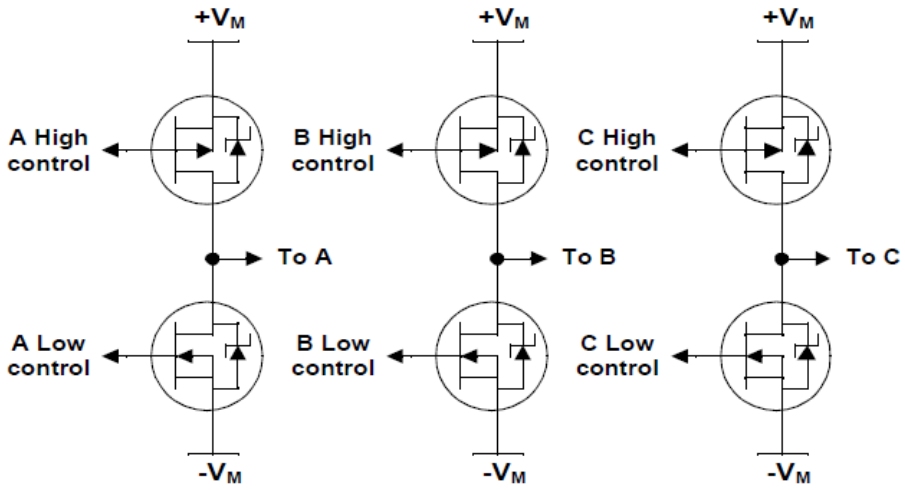
บทที่ 4

ผลการทดลอง

การทดลองในที่นี้เป็นการทดสอบค่าแรงดัน กระแส แรงบิด และค่าอื่นๆในสภาวะของการทำงานของดุมล้อมอเตอร์ภายใต้การควบคุมด้วย MOSFET ความเร็วรอบ แรงบิดจะถูกบันทึกที่ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.1 การทดสอบชุดขับมอเตอร์

ในการทดสอบชุดดุมล้อมอเตอร์ใช้ MOSFETS ที่มีการต่อแบบบริดก์ 3 เฟส ตามรูปที่ 4.1 โดยใช้ออสซิโลสโคปในการวัดสัญญาณที่จ่ายให้กับตัวชุดดุมล้อมอเตอร์ไฟฟ้า ที่ความเร็วรอบต่างๆ ซึ่งในการต่อแบบบริดก์จะมีรูปแบบการต่อ 3 แบบดังรูป ในงานวิจัยนี้ ได้ทำการทดสอบชุดดุมล้อมอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 350 วัตต์ โดยมีแหล่งจ่ายไฟขนาด 24 โวลต์



รูปที่ 4.1 การต่อ MOSFETS แบบบริดก์ 3 เฟส

ซึ่งในการทำการทดสอบการวัดค่าแรงดันไฟฟ้า แรงบิด ความเร็วรอบของชุดดุมล้อมอเตอร์ไฟฟ้า ซึ่งมีอุปกรณ์ในการทดสอบดุมล้อมอเตอร์ดังนี้

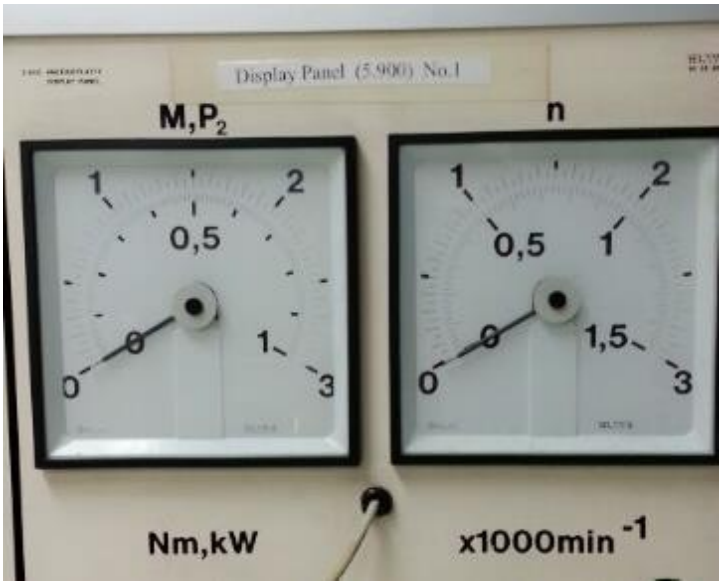
1. แหล่งจ่ายไฟ

2. ดุมล้อมอเตอร์ไฟฟ้า
3. อุปกรณ์วัดความเร็วรอบ
4. ชุดขับ MOSFET
5. ออสซิโลสโคป
6. มิเตอร์วัดแรงบิด

