

การศึกษาผลกระทบต่อการทำงานของมอเตอร์ BLDC และชุด ASD จากการ  
ปรับแต่งตำแหน่งต่าง ๆ ของ Hall Effect Sensors

A Study of the Effect of BLDC Motor Operation and ASD Adjusted  
by Various Position of Hall Effect Sensors

เทวินทร์ นิลสาคร\* พรหมพัทตร์ ดาวัลต์\*\* วราเชษฐ์ พรหมประสิทธิ์\*\*\* วัสสา รวยรวย\*\*\*  
จารุวรรณีย์ ไชยพรรณ\*\*\* และ กวีพจน์ วรเนตรสุทธิกุล\*\*\*  
Taywin Nilsakorn\*, Promphak Dawan\*\*, Warachet Promprasit\*\*\*,  
Wassa Ruayruay\*\*\*, Jaruwanee Chaiyaphan\*\*\* and Kaweepoj Worrnatsuttikul\*\*\*

บทคัดย่อ

บทความวิชาการนี้นำเสนอแนวทางในการปรับปรุงประสิทธิภาพให้กับระบบขับเคลื่อนสำหรับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดไร้แปรงถ่านที่ใช้ระบบควบคุมแบบแรงดันต่อความถี่ซึ่งจะศึกษาผลกระทบจากการปรับแต่งตำแหน่งของอุปกรณ์ตรวจจับตำแหน่งโรเตอร์ในมอเตอร์ BLDC(Hall Effect Sensors)ในมอเตอร์แบบอับขนาด 200 W ที่ได้จากการเลื่อนตำแหน่ง Hall Effect Sensors ณ จุดหลังจากจุดปกติ 0.5mm, จุดหลังจากจุดปกติ 1.0 mm, ก่อนถึงจุดปกติ 0.5 mm และก่อนถึงจุดปกติ 1.0 mm ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่านและพบว่าในตำแหน่งที่มีการปรับแต่ง ก่อนถึงจุดปกติ 0.5 mm ของมอเตอร์ไฟฟ้าชนิดนี้จะมีประสิทธิภาพสูงที่สุด

**คำสำคัญ:** ฮอลล์เซ็นเซอร์, มอเตอร์แบบอับ, ประสิทธิภาพ, มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดไร้แปรงถ่าน, ชุดควบคุมความเร็วมอเตอร์

\* นายช่างกองแผนงานฝ่ายเรือ กรมแผนการช่าง กรมอุทกหารเรือ

\*\* อาจารย์ประจำสาขาวิศวกรรมไฟฟ้าคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช  
Corresponding author e-mail: nuyzaaadawan@gmail.com

\*\*\* อาจารย์ประจำคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

## Abstract

This paper presents criteria of the efficiency improvement for BLDC motor driving system on voltage control system per constant frequency. The second criteria use the adjustment of effect sensor rotor in BLDC(Hall effect sensor) motor and in 200 w hub motor from the movement of Hall Effect Sensors at 0.5 mm and 1.0 mm after the normally point, 0.5 mm and 1.0 mm before the normally point which effect to efficiency of BLDC motor operation. The result of 0.5mm before normally point is most efficiency of this motor electric type.

**Keywords:** Hall Effect Sensors, Hub Motor, Efficiency, BLDC motor, Adjustable Speed Drive

## 1. บทนำ

ในปัจจุบันความต้องการในการใช้พาหนะมีจำนวนเพิ่มสูงมากขึ้นตามจำนวนประชากรที่เพิ่มสูงขึ้นทุกปีซึ่งพาหนะดังกล่าวนิยมใช้เครื่องยนต์สันดาปภายในเพื่อเป็นต้นกำลังในการขับเคลื่อนหรือเปลี่ยนรูปแบบพลังงานไปตามชนิดของเครื่องยนต์นั้นๆโดยเครื่องยนต์สันดาปภายในจำเป็นต้องใช้เชื้อเพลิงที่ได้จากสารประกอบไฮโดรคาร์บอนหรือน้ำมันที่ได้จากการกลั่นน้ำมันดิบซึ่งในปัจจุบันมีความต้องการเป็นจำนวนมากและมีปริมาณลดลงอย่างรวดเร็วในอนาคตอันใกล้เชื้อเพลิงชนิดดังกล่าวนี้อาจจะถูกใช้จนหมดไป

จากการใช้เครื่องยนต์สันดาปภายในดังกล่าวนี้เมื่อเครื่องยนต์เกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์จะก่อให้เกิดสารประกอบที่เป็นสิ่งปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมเช่นคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ที่เกิดจากเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงดีเซลและคาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>) ที่เกิดจากเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงเบนซินซึ่งเป็นพิษต่อร่างกายมนุษย์ดังนั้นนักวิจัยจำนวนมากจึงพยายามค้นหาต้นกำลังขับเคลื่อนที่สามารถขับเคลื่อนยานพาหนะชนิดใหม่ที่ใช้เชื้อเพลิงสะอาดไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมและสามารถหาแหล่งพลังงานที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงได้หลากหลายมากขึ้นหนึ่งในคำตอบของปัญหาดังกล่าวคือการใช้มอเตอร์ไฟฟ้าซึ่งใช้เชื้อเพลิงที่เป็นพลังงานไฟฟ้ามอเตอร์ที่เป็นที่นิยมชนิดหนึ่งสำหรับการนำมาประยุกต์ใช้กับพาหนะชนิดต่างๆ คือมอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน (Brushless Direct Current Motor : BLDC) เป็นมอเตอร์ที่มีข้อดีคือปราศจากแปรงถ่านซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่มีการสึกหรอทำให้ต้องมีการถอดเปลี่ยนตามอายุการใช้งานและเป็นมอเตอร์ที่มีขนาดเล็กกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับมอเตอร์ชนิดอื่นที่กำลังเท่ากันแต่ก็ยังมีข้อเสียในเรื่องของการควบคุมซึ่งมีความยุ่งยากซับซ้อนมากกว่า

