์ขึ้นมาใหม่ โดยใช้การวัดค่า จากกระแสเตเตอร์ แล้วนำมาวิเคราะห์หาค่าความถี่ที่แผ่มากับความถี่หลัก เพื่อระบุถึงความ ผิดปกติที่เกิดขึ้นกับเครื่องจักรกล

2.2 โครงสร้างของมอเตอร์เหนี่ยวนำ (Induction Motor

Construction) มอเตอร์เหนี่ยวนำเป็นเครื่องจักรกลไฟฟ้าที่ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกลโดยอาศัยหลักการของการเกิด

เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สนามแม่เหล็กหมุน โดยโครงสร้างของมอเตอร์เหนี่ยวนำแบ่งออกเป็นสองส่วนหลักๆ คือ โรเตอร์และสเตเตอร์

2.3 วงจรแม่เหล็ก (Magnetic Circuit)ในการศึกษาเครื่องจักรกลไฟฟ้า วงจรแม่เหล็กมีความสำคัญมากในการศึกษาเรื่องนี้เพราะเครื่องจักรกลไฟฟ้าต้องอาศัยวงจรแม่เหล็กเป็นทางผ่านในการปรับเปลี่ยนรูปพลังงานในเครื่องจักรกลไฟฟ้า โดยอาศัยขดลวดพันรอบแกนเหล็ก เส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจะไหลผ่านวงจรแม่เหล็กปฏิบัติระหว่างกระแสและเส้นแรงแม่เหล็กก่อให้เกิดกระบวนการเปลี่ยนรูปของพลังงาน

2.4 สนามแม่เหล็กหมุน สนามแม่เหล็กหมุนที่สเตเตอร์ของมอเตอร์ 3 เฟส เกิดจากการจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส ให้กับขดลวด 3 ชุด คือ ชุด A, ชุด B, ชุด C ที่พันอยู่ในร่องแกนเหล็กที่สเตเตอร์ โดยวางมุมห่างกัน 120 องศาไฟฟ้าซึ่งกันและกัน มีการต่อใช้งานได้ทั้งแบบสตาร์และแบบเดลต้า นอกจากนี้ขดลวด 3 ชุดจะมีคุณลักษณะทั้งขนาด ความต้านทาน และรีแอกแตนซ์ของขดลวดที่เหมือนกันทุกประการ ดังนั้นเมื่อจ่ายไฟฟ้าให้กับขดลวดจะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าและไหลในขดลวดทั้ง 3 ชุด ทำมุมห่างกัน 120 องศาไฟฟ้าเช่นเดียวกัน

2.5 ตัวตรวจจับสนามแม่เหล็ก ซึ่งทำงานโดยอาศัยหลักการของปรากฏการณ์ฮอลล์ (Hall effect) ตัวตรวจจับสนามแม่เหล็กเป็นวงจรรวมที่ทำให้เกิดความต่างศักย์ซึ่งเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มของสนามแม่เหล็กที่ผ่านในแนวตั้ง เมื่อนำตัวตรวจจับสนามแม่เหล็กไปต่อกับโวลมิเตอร์ และนำไปวางใกล้บริเวณที่มีสนามแม่เหล็กจะทำให้ทราบค่าความเข้มของสนามแม่เหล็ก

2.6 Accelerometers เป็นอุปกรณ์ที่ใช้วัดความเร่งซึ่งเป็นอัตราการเปลี่ยนแปลงความเร็วของวัตถุ หน่วยวัดเป็นเมตรต่อวินาทีกำลังสอง (m/s^2) หรือเป็น G-forces (g) มีประโยชน์สำหรับการตรวจจับการสั่นสะเทือนในระบบหรือสำหรับการใช้งาน