ชุดดุมล้อมอเตอร์ไฟฟ้า ที่พัฒนาสร้างขึ้น ให้มีขนาดกำลังไฟฟ้าเท่ากับ 350 วัตต์ ติดตั้งอยู่บนแท่นทดสอบ เพื่อทำการทดสอบแรงบิดและความเร็วรอบ เมื่อทำการควบคุมการทำงานโดยชุด MOSFET

รูปที่ 4.2 ชุดดุมล้อมอเตอร์ไฟฟ้า

อุปกรณ์วัดแรงบิดของชุดดุมล้อมอเตอร์ไฟฟ้า



รูปที่ 4.3 มิเตอร์วัดแรงบิด

ชุดแหล่งจ่ายไฟ ที่สามารถปรับแรงดันไฟฟ้าได้ตามพิกัดที่ต้องการ ซึ่งในการทดลองครั้งนี้ได้กำหนดพิกัดแรงดันไฟฟ้าของแหล่งจ่ายที่ 24 โวลต์

รูปที่ 4.4 แหล่งจ่ายไฟ

อุปกรณ์วัดความเร็วรอบ ในขณะที่ดุมล้อมอเตอร์ไฟฟ้าอยู่ภายใต้การทดสอบ โดยอุปกรณ์วัดความเร็วรอบเป็นแบบสัมผัส

รูปที่ 4.5 อุปกรณ์วัดความเร็วรอบ

ชุดขับ MOSFET ที่ใช้ในการควบคุมการทำงานของชุดดุมล้อมอเตอร์ไฟฟ้า โดยสามารถควบคุมการทำงานของดุมล้อมอเตอร์ไฟฟ้า ความเร็วและการเบรกของชุดดุมล้อมอเตอร์ไฟฟ้า

รูปที่ 4.6 ชุดขับ MOSFET

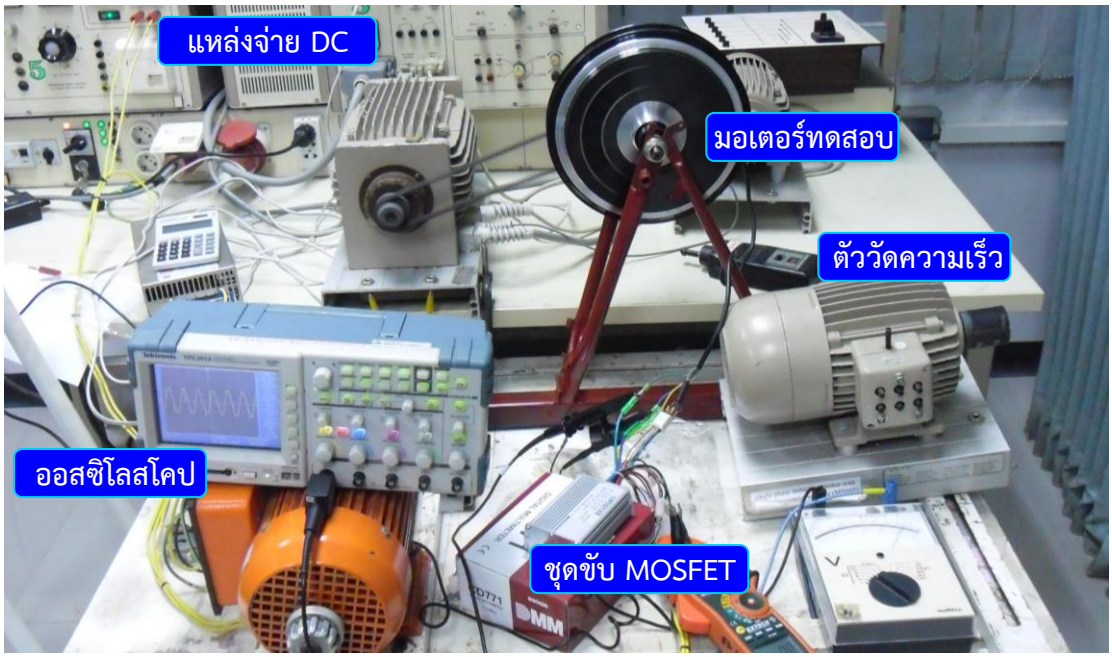
อุปกรณ์วัดแรงดันไฟฟ้าทั้งแบบเข็มและแบบคลิปแอมป์