การใช้งานมอเตอร์BLDC จำเป็นจะต้องมีอุปกรณ์ในการควบคุมการทำงานหรือ Adjustable Speed Drive : ASD ที่สามารถจ่ายพลังงานที่เหมาะสมและปราศจากมลภาวะทางไฟฟ้าให้กับมอเตอร์ได้หากต้องการให้มอเตอร์ BLDC ใช้พลังงานไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงที่สุด ASD ก็จำเป็นจะต้องมีประสิทธิภาพสูงตามไปด้วย งานวิจัยนี้จึงเลือกที่จะศึกษาการปรับแต่งต่างๆ

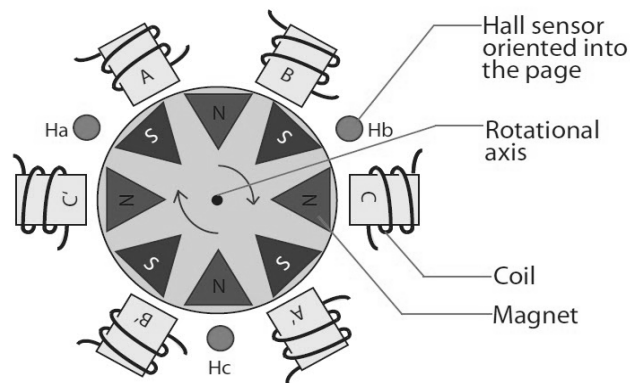
ของฮอลล์เซนเซอร์ (Hall Sensors) ที่ส่งผลต่อการทำงานของมอเตอร์ BLDC และชุด ASD เพื่อหาตำแหน่งของฮอลล์เซนเซอร์ (Hall Sensors) ที่ส่งผลมอเตอร์ BLDC มีประสิทธิภาพการทำงานที่ดีที่สุด (Tashakori, Ektesabi & Hosseinzadeh, 2011)

## 2. ทฤษฎี

มอเตอร์ BLDC เป็นมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดหนึ่ง ซึ่งต่างจากมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงทั่วไป คือ ไม่มีขดลวดฟิลด์แต่จะใช้เป็นแม่เหล็กถาวรแทน และไม่มีการติดตั้งแปรงถ่านที่ใช้ในการจ่ายพลังงานให้กับขดลวดอาเมเจอร์ แต่จะใช้การตรวจจับหาขั้วของสนามแม่เหล็กถาวรผ่านอุปกรณ์ที่ชื่อว่า Hall Effect Sensors เพื่อทำการประมวลผลและจ่ายพลังงานที่เหมาะสมให้กับขดลวดอาเมเจอร์ที่สเตเตอร์ (Stator) โดยตรง โดยมีอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังเป็นสวิตซ์ในการสับเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับและจ่ายให้กับขดลวดของมอเตอร์เพื่อสร้างขั้วแม่เหล็กที่สเตเตอร์ทำให้เกิดการดูด และผลักระหว่างขั้วแม่เหล็กที่เกิดขึ้นกับฟลักซ์แม่เหล็กที่เกิดจากแม่เหล็กถาวร (Rotor) (Flynn, 2003)

### 2.1 โครงสร้างภายในของมอเตอร์ BLDC

มอเตอร์ BLDC เป็นมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดหนึ่ง ซึ่งสนามแม่เหล็กที่สร้างโดย Stator และสนามแม่เหล็กที่ถูกสร้างโดย Rotor นั้นหมุนด้วยความถี่เดียวกัน และไม่มี Slip ดังเช่นที่มีอยู่ในมอเตอร์ Induction มอเตอร์ BLDC มีทั้งในแบบ 1-phase, 2-phase และ 3-phase ตามการออกแบบจำนวนขดลวดที่ Stator ของมอเตอร์แต่ละตัว ซึ่งชนิดที่ได้รับความนิยม คือ ชนิด 3-phase] (Yedamale, 2015)



ภาพที่ 1 ส่วนประกอบภายในของมอเตอร์ BLDC 3-phase

#### 2.1.1 สเตเตอร์ (Stator)

Stator ของมอเตอร์ BLDC ประกอบด้วยแผ่นเหล็กที่ซ้อนกัน และมีขดลวดพันอยู่ในช่อง slot โดยที่ Stator จะคล้ายกับมอเตอร์ Induction แต่การวางขดลวดแตกต่างกัน โดยทั่วไปแล้วมอเตอร์ BLDC เป็นแบบ 3-phase ซึ่งมีขดลวด 3 ขด และนิยมต่อแบบ Y ขดลวด

แต่ละชุดประกอบขึ้นจาก coils หลาย ๆ coils ต่อกัน ซึ่งแต่ละ coils สอดไว้ใน slot และแต่ละชุดของขดลวดจะพันกระจายทั่วทั้ง stator เพื่อที่จะสร้างขั้วแม่เหล็กขึ้นมา



ภาพที่ 2 สเตเตอร์(Stator)