2.7 การวิเคราะห์สเปกตรัม (Spectrum Analysis) สัญญาณการสั่นสะเทือนจะเป็นสัญญาณฮาร์โมนิกซึ่งจะไปตามลักษณะของแรงที่มา ถ้าหากแรงที่มากระตุ้นไม่อยู่ในรูปของสัญญาณฮาร์โมนิกแต่เป็นสัญญาณลักษณะคาบแล้วในการวิเคราะห์จำเป็นต้องใช้การแปลงแบบฟูเรียร์ ก็จะสามารถวินิจฉัยได้ละเอียดขึ้นถึงสาเหตุของการเกิดความผิดปกติ

Balance กับ Unbalance ทางกล และ สภาวะ Balance กับ Unbalance ทางไฟฟ้า แล้วนำไปวิเคราะห์สเปกตรัมเพื่อที่จะหาข้อแตกต่างที่จะนำมาระบุความผิดปกติของมอเตอร์ได้

4.ผลการทดลอง

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบสนามแม่เหล็กโดยใช้ Hall sensor ของมอเตอร์ที่สภาวะ Balance ทางกล

Voltage	เฟส A	เฟส B	เฟส C
	$V_{max}(V)$	$V_{max}(V)$	$V_{max}(V)$
0	2.5208	2.5000	2.5000
20	2.5417	2.5833	2.5625
40	2.5417	2.5417	2.5625
60	2.5833	2.5833	2.5833
80	2.6042	2.6042	2.6042
100	2.6250	2.6458	2.6250
120	2.6458	2.6667	2.6667
140	2.6667	2.6875	2.6875
160	2.7083	2.7292	2.7083
180	2.7292	2.7500	2.7500
200	2.7708	2.7917	2.8125
220	2.8542	2.8542	2.8750

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบสนามแม่เหล็กโดยใช้ Hall sensor ของมอเตอร์ที่สภาวะ Unbalance ทางกล

Voltage	เฟส A	เฟส B	เฟส C
	$V_{max}(V)$	$V_{max}(V)$	$V_{max}(V)$
0	2.5417	2.5208	2.5417
20	2.5625	2.6042	2.5833
40	2.5833	2.5833	2.5833
60	2.5833	2.6250	2.6042
80	2.6250	2.6458	2.6458
100	2.6250	2.6667	2.6667
120	2.6458	2.6875	2.6875
140	2.6875	2.7083	2.7083
160	2.7083	2.7500	2.7292
180	2.7292	2.7917	2.7708
200	2.7708	2.8125	2.8125
220	2.8542	2.8750	2.8958

เอกสารนี้ 3.วิธีการทดลองที่ส่งวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรนำไปใช้เพื่อการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ห้ามดัดแปลงเนื้อหา และข้อมูลในเอกสารนี้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

จากการทดลองเมื่อนำสภาวะทั้งสองมาเปรียบเทียบกันด้วยกราฟจาก Oscilloscope ทั้งสองสภาวะมีความแตกต่างกันที่แรงดันของ Hall sensor และ ค่ากระแสซึ่งในกรณี Unbalance ค่าแรงดันที่วัดได้จาก Hall sensor และ ค่ากระแสมีค่ามากกว่าในกรณี Balance ในทางกายภาพสามารถเห็นความแตกต่างได้อย่างชัดเจนคือในกรณี Unbalance เนื่องมาจากการสั่นสะเทือนของมอเตอร์ที่รับภาระมากขึ้นและการหมุนที่ไม่สมดุลเมื่อเทียบกับกรณี Balance ซึ่งสามารถดูสัญญาณการสั่นสะเทือนได้จาก accelerometer

ตารางที่ 4.3 เปรียบเทียบค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุดจาก Hall sensor ของสภาวะ Balance กับ Unbalance ทางไฟฟ้า

	เฟส A (V)	เฟส B (V)	เฟส C (V)
Balance	2.8750	2.8750	2.8333
Unbalance เฟส A	2.7500	2.9167	2.8750
Unbalance เฟส B	2.9583	2.7917	2.9167
Unbalance เฟส C	2.9583	2.9167	2.7917