(a) อุปกรณ์วัดแรงดันไฟฟ้าทั้งแบบเข็ม

(b) อุปกรณ์วัดแรงดันไฟฟ้าทั้งแบบคลิปแอมป์

รูปที่ 4.7 อุปกรณ์วัดแรงดันไฟฟ้า

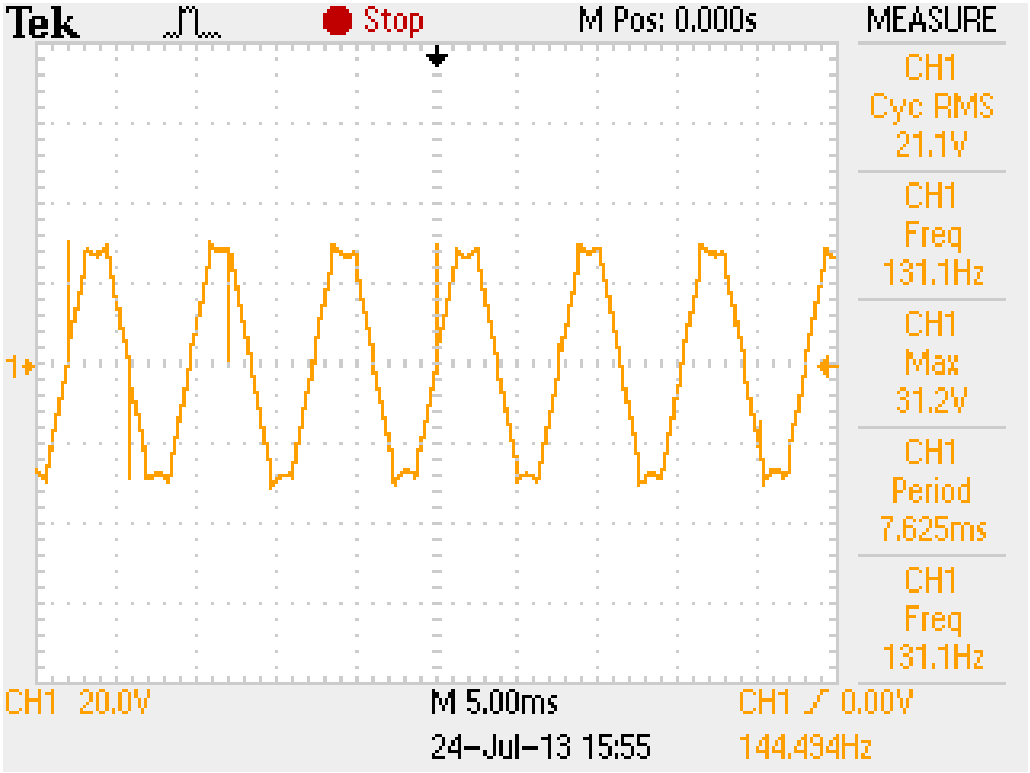
ในรูปที่ 4.8 แสดงการเชื่อมต่ออุปกรณ์ควบคุม วัดผลการทำงานของชุดดุมล้อมอเตอร์ไฟฟ้า โดยในการดำเนินงานการทดสอบ ได้ทำการเก็บข้อมูลการทดสอบควบคุมความเร็วรอบของชุดดุมล้อมอเตอร์ไฟฟ้าที่ความเร็วรอบต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 4.9- 4.11