ซึ่งพลังงานไฟฟ้า 3-phase ที่จ่ายให้กับมอเตอร์ BLDC จะมีลักษณะของรูปคลื่นแรงดัน และรูปคลื่นกระแสเป็นแบบสี่เหลี่ยมคางหมู (Trapezoidal waveform) หรือแบบไซน์ (Sinusoidal waveform) ตามแต่ชนิดของการออกแบบการพันขดลวดอาเมเจอร์ของมอเตอร์ตัวนั้นๆ และในส่วนของสเตเตอร์นี้ ยังได้มีการติดตั้งอุปกรณ์ที่มีความจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับการควบคุมมอเตอร์ BLDC นั่นคืออุปกรณ์ตรวจจับสนามแม่เหล็กถาวรของโรเตอร์ หรือ Hall Effect Sensors ซึ่งจะทำหน้าที่ในการตรวจหาขั้วของสนามแม่เหล็ก เพื่อส่งสัญญาณที่ได้ไปทำการประมวลผลที่ส่วนควบคุมให้สามารถจ่ายพลังงานที่เหมาะสมให้กับมอเตอร์ต่อไป (Wikimedia, 2014)

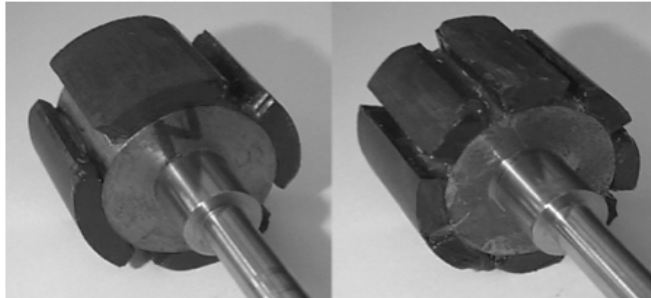


ภาพที่ 3 อุปกรณ์ตรวจจับสนามแม่เหล็กถาวร (Hall Effect Sensors)

### 2.1.2 โรเตอร์ (Rotor)

โรเตอร์ สร้างขึ้นจากแม่เหล็กถาวร (Permanent magnet) และมีจำนวนขั้วสนามแม่เหล็ก (Pole pairs) ได้หลายขั้ว โดยแบ่งเป็นแบบขั้วเหนือ และขั้วใต้ โดยจากการที่ต้องการความหนาแน่นของสนามแม่เหล็กที่โรเตอร์ จึงจำเป็นต้องเลือกวัสดุที่นำมาสร้างเป็นแม่เหล็กถาวรที่เหมาะสมที่สุด เช่น ในยุคแรกมักนิยมใช้ Ferrite magnets มาสร้างเป็นแม่เหล็กถาวร เนื่องจากมีราคาไม่แพง และให้ปริมาณความหนาแน่นของ Flux ที่สูง แต่ด้วยการพัฒนาทางเทคโนโลยีที่มีมากขึ้นจึงทำให้มีการพัฒนาวัสดุชนิดใหม่ขึ้นคือ Alloy magnets ซึ่งเป็นวัสดุที่ราคาต่ำ

และให้ปริมาณความหนาแน่นของ Flux สูงเช่นเดียวกัน จึงทำให้สามารถลดขนาดของ Rotor ได้ในพิกัดแรงบิด (Torque) ที่เท่ากัน



ภาพที่ 4 โรเตอร์ติดตั้งแม่เหล็กถาวรชนิด 4 และ 8 ขั้วตามลำดับ

## 2.2 หลักการทำงานของมอเตอร์ BLDC

หลักการทำงานของมอเตอร์ BLDC มีหลักการทำงานเหมือนมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำทั่วไป โดยมีสนามแม่เหล็กหมุน 2 สนามหมุนตามกันไป ปัจจัยที่ทำให้มอเตอร์ชนิดนี้ทำงานหรือหมุนได้นั้น นอกจากขดลวด 3 เฟส ที่สเตเตอร์ และแท่งแม่เหล็กถาวรที่โรเตอร์แล้ว ยังมีอุปกรณ์ที่สำคัญซึ่งทำหน้าที่แทนแปรงถ่านและซีคอมมิวเตเตอร์ คือ อุปกรณ์ตรวจจับสนามแม่เหล็ก (Hall effect Sensor) อีกจำนวน 3 ชุดติดตั้งอยู่เป็นส่วนหนึ่งของสเตเตอร์ โดยจะทำหน้าที่ตรวจจับสนามแม่เหล็กขั้วเหนือ-ใต้ ของแม่เหล็กถาวรบริเวณโรเตอร์ ซึ่งในขณะที่มอเตอร์หมุน Hall Effect Sensors จะส่งสัญญาณ Sensor phasing หรือ Code ที่เปลี่ยนแปลงระหว่างขั้วเหนือ-ใต้ ไปยังส่วนประมวลผลหรือระบบควบคุมมอเตอร์ เพื่อทำการเปลี่ยนแปลง (Decode) และส่ง Output voltage ไปยังขดลวดอาเมเจอร์ของสเตเตอร์แต่ละเฟส เพื่อให้เกิดการดูดและผลักกันระหว่างสนามแม่เหล็กในขดลวดอาเมเจอร์ของสเตเตอร์ และสนามแม่เหล็กถาวรของโรเตอร์ โดยในการทำงานของมอเตอร์ 1 รอบทางไฟฟ้า จะมีการทำงานเป็น 6 ขั้นตอน (6 Step working) ดังตาราง

ตารางที่ 1 แสดงลำดับการทำงานของมอเตอร์ BLDC

state	Hall-1	Hall-2	Hall-3	Phase-A	Phase-B	Phase-C
1	1	0	1	0	+Vdc	-Vdc
2	1	0	0	-Vdc	+Vdc	0
3	1	1	0	-Vdc	0	+Vdc
4	0	1	0	0	-Vdc	+Vdc
5	0	1	1	+Vdc	-Vdc	0
6	0	0	1	+Vdc	0	-Vdc