ตาราง 4.4 เปรียบเทียบค่าสเปกตรัมของแรงดันไฟฟ้าจาก Hall sensor ที่สภาวะ Balance ทางกล

ลำดับที่	Balance ทางกล		
	เฟส A	เฟส B	เฟส C
1	4.8430	4.8058	4.8783
2	0.0066	0.0047	0.0146
3	0.0096	0.0073	0.0173
4	0.0194	0.0220	0.0284
5	0.2321	0.2770	0.2615

ตาราง 4.5 เปรียบเทียบค่าสเปกตรัมของแรงดันไฟฟ้าจาก Hall sensor ที่สภาวะ Unbalance ทางกล

ลำดับที่	Unbalance ทางกล		
	เฟส A	เฟส B	เฟส C
1	4.8483	4.8145	4.8810
2	0.0058	0.0037	0.0134
3	0.0091	0.0093	0.0157
4	0.0186	0.0203	0.0261
5	0.2325	0.2789	0.2621

ตาราง 4.6 เปรียบเทียบค่าสเปกตรัมของแรงดันไฟฟ้าจาก Hall sensor ที่สภาวะ Balance ทางไฟฟ้าเฟส A

ลำดับที่	Balance เฟส A		
	เฟส A	เฟส B	เฟส C
1	4.9858	5.0364	5.0184
2	0.0037	0.0124	0.0073
3	0.0064	0.0151	0.0109
4	0.0226	0.0248	0.0212
5	0.2935	0.2529	0.2402

ตาราง 4.7 เปรียบเทียบค่าสเปกตรัมของแรงดันไฟฟ้าจาก Hall sensor ที่สภาวะ Unbalance ทางไฟฟ้าเฟส A

ลำดับที่	Unbalance เฟส A		
	เฟส A	เฟส B	เฟส C
1	4.9585	4.9895	4.9975
2	0.0038	0.0053	0.0132
3	0.0076	0.0078	0.0167
4	0.0135	0.0213	0.0258
5	0.1778	0.2848	0.2525

ตาราง 4.8 เปรียบเทียบค่าสเปกตรัมของแรงดันไฟฟ้าจาก Hall sensor ที่สภาวะ Unbalance ทางไฟฟ้าเฟส B

ลำดับที่	Balance เฟส B		
	เฟส A	เฟส B	เฟส C
1	4.9858	5.0364	5.0184
2	0.0037	0.0124	0.0073
3	0.0064	0.0151	0.0109
4	0.0226	0.0248	0.0212
5	0.2935	0.2529	0.2402

ตาราง 4.9 เปรียบเทียบค่าสเปกตรัมของแรงดันไฟฟ้าจาก Hall sensor ที่สภาวะ Unbalance ทางไฟฟ้าเฟส B

ลำดับที่	Unbalance เฟส B		
	เฟส A	เฟส B	เฟส C
1	5.0037	5.0258	5.0422
2	0.0108	0.0047	0.0139
3	0.0127	0.0084	0.0187
4	0.0288	0.0150	0.0271
5	0.3232	0.1824	0.2580

ตาราง 4.10 เปรียบเทียบค่าสเปกตรัมของแรงดันไฟฟ้าจาก Hall sensor ที่สภาวะ Balance ทางไฟฟ้าเฟส C

ลำดับ ที่	Balance เฟส C		
	เฟส A	เฟส B	เฟส C
1	4.9858	5.0364	5.0184
2	0.0037	0.0124	0.0073
3	0.0064	0.0151	0.0109
4	0.0226	0.0248	0.0212
5	0.2935	0.2529	0.2402

ตาราง 4.11 เปรียบเทียบค่าสเปกตรัมของแรงดันไฟฟ้าจาก Hall sensor ที่สภาวะ Unbalance ทางไฟฟ้าเฟส C