รูปที่ 4.8 การต่อวงจรวัดสัญญาณขับมอเตอร์

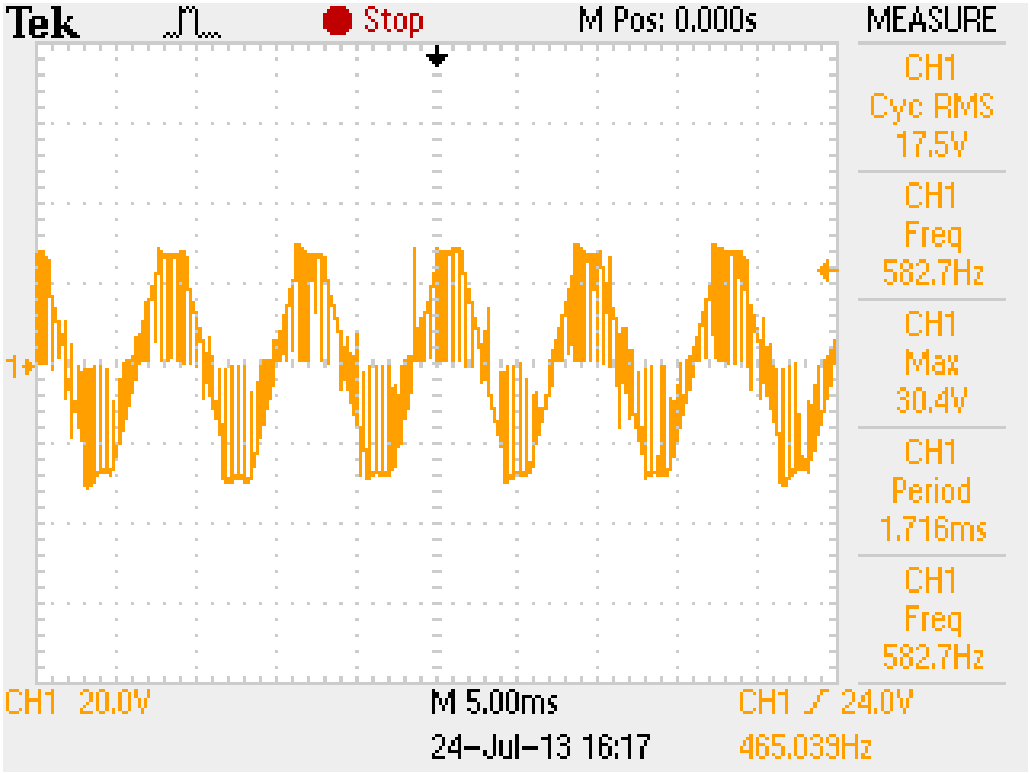
รูปที่ 4.9 -4.11 แสดงผลของการป้อนสัญญาณแรงดันไฟฟ้า เพื่อควบคุมการทำงานของชุดดุมล้อมอเตอร์ไฟฟ้าให้ทำงานที่ความเร็วรอบต่าง ๆ โดยใช้แรงดันไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายที่ 24 โวลต์ และควบคุมสัญญาณแรงดันที่ป้อนเข้าไป

รูปที่ 4.9 แสดงสัญญาณแรงดันที่ขับชุดดุมล้อมอเตอร์ไฟฟ้า ที่ชุดดุมล้อมอเตอร์ไฟฟ้าที่มีการปรับความเร็วรอบของชุดดุมล้อมอเตอร์ไฟฟ้าไปที่ 533 รอบต่อนาที โดยชุดดุมล้อมอเตอร์ไฟฟ้า ได้มีการจ่ายไฟฟ้าโดยวัดแรงดันไฟฟ้าได้ 24 โวลต์ จากแหล่งจ่ายก่อนที่ และที่ความถี่ของสัญญาณแรงดัน 131.1 Hz ในการทดลอง พบว่าค่าของสัญญาณแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนเข้ามีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 21.1 โวลต์ ซึ่งเกิดจากการกระเพื่อมของสัญญาณที่ป้อนเข้าไปและค่าแรงดันไฟฟ้าที่มีการกระเพื่อมขึ้นสูงสุดคือ 31.2 โวลต์ แต่จากการทดลองก็สามารถที่จะควบคุมทำให้มอเตอร์หมุนและมีความเร็วอยู่ที่ 533 รอบต่อนาที



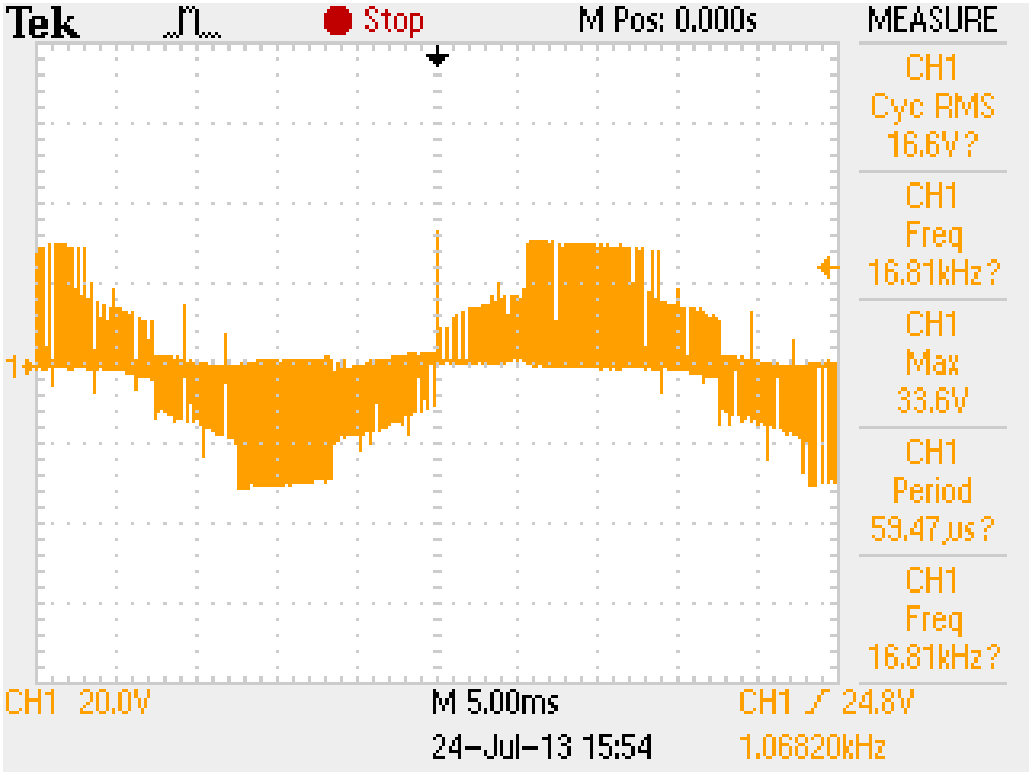
รูปที่ 4.9 สัญญาณแรงดันที่ขับชุดคุมล้อมอเตอร์ด้วยความเร็วรอบ 533 rpm