จากตารางจะเห็นได้ว่า ลำดับการทำงานของมอเตอร์ BLDC นั้นเริ่มจาก Hall Effect Sensors ทั้ง 3 ชุด จะทำหน้าที่เหมือนคอมมิวเตเตอร์ โดยจะทำการส่งสัญญาณของสนามแม่เหล็กที่ตรวจจับได้ไปที่ส่วนประมวลผลหรือระบบควบคุม เพื่อให้ระบบควบคุมทำการตัดต่อ และสลับขั้วบวกและขั้วลบของแรงดัน ที่ป้อนเข้าสู่ขดลวดอาเมเจอร์ของสเตเตอร์แต่ละเฟส ซึ่งส่งผลให้

มอเตอร์เกิดการหมุนไปตามการควบคุมดังกล่าวได้โดยเงื่อนไขของการประมวลผล และจ่ายพลังงานไฟฟ้า (EDN Network, 2015)

### 3. การจำลองและผลการจำลอง

สำหรับการออกแบบและสร้างอุปกรณ์ในการศึกษาผลกระทบต่องานของมอเตอร์และชุด ASD จากการปรับแต่งตำแหน่งต่างๆของ Hall Effect Sensors

#### 3.1 การออกแบบ และสร้างอุปกรณ์ในการศึกษาผลกระทบต่องานของมอเตอร์และชุด ASD จากการปรับแต่งตำแหน่งต่างๆ ของ Hall Effect Sensors



ภาพที่ 5 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองปรับตำแหน่ง Hall Effect Sensors

#### 3.1.1 มอเตอร์ BLDC ที่ใช้ในการทดลองการปรับแต่งตำแหน่ง Hall Effect Sensors

พิกัดของมอเตอร์ที่ใช้

Brand	Mitsuba
Voltage	24 V
Rated Power	300 W
Efficiency	95%
Speed	1500 rpm
Weight	3.5 kg
Casing	Steel
Length (height)	45 mm
Diameter	115 mm
Cooling	Air Cool

#### 3.1.2 การคำนวณหาพิกัดต่างๆ ของอินเวอร์เตอร์

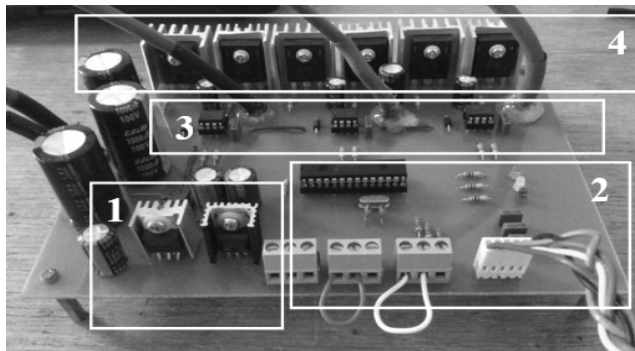
การคำนวณหาพิกัดต่างๆ ของอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการทดลองในส่วนนี้จะใช้พิกัดเดียวกันกับการทดลองลดอุณหภูมิที่เกิดจากสัญญาณฮามอนิกส์ โดยการติดตั้ง Low Pass Filter ดังนั้น พิกัดต่าง ๆ ของวงจรจะเป็นพิกัดเดียวกัน แต่ขนาดของอุปกรณ์จะแตกต่างกัน

ในบางส่วนเนื่องจากการพัฒนาชุด ASD ให้มีความกะทัดรัดขึ้น และเพื่อความเหมาะสมในการนำไปใช้งาน ดังนั้นพิกัดที่ใช้คือ

แรงดันกระแสตรงด้านเข้า ( $V_d$ )	48	V
กระแสไฟฟ้าด้านเข้า ( $I_d$ )	148.81	A
กำลังไฟฟ้าจริงด้านเข้า ( $P_d$ )	12.5	kW
แรงดันไฟฟ้าด้านออก ( $V_{out}$ )	46.33	V
กระแสไฟฟ้าด้านออก ( $I_{o1}$ )	220.29	A
กำลังไฟฟ้าจริงด้านออก ( $P_o$ )	10	kW
ประสิทธิภาพ	80	%
ตัวประกอบกำลัง (PF)	0.8	

**3.1.3 ส่วนประกอบของชุดควบคุมมอเตอร์ (Adjustable Speed Drive : ASD)** วงจรควบคุมมอเตอร์ BLDC มี ทั้งหมด 4 ส่วนดังนี้

- 1) แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง
- 2) วงจรควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์
- 3) วงจรขับนำสวิตซ์
- 4) วงจรกำลังอินเวอร์เตอร์



ภาพที่ 6 อุปกรณ์ควบคุมมอเตอร์ BLDC (Adjustable Speed Drive : ASD)

**3.2.3.1 แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง** เป็นส่วนที่จะรับพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงจาก Power Supply ขนาด 30 VDC 6 A โดยในส่วนแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงนี้จะประกอบด้วยไอซี 2 ชนิดคือ LM2575 HVT-12 มีหน้าที่ลดทอนแรงดันของแบตเตอรี่จาก 25 VDC เหลือ 12 VDC เพื่อใช้ในวงจรขับนำสวิตซ์ และอีกชนิดหนึ่งคือ L7805CV มีหน้าที่ลดทอนแรงดันของแบตเตอรี่จาก 25 VDC เหลือ 5 VDC สำหรับใช้เป็นไฟเลี้ยงไมโครคอนโทรลเลอร์ในชุดควบคุม