ลำดับ ที่	Unbalance เฟส C		
	เฟส A	เฟส B	เฟส C
1	5.0000	5.0061	5.0192
2	0.0034	0.0157	0.0045
3	0.0102	0.0184	0.0081
4	0.0251	0.0286	0.0159
5	0.3359	0.2777	0.2036

จากการทดลองสภาวะ Balance และ Unbalance จากการทดลองเมื่อนำสภาวะทั้งสองมาเปรียบเทียบกัน จากตารางที่ 4.3 ทั้งสองสภาวะมีความแตกต่างกันที่แรงดันของ Hall sensor ซึ่งในกรณี Unbalance เฟส A จะมีค่าแรงดันไฟฟ้าจาก Hall sensor เฟส A น้อยกว่าค่าแรงดันไฟฟ้าจาก Hall sensor เฟส A ของกรณี Balance กรณี Unbalance เฟส B จะมีค่าแรงดันไฟฟ้าจาก Hall sensor เฟส B น้อยกว่าค่าแรงดันไฟฟ้าจาก Hall sensor เฟส B ของกรณี Balance กรณี Unbalance เฟส C จะมีค่าแรงดันไฟฟ้าจาก Hall sensor เฟส C น้อยกว่าค่าแรงดันไฟฟ้าจาก Hall sensor เฟส C ของกรณี Balance เนื่องจากกระแสไฟฟ้าในเฟสที่มีการลดแรงดันมีค่าน้อยกว่าปกติจึงทำให้แรงดันไฟฟ้าจาก Hall sensor ในเฟสที่มีการลดแรงดันไฟฟ้ามี่ค่าน้อยลง

กิตติกรรมประกาศ

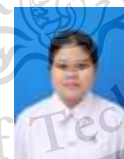
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้มีการนำเอกสารนี้ไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของลิขสิทธิ์
 ปัญหาที่พบในเล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ด้วยความช่วยเหลือจากหลายท่าน โดยเฉพาะอย่างยิ่งต้องขอขอบคุณ รศ.พิชิต ทรัพย์ของ อาจารย์ที่ปรึกษา และ ผศ.ดร.เปี่ยมภูมิ สฤตฤกษ์ อาจารย์ที่

ปรึกษาร่วม ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อโครงการมาด้วยดีตลอด และได้กรุณาตรวจแก้ไขปัญญานิพนธ์จนสำเร็จเรียบร้อยเป็นอย่างดี และขอขอบคุณเพื่อน ๆ ในห้องปฏิบัติการทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือและแก้ปัญหาด้วยดีมาโดยตลอด

เอกสารอ้างอิง

- [1] ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, เอกสารประกอบการทดลอง Electrical Engineering Laboratory IV, 2560
- [2] รศ.ดร.ชัยวุฒิ ถังทรูทัย, เอกสารประกอบการสอนเครื่องจักรกลไฟฟ้า, 2018
- [3] Cleber G. Dias, Member, IEEE, and Ivan E. Chabu, Spectral Analysis Using a Hall Effect Sensor for Diagnosing Broken Bars in Large Induction Motors, IEEE TRANSACTIONS ON INSTRUMENTATION AND MEASUREMENT, VOL. 63, NO. 12, DECEMBER 2014
- [4] Cleber Gustavo Dias, Member, IEEE, and Fabio Henrique Pereira "Broken Rotor Bars Detection in Induction Motors Running at Very Low Slip Using a Hall Effect Sensor" IEEE SENSORS JOURNAL

ประวัติผู้เขียน



นางสาวชญานิส วิไลศักดิ์ทิพากรณ์
ระดับปริญญาตรี วิศวกรรมไฟฟ้า
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



นางสาวชนาพร ช่วรรักษา
ระดับปริญญาตรี วิศวกรรมไฟฟ้า
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



นายจิติโชติ กิจนำลากเจริญ
ระดับปริญญาตรี วิศวกรรมไฟฟ้า
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



นางสาวจิตติมา คล้ายชาย
ระดับปริญญาตรี วิศวกรรมไฟฟ้า
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

**LINEAR HALL-EFFECT IC****AH49E****General Description**

The AH49E is a small, versatile linear Hall-effect device that is operated by the magnetic field from a permanent magnet or an electromagnet. The output voltage is set by the supply voltage and varies in proportion to the strength of the magnetic field.