รูปที่ 4.10 แสดงสัญญาณแรงดันไฟฟ้าที่ขับชุดคุมล้อมอเตอร์ไฟฟ้า ที่ทำการควบคุมให้มีความเร็วรอบของชุดคุมล้อมอเตอร์ไฟฟ้าอยู่ที่ 453 รอบต่อนาที โดยมีการควบคุมค่าแรงดันไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าให้คงที่อยู่ที่ 24 โวลต์ และควบคุมค่าความถี่ของสัญญาณแรงดันไว้ที่ 582.7 Hz แต่จากการทดลอง พบว่าเกิดการกระเพื่อมของแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายและควบคุมให้คงที่ มีการกระเพื่อมขึ้นลง ทำให้วัดค่าแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยอยู่ที่ 17.5 โวลต์ และค่าแรงดันไฟฟ้ากระเพื่อมขึ้นสูงสุดคือ 30.4 โวลต์ แต่จากการทดลองก็ยังสามารถควบคุมให้การหมุนของชุดคุมล้อมอเตอร์ไฟฟ้าคงที่ ทั้งนี้ในการควบคุม ทำการควบคุมสัญญาณความถี่ที่ป้อนเข้า ดังนั้นการกระเพื่อมขึ้นลงของแรงดันไฟฟ้าจึงไม่มีผลต่อความเร็วของการหมุน ซึ่งในการทดลองต่อไปเป็นการเพิ่มความถี่ของสัญญาณแรงดันที่ป้อนเข้าไป



รูปที่ 4.10 สัญญาณแรงดันที่ขับชุดคุมล้อมอเตอร์ด้วยความเร็วรอบ 453 rpm

รูปที่ 4.11 แสดงสัญญาณแรงดันที่ขับชุดคุมล้อมอเตอร์ไฟฟ้า โดยการควบคุมความเร็วรอบของชุดคุมล้อมอเตอร์ไฟฟ้าให้คงที่อยู่ที่ 305 รอบต่อนาที โดยมีค่าที่วัดแรงดันไฟฟ้าไว้ที่ 24 โวลต์ และควบคุมสัญญาณความถี่ของสัญญาณแรงดันให้คงที่ไว้ที่ 16.81 kHz จากการทดลองพบว่า เกิดการกระเพื่อมขึ้นลงของแรงดันไฟฟ้าจากแหล่งจ่าย โดยมีค่าเฉลี่ยของแรงดันไฟฟ้าที่กระเพื่อมอยู่ที่ 16.6 โวลต์ และมีค่าแรงดันไฟฟ้ากระเพื่อมสูงสุดคือ 33.6 โวลต์ แต่จากการกระเพื่อมของแรงดันไฟฟ้า ก็ไม่มีผลต่อความเร็วรอบของชุดคุมล้อมอเตอร์ไฟฟ้า ซึ่งยังคงมีความเร็วรอบในการหมุนอยู่ที่ 305 รอบต่อนาที และเมื่อทำการเพิ่มความถี่ของสัญญาณแรงดันให้สูงขึ้น ผลที่ได้แสดงในการทดลองถัดไป