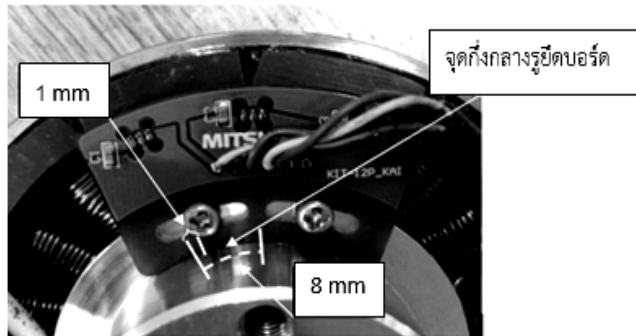
**3.2.3.2 วงจรควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์** ในส่วนนี้จะเป็นส่วนประมวลผลสัญญาณแรงดันที่ได้รับจาก Hall Effect Sensors ทั้ง 3 ตัวของมอเตอร์ BLDC เพื่อใช้ในการควบคุมตำแหน่ง และทิศทางการหมุน นอกจากนี้ยังควบคุมในส่วนของการ ON/OFF, FWD/RWD และ

Speed ของมอเตอร์ด้วย โดยอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุม และประมวลผลสัญญาณต่างๆ เหล่านี้คือ dsPic30F2010 ซึ่งต้องใช้แรงดันไฟเลี้ยง 5 VDC ที่ส่งมาจากส่วนแหล่งจ่ายไฟ

**3.2.3.3 วงจรขับนำสวิตช์** เป็นส่วนที่จะรับสัญญาณรูปสี่เหลี่ยม (PWM) ที่ถูกสร้างขึ้นจากการประมวลผลของไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อใช้ในการขับนำสวิตช์ในวงจร อินเวอร์เตอร์ทั้งด้าน High และ Low สำหรับสร้างพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับป้อนเข้าสู่มอเตอร์โดย อุปกรณ์ที่ใช้ในการขับนำสวิตช์คือ IR2101

**3.2.3.4 วงจรกำลังอินเวอร์เตอร์** ประกอบด้วยสวิตช์ที่ใช้ในการ เปลี่ยนแปลงพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงจากแบตเตอรี่ให้เป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับที่มอเตอร์ BLDC ใช้เป็นพลังงานในการขับเคลื่อน โดยสวิตช์ที่ใช้ในการเปลี่ยนพลังงานคือ Mosfet IRFP2907 PBF ซึ่งมี  $V_{ds} 75 \text{ V}$ ,  $R_{ds(on)} 4.5 \text{ m}\Omega$  และ  $I_d 209 \text{ A}$

**3.2 ตำแหน่งการติดตั้ง Hall Effect Sensors** จุดติดตั้ง Hall Effect Sensors ที่ บริษัทผู้ผลิตกำหนดให้เป็นดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 ตำแหน่งติดตั้ง Hall Effect Sensors ที่บริษัทผู้ผลิตกำหนดให้

เมื่อทำการยึดบอร์ด Hall Effect Sensors กับรูยึดที่ทางบริษัทผู้ผลิตกำหนดให้ เรียบร้อยแล้ว ตำแหน่งของบอร์ด Hall Effect Sensors จะสามารถปรับตั้งได้

โดยก่อนการติดตั้งบอร์ด Hall Effect Sensors ได้ทำการกำหนดจุดที่จะใช้ในการ ตรวจสอบตำแหน่งอ้างอิงแต่ละจุด ซึ่งมีระยะห่างกัน 1 mm เท่ากันทุกจุด

จากนั้นจะทำการเปรียบเทียบทางไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อทำการปรับ ตำแหน่งบอร์ดของ Hall Effect Sensors เป็นระยะห่าง 0.5mm จากตำแหน่งกึ่งกลาง โดยการ เทียบสัญญาณที่ตรงจากรูปสัญญาณใน Oscilloscope

ดังนั้นเมื่อนำค่าที่ตรวจสอบได้จาก Oscilloscope มาทำการเทียบสัญญาณที่ตรงจะได้ ดังสมการนี้

$$\begin{aligned} \text{มุมทางไฟฟ้าที่เปลี่ยนไป} &= \frac{180^\circ \times 3}{28} \dots\dots\dots(3.1) \\ &= 19.3^\circ \end{aligned}$$



สรุปได้ว่า เมื่อทำการปรับตำแหน่ง Hall Effect Sensors ให้เพิ่มขึ้นหรือลดลงเป็นระยะห่าง 0.5 mm จะส่งผลให้มุมทางไฟฟ้าของรูปสัญญาณเปลี่ยนแปลงไป 19.3°

### 3.3 เงื่อนไขการศึกษาผลกระทบต่อการทำงานของมอเตอร์ และชุด ASD จากการปรับแต่งตำแหน่งต่างๆ ของ Hall Effect Sensors

3.3.1 การปรับเลื่อนตำแหน่งของบอร์ด Hall Effect Sensors จะปรับให้มีความแตกต่างครึ่งละ 0.5 mm เป็นระยะห่าง 0.5, 1, -0.5 และ -1.0 mm จากตำแหน่งกึ่งกลาง