The integrated circuitry features low noise output, which makes it unnecessary to use external filtering. It also includes precision resistors to provide increased temperature stability and accuracy. The operating temperature range of these linear-Hall sensors is -40°C to 85°C, appropriate for commercial, consumer and industrial applications.

The AH49E is available in standard TO-92S package.

Features

- Miniature Construction
- Power Consumption of 3.5mA at $V_{CC}=5V$ for Energy Efficiency
- Single Current Sourcing Output
- Linear Output for Circuit Design Flexibility
- Low Noise Output Virtually Eliminates the Need for Filtering
- A Stable and Accurate Output
- Temperature Range of -40°C to 85°C
- Responds to Either Positive or Negative Gauss

Applications

- Current Sensing
- Motor Control
- Position Sensing
- Magnetic Code Reading
- Ferrous Metal Detector
- Vibration Sensing
- Liquid Level Sensing
- Weight Sensing



Figure 1. Package Type of AH49E

Jun. 2008 Rev.1.1

BCD Semiconductor Manufacturing Limited

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่หรือใช้ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.


LINEAR HALL-EFFECT IC
AH49E
Pin Configuration

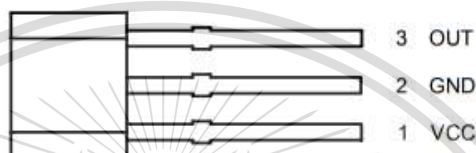
 Z3 Package
(TO-92S)


Figure 2. Pin Configuration of AH49E (Bottom View)

Pin Description

Pin Number	Pin Name	Function
1	VCC	Supply voltage
2	GND	Ground pin
3	OUT	Output



LINEAR HALL-EFFECT IC

AH49E

Functional Block Diagram

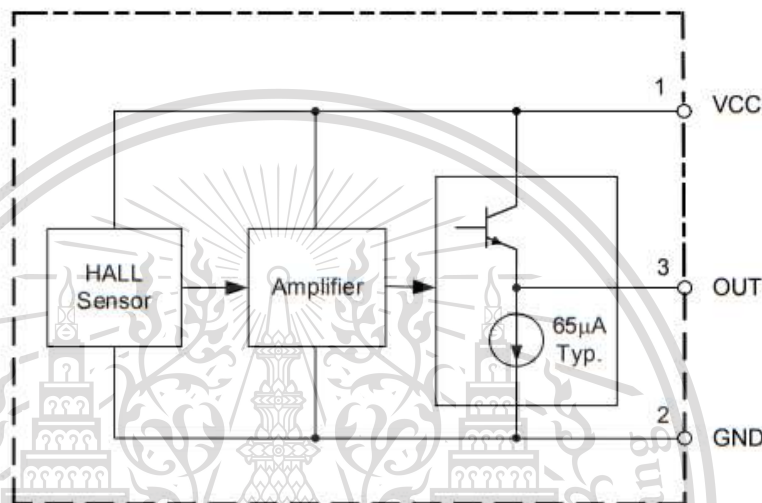
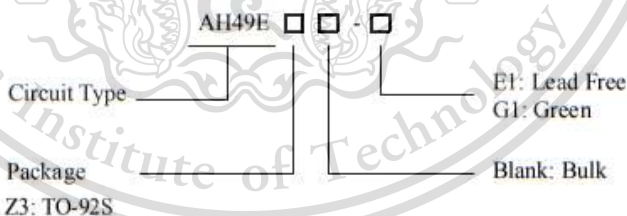


Figure 3. Functional Block Diagram of AH49E

Ordering Information



Package	Temperature Range	Part Number		Marking ID		Packing Type
		Lead Free	Green	Lead Free	Green	
TO-92S	-40 to 85°C	AH49EZ3-E1	AH49EZ3-G1	AH49E	AH49G	Bulk