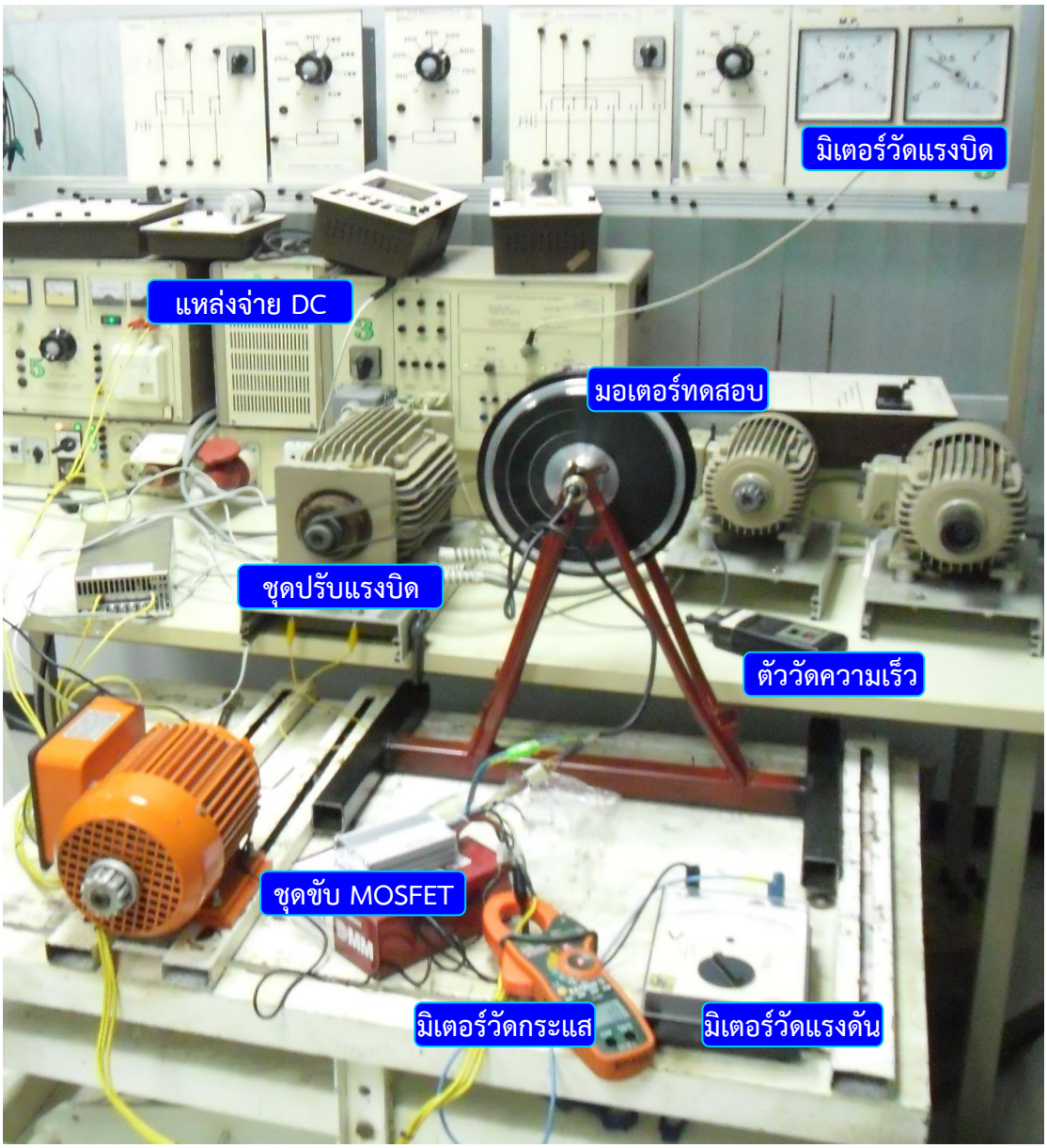
รูปที่ 4.11 สัญญาณแรงดันที่ขับชุดคุมล้อมอเตอร์ด้วยความเร็วรอบ 305 rpm

จากผลการทดสอบชุดขับคุมล้อมอเตอร์ไฟฟ้า สามารถควบคุมทำงานได้ตามที่ได้ออกแบบไว้ นั้นคือการปรับความถี่ป้อนเข้าของสัญญาณแรงดัน เพื่อควบคุมความเร็วรอบของชุดคุมล้อมอเตอร์ไฟฟ้า โดยสามารถทำให้ชุดขับ MOSFET ควบคุมชุดคุมล้อมอเตอร์หมุนที่ความเร็วรอบต่างกัน โดยควบคุมที่ความถี่ของสัญญาณที่ป้อนให้กับชุดคุมล้อมอเตอร์ไฟฟ้า นั้นเป็นการควบคุมการทำงานของระบบขับเคลื่อนยานยนต์ไฟฟ้าต่อไปได้ เมื่อต้องการเพิ่มความเร็วในการเคลื่อนที่ ก็สามารถทำได้โดยการลดสัญญาณความถี่ของแรงดันลง ถ้าต้องการลดความเร็วในการเคลื่อนที่ ก็ทำได้โดยการเพิ่มความถี่ของสัญญาณแรงดันที่ป้อนเข้า