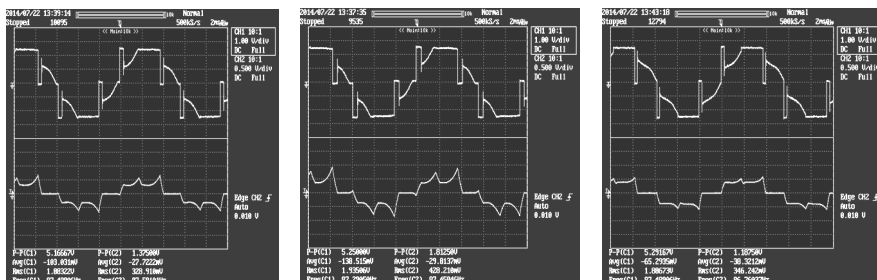
3.3.2 ในการหาความแตกต่างของ Input ที่ระบบต้องการ ณ ทุกๆ ตำแหน่งของ Hall Effect Sensors จะมีการถ่วงน้ำหนักที่เพลามอเตอร์ขนาด 4 kg ตลอดเวลา โดยใช้ความเร็วรอบที่ประมาณ 875.5 รอบ/นาที และความถี่หลักมูลที่ประมาณ 87.5 Hz เพื่อเป็นการเปรียบเทียบหาพลังงาน Input ณ ตำแหน่งต่างๆ ของ Hall Effect Sensors ที่ระบบต้องการ ณ Output ที่เท่ากัน

3.3.3 ทำการปรับ Duty Cycle ให้เป็น 100% ตลอดเวลา และใช้การปรับแต่งพลังงาน Input จาก Power Supply ให้ได้ Output ที่ต้องการตามเงื่อนไขข้อที่ 2 เพื่อเป็นการลดปัญหาฮาร์มอนิกส์ที่เกิดจากการสวิตซ์ และเพื่อเป็นการเปรียบเทียบความแตกต่างของปริมาณพลังงาน Input

## 4. การทดลองและผลการทดลอง

ในการศึกษาผลกระทบต่อการทำงานของมอเตอร์และชุด ASD จากการปรับแต่งตำแหน่งต่างๆ ของ Hall Effect Sensors จะมีเงื่อนไขตามที่กล่าวไว้แล้วในหัวข้อที่ 3.3

### 4.1 $V_{line}$ & $I_{phase}$ ของเฟสเดียวกันที่สถานะ Load 4 kg



(a) หลังจากจุดปกติ 0.5 mm (b) หลังจากจุดปกติ 1.0 mm (c) ตำแหน่งปกติ



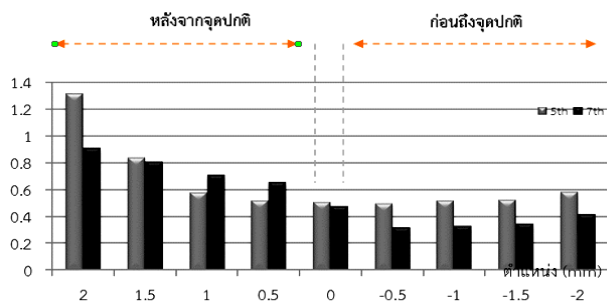
(d) ก่อนถึงจุดปกติ 0.5 mm (e) ก่อนถึงจุดปกติ 1.0 mm

ภาพที่ 8 รูปสัญญาณ  $V_{line}$  &  $I_{phase}$  ที่สถานะ Load 4 kg

สังเกตได้ว่าเมื่อเลื่อนตำแหน่ง Hall Effect Sensors ไปที่ตำแหน่งต่างๆ ทั้งในสถานะ No load และมีภาระ 4 kg จะส่งผลต่อรูปสัญญาณและปริมาณของทั้งกระแสและแรงดันที่มอเตอร์ใช้ในการหมุนความถี่หลักมูลหรือความเร็วมอเตอร์เท่ากันโดยจากตำแหน่งปกติที่รูปสัญญาณแรงดันจะมี spike ที่เกิดจากผลของ Inductive Flyback เมื่อเลื่อนให้ Hall Effect Sensors สามารถตรวจเจอชั่วแม่เหล็กได้ก่อนถึงจุดปกติ 0.5 mm ส่งผลให้ Spike ในบริเวณดังกล่าวลดลง แต่หากเลื่อนไปเกินจากตำแหน่งดังกล่าวจะทำให้บริเวณที่เกิด Zero crossing นานขึ้นส่วนในการปรับเลื่อนให้ Hall Effect Sensors สามารถตรวจเจอชั่วแม่เหล็กได้หลังจากจุดปกติในตำแหน่งใดๆก็ตามบริเวณที่เกิด Spike ดังกล่าวจะขยายความกว้างมากขึ้นส่งผลให้รูปสัญญาณผิดเพี้ยนไปมากขึ้น

#### 4.2 แนวโน้มของค่าต่างๆ ณ ตำแหน่ง Hall Effect Sensors ที่กำหนดเมื่อมีภาระ 4 kg

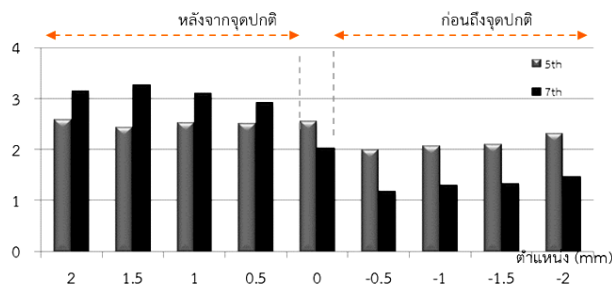
##### 4.2.1 แนวโน้มฮาร์มอนิกลำดับที่ 5 และ 7 ของกระแส



