

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

จากการที่ได้กล่าวถึงออกแบบชุดขับเคลื่อนมอเตอร์และชุดจอสถกรินในบทที่แล้วนั้น ในบทนี้จะนำชุดจอสถกรินและชุดขับเคลื่อนมอเตอร์มาทำการทดลองควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 48 โวลต์ 300 วัตต์ โดยละเอียดการทดลองจะได้กล่าวต่อไป

การทดลองควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นแยก จะทดลองกับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งเป็นชุดทดลองเครื่องจักรกลไฟฟ้าสำเร็จรูป ดังมีรายละเอียดของอุปกรณ์ที่ใช้ทดลองดังนี้

4.1 มอเตอร์ไฟฟ้าที่ใช้ในการทดลอง

4.1.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นแยก (Separated Excited D.C Motor)

ขนาดพิกัดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่ใช้ในการทดลอง โดยมีรายละเอียดตามตารางที่ 4.1 รวมทั้งเครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดลองต่างๆมีดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.1 ขนาดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่ใช้ในการทดสอบการขับเคลื่อน

แรงดันพิกัด	48 โวลต์(V)
กระแสพิกัด	6.25 แอมป์(A)
ความเร็วรอบ	770 ความเร็วรอบ(rpm)
กำลังไฟฟ้าพิกัด	300 วัตต์(W)

4.1.2 เครื่องมือวัดความเร็ว

-ใช้จากเครื่องสร้างแรงบิดที่มีเครื่องวัดความเร็วรอบในตัว(Magnatic Powder Berak)

4.1.3 เครื่องจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ (Variable)

-ใช้เพื่อควบคุมแรงดันผ่านชุดขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (Converter) ที่จ่ายให้กับชุดลวดอาร์เมเจอร์

4.1.4 เครื่องจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง (D.C.Power Supply)

- เพื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงให้กับขดลวดสนาม

4.1.4 เครื่องมือวัดไฟฟ้า

- เครื่องวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (D.C. Voltmeter) 0-300V
- เครื่องวัดกระแสไฟฟ้ากระแสตรง (D.C. Amp meter) 0-10A
- ออสซิลโลสโคป

5.1.5 เครื่องสร้างแรงบิด

- Magnatic Powder Berak
- Contron Unit For Magnetic Powder Break

4.2 การทดลองและผลการทดลอง

การทดลองนี้เป็นการทดลองแบบลูปปิด (Close Loop Control System) มีจุดประสงค์เพื่อตรวจสอบสัญญาณในส่วนของสัญญาณที่ชุดขับเคลื่อนมอเตอร์ สัญญาณแรงดันที่ขั้วอาร์เมเจอร์ และสัญญาณแรงดันที่ได้จากการแปลงความเร็วรอบมาเป็นแรงดันจากเครื่องสร้างแรงบิดโดยจะมีรายละเอียดในการทดลองต่างๆดังนี้

ขั้นตอนการทดลองทำการต่ออุปกรณ์เข้าสู่ชุดควบคุม จ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงให้กับขดลวดสนาม 48 Vdc คงที่ และจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงให้กับขดลวดอาร์เมเจอร์ 100Vdc คงที่ จากนั้นทำการค่อยๆเพิ่มความเร็วยรอบของมอเตอร์(rpm) โดยทำการเพิ่มค่าได้จากจอ LCD โดยการทดลองโดยเพิ่มความเร็วจนถึง 1400 rpm โดยมีการปรับโหลดให้กับมอเตอร์ 0.2 , 0.4 , 0.6 , 0.8 , 1.0 N.m ตามลำดับ บันทึกผลที่ได้จากจอ LCD เพื่อเปรียบเทียบค่าแรงดันเอาต์พุตที่แปรผันเป็นความเร็วยรอบที่ได้จากเครื่องสร้างแรงบิดที่วัดรอบได้ในตัว และเปรียบเทียบค่าสัญญาณพัลส์ที่ได้จากจอ LCD โดยอิงจากออสซิลโลสโคป

โดยมีการกำหนดค่าก่อนการทดลองดังนี้

- จ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงให้กับขดลวดสนามของมอเตอร์ 48 Vdc คงที่
- จ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงให้กับชุดขับเคลื่อนมอเตอร์ 100Vdc คงที่
- ทำการเพิ่มความเร็วยรอบของมอเตอร์ที่ 100 rpm ถึง 1400 rpm ที่ No-load และที่โหลด 0.2 N.m , 0.4 N.m , 0.6 N.m , 0.8 N.m 1.0 N.m แล้วบันทึกผล