จากผลการทดลอง ยิ่งทำการเพิ่มความถี่ของสัญญาณแรงดันที่ขับชุดคุมล้อมอเตอร์ไฟฟ้าสูงขึ้น ก็จะทำให้ความเร็วรอบของการหมุดของชุดคุมล้อมอเตอร์ไฟฟ้าช้าลง แต่นั้นก็แสดงให้เห็นว่า สามารถทำการควบคุมความเร็วรอบของชุดคุมล้อมอเตอร์ไฟฟ้าจากการปรับเปลี่ยนความถี่ของสัญญาณแรงดันที่ป้อนเข้าไป

4.2. การทดสอบประสิทธิภาพของชุดดุมล้อมอเตอร์ไฟฟ้า

การทดสอบประสิทธิภาพของชุดดุมล้อมอเตอร์ไฟฟ้า ใช้การเพิ่มแรงบิดแล้ววัดค่า กระแส แรงดัน ทางด้านอินพุต ส่วนทางด้านเอาต์พุตวัดแรงบิด ความเร็ว จากนั้นคำนวณหากำลังไฟฟ้าทางด้านอินพุตและกำลังไฟฟ้าทาด้านเอาต์พุต เพื่อนำค่าที่ได้ไปหาประสิทธิภาพ โดยการทดสอบเป็นไปตามรูปที่ 4.12 และผลเป็นไปตามตารางที่ 4.1



รูปที่ 4.12 การทดสอบประสิทธิภาพชุดดุมล้อมอเตอร์ไฟฟ้า

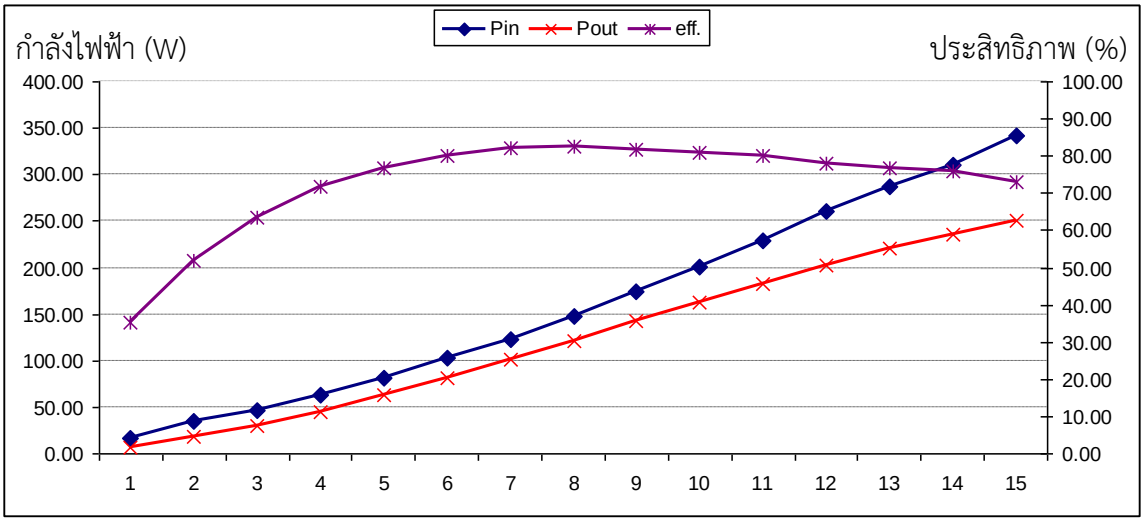
ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบประสิทธิภาพ

ลำดับ	แรงดัน	กระแส	กำลังเข้า	แรงบิด	ความเร็ว	กำลังออก	ประสิทธิภาพ
	V	A	W	N-m	rpm	W	%
1	25.41	0.68	17.28	0.11	533	6.11	35.36
2	25.41	1.36	34.56	0.33	522	17.94	51.91
3	25.42	1.83	46.52	0.55	517	29.62	63.67
4	25.42	2.47	62.79	0.85	509	45.07	71.78
5	25.42	3.23	82.11	1.21	500	63.02	76.75
6	25.41	4.03	102.40	1.61	489	82.01	80.09
7	25.41	4.86	123.49	2.03	479	101.29	82.02
8	25.41	5.81	147.63	2.5	468	121.88	82.56
9	25.41	6.88	174.82	3.02	455	143.14	81.88
10	25.41	7.91	200.99	3.53	443	162.89	81.04
11	25.41	9.01	228.94	4.06	433	183.12	79.99
12	25.41	10.23	259.94	4.84	402	202.68	77.97
13	25.41	11.33	287.90	5.2	409	221.54	76.95
14	25.41	12.19	309.75	5.68	398	235.48	76.02
15	25.42	13.72	348.76	6.25	395	257.16	73.74

ในการทดลอง เป็นการทดลองระบบการควบคุมการขับเคลื่อนของชุดดุมล้อมอเตอร์ไฟฟ้าภายใต้สภาวะที่มีโหลด ผลการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของชุดดุมล้อมอเตอร์ไฟฟ้า จะแสดงการทดสอบและเก็บผลในรูปแบบของตารางข้อมูล จากตารางที่ 4.1 เป็นผลที่ได้จากการเพิ่มกระแสไฟฟ้าที่ป้อนให้กับชุดดุมล้อมอเตอร์ไฟฟ้าขึ้นไปเรื่อย ๆ โดยทำการควบคุมให้แรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้คงที่ 25.42 โวลต์ เพราะฉะนั้นจะทำให้กำลังไฟฟ้าที่ป้อนเข้าไปสูงขึ้นตามไปด้วย และค่อย ๆ เพิ่มโหลดให้กับชุดดุมล้อมอเตอร์ ซึ่งเป็นผลให้แรงบิดที่ได้เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ในช่วงแรกจะพบว่า ที่กระแสไฟฟ้าต่ำ ๆ จะมีการหมุนของชุดดุมล้อมอเตอร์ไฟฟ้าสูงประมาณ 533 รอบต่อนาที ที่แรงดันไฟฟ้าจากแหล่งจ่าย 25.41 โวลต์ และกระแสไฟฟ้าที่ 0.68 แอมป์ ทำให้ได้กำลังขาออก เมื่อเทียบเป็นประสิทธิภาพกับกำลังขาเข้านั้นมีค่าเท่ากับ 35.36% และค่อย ๆเพิ่มสูงขึ้นด้วยด้วยการเพิ่มกระแสที่ป้อนเข้าไปตามสภาวะของโหลดที่เพิ่มขึ้น ทำให้แรงบิดสูงขึ้นเช่นกัน จากการเพิ่มขึ้นของ

กระแสที่จ่ายให้กับชุดดุมล้อมอเตอร์ไฟฟ้าเป็นผลให้ประสิทธิภาพของชุดดุมล้อมอเตอร์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นด้วย

ในรูปที่ 4.13 เป็นกราฟแสดงกำลังที่ป้อนเข้า กำลังที่ได้ออกมาและประสิทธิภาพของชุดดุมล้อมอเตอร์ไฟฟ้า เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงสภาวะของโหลดที่ป้อนเข้า โดยมีการควบคุมแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนเข้าคงที่ที่ 25.41 โวลต์ จากห้องทดลอง จากตารางที่ 4.1 นำมาสร้างเป็นกราฟแสดงผลซึ่งมีลักษณะของกราฟที่แสดงให้ออกมาดังรูปด้านล่าง จากผลที่แสดงออกมาพบว่าประสิทธิภาพสูงสุดของชุดดุมล้อมอเตอร์ไฟฟ้าภายใต้สภาวะการเปลี่ยนแปลงของโหลดอยู่ที่แรงบิด 2.5 N-m ซึ่งได้ประสิทธิภาพสูงสุดที่ 82.56% มีความเร็วรอบของการหมุนของชุดดุมล้อมอเตอร์ไฟฟ้าอยู่ที่ 468 รอบต่อนาที มีการดึงกระแสของชุดดุมล้ออยู่ที่ 5.81 แอมป์ ส่วนแรงบิดสูงสุดที่วัดได้จากการทดลองอยู่ที่ที่พิกัดกำลังที่ป้อนเข้า 348.76 วัตต์จะได้แรงบิดอยู่ที่ 6.25 N-m และใช้กระแสไฟฟ้าที่ 13.72 แอมป์ ทำให้มีความเร็วรอบในการหมุนอยู่ที่ 395 รอบต่อนาที



รูปที่ 4.13 กราฟการทดสอบประสิทธิภาพ