ภาพที่ 9 แนวโน้มของฮาร์มอนิกลำดับที่ 5 และ 7 ของกระแส

จากภาพที่ 9 ค่าฮาร์มอนิกลำดับที่ 5 และ 7 มีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆ จากตำแหน่ง Hall Effect Sensors ที่ตรวจเจอชั่วแม่เหล็กหลังจากจุดปกติจนถึงตำแหน่งที่ก่อนถึงจุดปกติ 0.5 mm และหลังจากนั้นจะกลับมามีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นอีกครั้ง

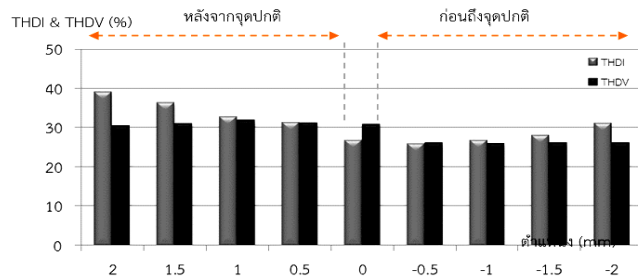
##### 4.2.2 แนวโน้มฮาร์มอนิกลำดับที่ 5 และ 7 ของแรงดัน



ภาพที่ 10 แนวโน้มฮาร์มอนิกลำดับที่ 5 และ 7 ของแรงดัน

จากภาพที่ 10 ค่าฮาร์มอนิกลำดับที่ 5 และ 7 จะมีแนวโน้มคงที่และลดลงต่ำสุดที่ตำแหน่ง Hall Effect Sensors ตรวจเจอชั่วแม่เหล็กก่อนปกติ 0.5 mm หลังจากนั้นจะมีแนวโน้มค่อยๆ เพิ่มขึ้นอีกครั้ง

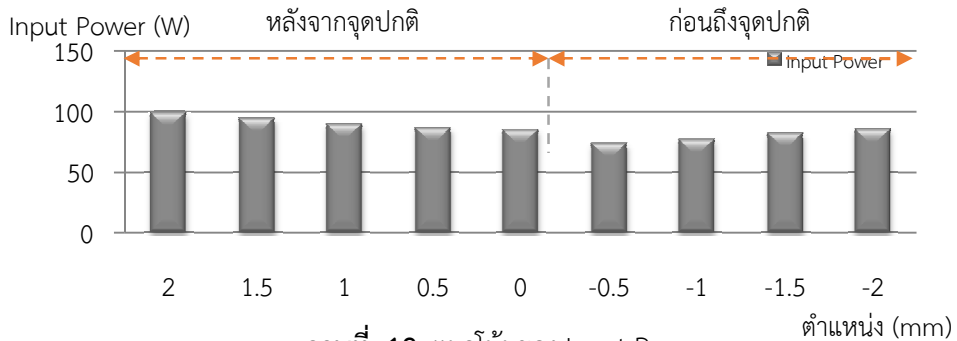
## 4.2.3 แนวโน้มของ THDI และ THDV



ภาพที่ 11 แนวโน้มของ THDI และ THDV

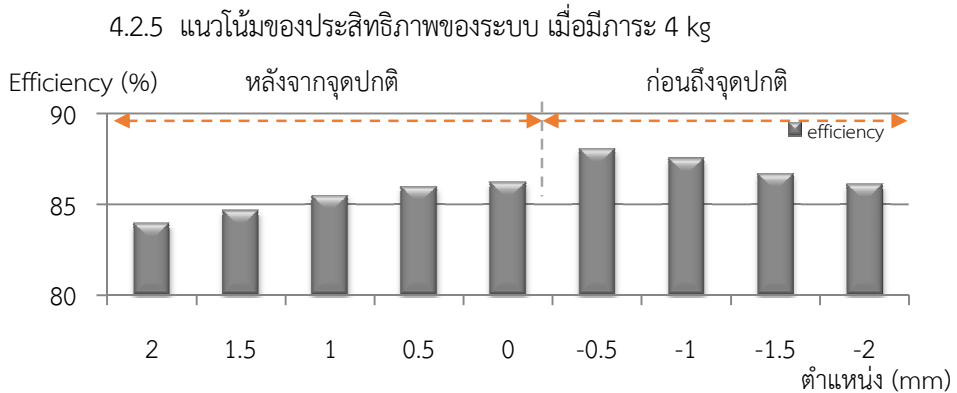
จากภาพที่ 11 ในตำแหน่ง Hall Effect Sensors ตรวจเจอข้อผิดพลาดหลังจากจุดปกติแนวโน้มของ THDI จะลดลงเรื่อยๆ จนถึงตำแหน่งที่ Hall Effect Sensors ตรวจเจอข้อผิดพลาดก่อนถึงจุดปกติ 0.5 mm หลังจากนั้นจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ส่วน THDV ในตำแหน่ง Hall Effect Sensors ตรวจเจอข้อผิดพลาดหลังจากจุดปกติจะมีแนวโน้มคงที่ และลดลงในตำแหน่งที่ตรวจเจอก่อนปกติ

## 4.2.4 แนวโน้มของ Input Power ที่วัดได้จาก Power Meter



ภาพที่ 12 แนวโน้มของ Input Power

จากภาพที่ 12 แนวโน้มของ Input Power ในตำแหน่งที่ Hall Effect Sensors ตรวจเจอข้อผิดพลาดหลังจากจุดปกติจะลดลงเรื่อยๆ ตามลำดับ และมี Input Power ต่ำสุดในตำแหน่งที่ Hall Effect Sensors ตรวจเจอก่อนถึงจุดปกติ 0.5 mm หลังจากนั้นจะมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ อีกครั้ง