BCD Semiconductor's Pb-free products, as designated with "E1" suffix in the part number, are RoHS compliant. Products with "G1" suffix are available in green package.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น BCD Semiconductor Manufacturing Limited
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

**LINEAR HALL-EFFECT IC****AH49E****Absolute Maximum Ratings (Note 1)**

Parameter	Symbol	Value	Unit
Supply Voltage	V_{CC}	8	V
Output Current	I_O	10	mA
Operating Temperature	T_A	-40 to 100	$^{\circ}C$
Storage Temperature Range	T_{STG}	-50 to 150	$^{\circ}C$
ESD (Human Body Model)		3000	V

Note 1: Stresses greater than those listed under "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated under "Recommended Operating Conditions" is not implied. Exposure to "Absolute Maximum Ratings" for extended periods may affect device reliability.

Recommended Operating Conditions

Parameter	Symbol	Min	Max	Unit
Supply Voltage	V_{CC}	3.0	6.5	V
Operating Temperature	T_{OP}	-40	85	$^{\circ}C$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



LINEAR HALL-EFFECT IC

AH49E

Electrical Characteristics

($V_{CC}=5V$, $T_A=25^\circ C$, unless otherwise specified.)

Parameter	Symbol	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
Supply Current	I_{CC}			3.5	4.5	mA
Quiescent Output Voltage	V_{NULL}	@ $B=0GS$	2.25	2.5	2.75	V
Output Voltage Sensitivity		$B=0GS$ to $\pm 1000GS$	1.1	1.6	2.1	mV/GS
Output Voltage Span	V_{OS}		1.0 to ($V_{CC}-1.0$)	0.8 to ($V_{CC}-0.8$)		V
Output Resistor	R_O			60	120	Ω
Magnetic Field Range	B		± 650	± 1000		GS
Linearity of Span				0.7		%
Output Noise		$BW=10Hz$ to $10kHz$		90		μV

Transfer Characteristics ($V_{CC}=5V$)

When there is no outside magnetic field ($B=0GS$), the quiescent output voltage is one-half the supply voltage in general. If a south magnetic pole approaches to the front face (the side with marking ID) of the Halleffect sensor, the circuit will drive the output voltage higher. Contrary, a north magnetic pole will drive the output voltage lower. The variations of voltage level up or down are symmetrical.

Greatest magnetic sensitivity is obtained with a supply voltage of 6V, but at the cost of increased supply current and a slight loss of output symmetry. So, it is not recommended to work in such condition unless the output voltage magnitude is a main issue. The output signal can be capacitively coupled to an amplifier for boosting further if the changing frequency of the magnetic field is high.

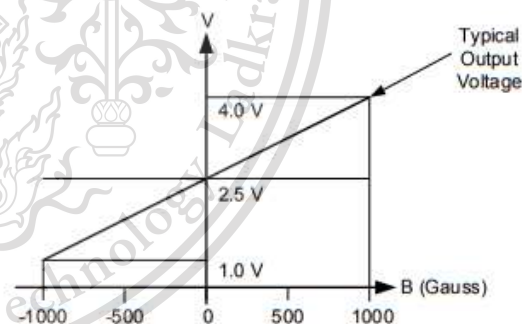


Figure 4. The Transfer Characteristics of AH49E

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตจาก BCD Semiconductor Manufacturing Limited

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

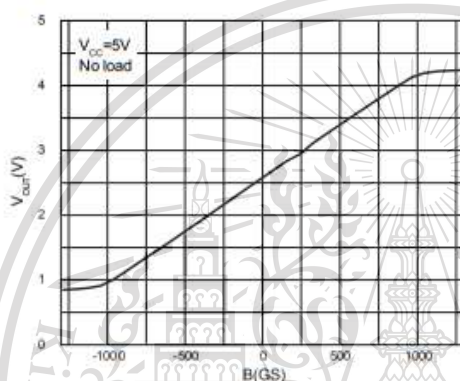

LINEAR HALL-EFFECT IC
AH49E
Typical Performance Characteristics


Figure 5. Output Voltage vs. Magnetic Field

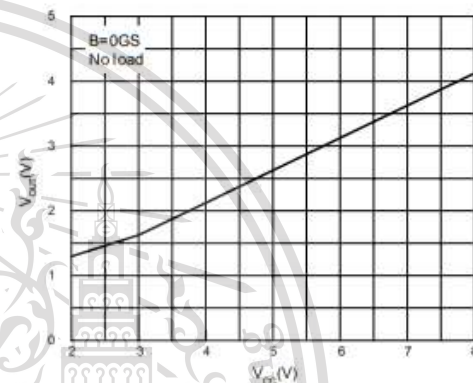


Figure 6. Output Voltage vs. Supply Voltage

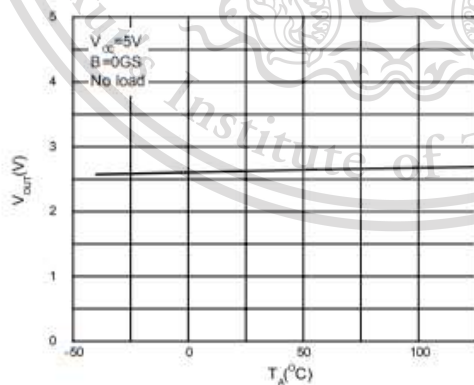


Figure 7. Output Voltage vs. Ambient Temperature

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 Jun. 2008: Rev. 1.1 BCD Semiconductor Manufacturing Limited
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งหากมีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

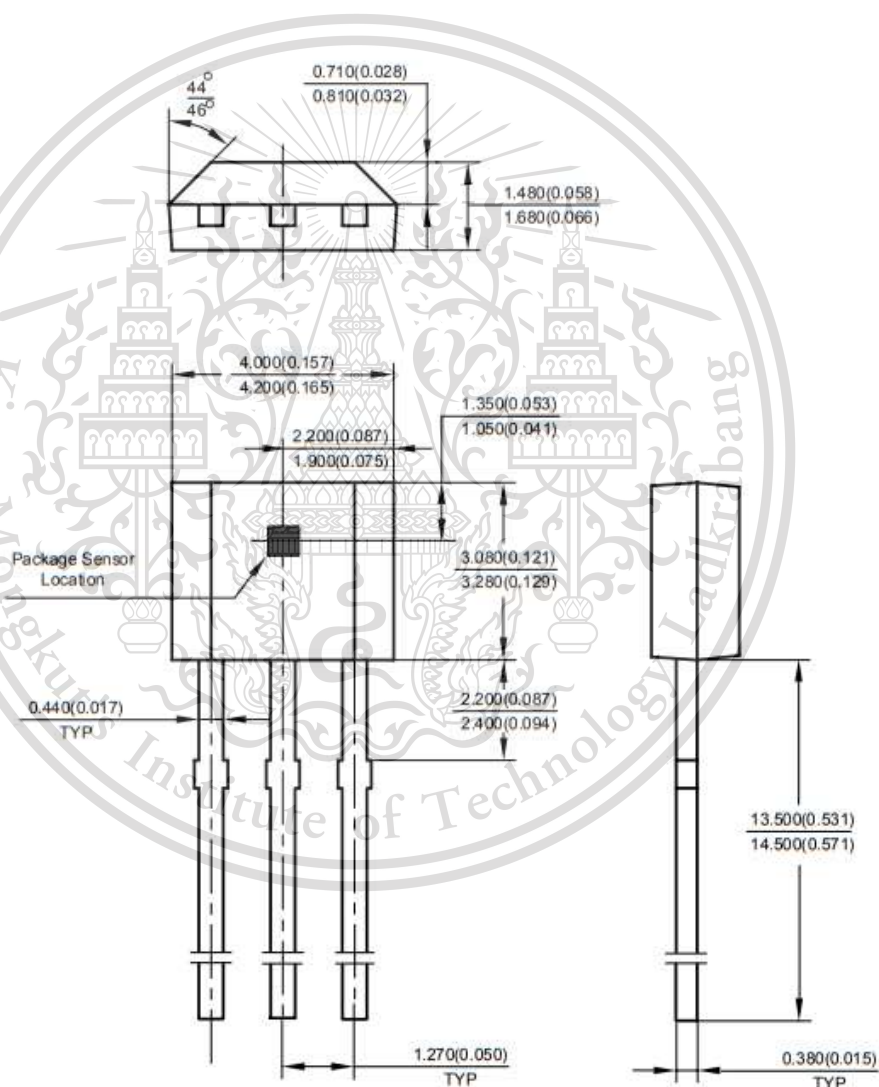
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