ภาพที่ 13 แนวโน้มประสิทธิภาพของระบบ

จากภาพที่ 13 แนวโน้มประสิทธิภาพของระบบเมื่อมีภาระ 4 kg ในตำแหน่งที่ Hall Effect Sensors ตรวจเจอข้อผิดพลาดหลังจากจุดปกติจะเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ ตามลำดับ และจะมีประสิทธิภาพสูงที่สุดที่ตำแหน่ง Hall Effect Sensors ตรวจเจอก่อนถึงจุดปกติ 0.5 mm หลังจากนั้นประสิทธิภาพของระบบจะลดลงเรื่อยๆ อีกครั้ง

โดยผลที่ได้ดังกล่าวสามารถอ้างอิงได้จากภาพที่ 9 - 13 ซึ่งค่าต่างๆ จากรูปที่กล่าวมาจะสามารถส่งผลให้ระบบที่มีตำแหน่ง Hall Effect Sensors ตรวจเจอข้อผิดพลาดก่อนถึงจุดปกติ 0.5 mm มีประสิทธิภาพสูงที่สุดเมื่อเทียบกับตำแหน่งอื่นๆ

### 5. การอภิปรายผล หรือการวิจารณ์และสรุป

มอเตอร์ BLDC ที่วางจำหน่ายในท้องตลาดทั่วไปจำเป็นต้องทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดในทุกทิศทาง ทั้งทวนเข็มนาฬิกา และตามเข็มนาฬิกา บริษัทผู้ผลิตจึงไม่ได้กำหนดออกมาเป็นทิศทางตายตัวของมอเตอร์แต่ละตัว เนื่องจากไม่ทราบถึงการนำไปประยุกต์ใช้ของผู้บริโภค ดังนั้น ตำแหน่งที่ติดตั้งของ Hall Effect Sensors จึงต้องอยู่ในจุดที่เป็นกลางมากที่สุด เพื่อให้สามารถใช้มอเตอร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงที่สุดทั้ง 2 ทิศทาง

จากการทดลองหาประสิทธิภาพที่ตำแหน่งต่างๆ ของ Hall Effect Sensors แสดงให้เห็นว่า ตำแหน่งการติดตั้ง Hall Effect Sensors เป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อการทำงาน และประสิทธิภาพที่ได้จากมอเตอร์ โดยตำแหน่งที่ให้ประสิทธิภาพสูงที่สุดไม่ใช่บริเวณกึ่งกลางขดลวดอาเมเจอร์ ซึ่งเป็นตำแหน่งที่มอเตอร์ที่วางจำหน่ายในท้องตลาดทั่วไปทำการติดตั้งมา แต่เป็นบริเวณที่ Hall Effect Sensors จะต้องตรวจพบข้อผิดพลาดรวบโรเตอร์ก่อนตำแหน่งกึ่งกลาง โดยในการทดลองกับมอเตอร์ชนิดนี้จะต้องเลื่อน Hall Effect Sensors ให้เร็วกว่าปกติ 0.5 mm. จึงจะได้ประสิทธิภาพสูงที่สุด แต่เมื่อมอเตอร์หมุนในทิศทางตรงข้ามกันประสิทธิภาพที่ได้จะต่ำกว่าปกติ เนื่องจาก Hall Effect Sensors จะตรวจพบข้อผิดพลาดรวบโรเตอร์ช้ากว่าตำแหน่งกึ่งกลาง 0.5 mm. จึงส่งผลให้ประสิทธิภาพที่ได้ต่ำกว่าที่ตำแหน่งกึ่งกลาง

## 6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม และสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช ที่ให้การสนับสนุนในการเขียนบทความและขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการสาขาวิศวกรรมไฟฟ้าสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความช่วยเหลือและคำแนะนำในการใช้เครื่องมือต่างๆ ในการทำงานวิจัยนี้

## 7. เอกสารอ้างอิง

- วีระเชษฐ์ ชื่นเงิน และวุฒิพล ธาราธีรเศรษฐ์. (2557). **อิเล็กทรอนิกส์กำลัง**. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพมหานคร : คณะวิศวกรรมศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- Akagi H., Hasegawa H. & Doumoto T. (2004). "Passive EMI Filter for Use With a Voltage-Source PWM Inverter Having Sinusoidal Output Voltage and Zero Common-Mode" **IEEE Transactions on Industry Applications**. on Power Electronics, 19 (2004), n.4, pp., 1069-1076.
- EDN Network. (2015). **Brushless DC Motors – Part I: Construction and Operating Principles**. Retrieved May12, 2015. from [http://edn.com/design/sensors/440\\_6682/Brushless-DC-Motors---Part-I--Construction-and-Operating-Principles](http://edn.com/design/sensors/440_6682/Brushless-DC-Motors---Part-I--Construction-and-Operating-Principles).
- Flynn Mark Matthew. (2003). **A methodology for evaluating and reducing rotor losses, heating, and operational limitations of high-speed flywheel batteries**. Thesis (Ph.D.). The University of Texas at Austin.
- Tashakori, A.; Ektesabi, M. & Hosseinzadeh, N. (2011, December). "Characteristics of suitable drive train for electric vehicle" in **International Conference on Instrumentation, Measurement, Circuits and Systems**. (ICIMCS 2011), Vol.2, pp., 51–57.
- Yedamale. Padmaraja. (2015). **BLDC Motor Fundamentals**. Retrieved May 12, 2015. from <http://microchip.com/stellent/idcplg?ldcService=SSGETPAGE&nodeld=1824&app note = en012127>.