Mechanical Dimensions

TO-92S

Unit: mm(inch)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 Jun. 2008 Rev. 1. 1 BCD Semiconductor Manufacturing Limited
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



IMPORTANT NOTICE

BCD Semiconductor Manufacturing Limited reserves the right to make changes without further notice to any products or specifications herein. BCD Semiconductor Manufacturing Limited does not assume any responsibility for use of any its products for any particular purpose, nor does BCD Semiconductor Manufacturing Limited assume any liability arising out of the application or use of any its products or circuits. BCD Semiconductor Manufacturing Limited does not convey any license under its patent rights or other rights nor the rights of others.

MAIN SITE

- Headquarters
BCD Semiconductor Manufacturing Limited
 No. 1600, Zi Xing Road, Shanghai Zizhu Science-based Industrial Park, 200241, China
 Tel: +86-21-24162266, Fax: +86-21-24162277

- Wafer Fab
Shanghai SIM-BCD Semiconductor Manufacturing Co., Ltd.
 800 Yi Shan Road, Shanghai 200233, China
 Tel: +86-21-6485 1491, Fax: +86-21-5450 0008

REGIONAL SALES OFFICE

Shenzhen Office
Shanghai SIM-BCD Semiconductor Manufacturing Co., Ltd., Shenzhen Office
 Room E1, SF, Noble Center, No.1008, 3rd Fuzhong Road, Futian District, Shenzhen,
 518026, China
 Tel: +86-755-8826 2951
 Fax: +86-755-8826 7865

Taiwan Office
BCD Semiconductor (Taiwan) Company Limited
 4F, 298-1, Rui Gang Road, Nei-Hu District, Taipei,
 Taiwan
 Tel: +886-2-2656 2808
 Fax: +886-2-2656 2806

USA Office
BCD Semiconductor Corp.
 30920 Huntwood Ave. Hayward,
 CA 94544, USA
 Tel: +1-510-324-2988
 Fax: +1-510-324-2788

เอกสารนี้เป็นเอกสาร
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น
 ห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ประวัติผู้เขียน



นางสาวชฎานิช วิไลศักดิ์ทิพากรณ์
ระดับมัธยม โรงเรียนสตรีวิทยา
ระดับปริญญาตรี วิศวกรรมไฟฟ้า
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



นางสาวชานาพร ช่วยรักษา
ระดับมัธยม โรงเรียนนวมินทราชินูทิศ เตรียมอุดมศึกษาน้อมเกล้า
ระดับปริญญาตรี วิศวกรรมไฟฟ้า
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



นายฐิติชาติ กิจนำลาภเจริญ
ระดับมัธยม โรงเรียนเทพศิรินทร์
ระดับปริญญาตรี วิศวกรรมไฟฟ้า
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



นางสาวฐิติมา คล้ายขยาย
ระดับมัธยม โรงเรียนปราชญ์กัลยาณี
ระดับปริญญาตรี วิศวกรรมไฟฟ้า
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.