4.3 ผลการทดลอง

4.3.1 การทดลองควบคุมแบบรูปเปิด (Open Loop Control System)

ตารางที่ 4.2 แสดงผลการทดลองที่สภาวะ Noload และ Load 0.2 N.m

Speed (rpm)		Noload		Load 0.2 N.m		
Fix	Tg 1v/1000	% Duty	A Current	Speed(rpm) Tg 1v/1000	% Duty	A Current
100	97	7	0.46	46	7	0.63
200	203	14	0.49	166	14	0.66
300	302	18.5	0.54	266	18.5	0.7
400	401	23.5	0.57	372	23.5	0.76
500	501	30	0.61	458	30	0.79
600	601	34.5	0.65	557	34.5	0.85
700	697	40.5	0.69	667	40.5	0.88
800	799	45	0.71	755	45	0.91
900	902	50	0.71	837	50	0.99
1000	1001	55.5	0.72	942	55.5	1.03
1100	1103	61	0.72	1024	61	1.05
1200	1197	66	0.72	1161	66	1.06
1300	1299	71	0.73	1239	71	1.09
1400	1394	76	0.73	1349	76	1.11

ตารางที่ 4.3 แสดงผลการทดลองที่สภาวะ 0.4 N.m และ Load 0.6 N.m

Speed (rpm)	Load 0.4 N.m			Load 0.6 N.m		
	Speed(rpm) Tg 1v/1000	% Duty	A Current	Speed(rpm) Tg 1v/1000	% Duty	A Current
100	13	7	0.98	0	7	1.4
200	113	14	1.03	64	14	1.51
300	220	18.5	1.08	168	18.5	1.53
400	313	23.5	1.1	257	23.5	1.55
500	401	30	1.12	336	30	1.58
600	504	34.5	1.15	450	34.5	1.6
700	594	40.5	1.17	532	40.5	1.63
800	682	45	1.18	618	45	1.68
900	718	50	1.2	700	50	1.7
1000	875	55.5	1.24	800	55.5	1.74
1100	953	61	1.25	891	61	1.79
1200	1117	66	1.28	1014	66	1.81
1300	1142	71	1.3	1076	71	1.85
1400	1264	76	1.32	1188	76	1.88

ตารางที่ 4.4 แสดงผลการทดลองที่สภาวะ Load 0.8 N.m และ 1.0 N.m

Speed (rpm)	Load 0.8 N.m			Load 1.0 N.m		
	Speed(rpm) Tg 1v/1000	% Duty	A Current	Speed(rpm) Tg 1v/1000	% Duty	A Current
Fix						
100	0	7	1.97	0	7	2.47
200	11	14	2	0	14	2.5
300	122	18.5	2.05	86	18.5	2.53
400	214	23.5	2.09	154	23.5	2.54
500	289	30	2.11	241	30	2.54
600	392	34.5	2.12	336	34.5	2.57
700	473	40.5	2.12	418	40.5	2.6
800	562	45	2.15	505	45	2.64
900	646	50	2.15	577	50	2.63
1000	750	55.5	2.17	681	55.5	2.65
1100	828	61	2.2	754	61	2.69
1200	946	66	2.2	908	66	2.7
1300	1000	71	2.24	964	71	2.71
1400	1119	76	2.24	1033	76	2.7

จากการทดลองจะเห็นได้ว่าเมื่อเราปรับความเร็วรอบของมอเตอร์อยู่ที่ 500 rpm ความเร็วของมอเตอร์ที่วัดได้จากเครื่องวัดความเร็วรอบนั้นอยู่ที่ 501 rpm แต่ในขณะที่มีโหลดให้กับมอเตอร์ในระดับที่ 0.2 , 0.4 , 0.6 0.8 และ 1.0 N.m ความเร็วของมอเตอร์ก็ลดลงเหลือ 458 , 401 , 336 , 289 , 241 rpm ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าเมื่อมีโหลดให้กับมอเตอร์เพิ่มมากขึ้น ความเร็วของมอเตอร์นั้นก็ลดลงอย่างเห็นได้ชัด และในขณะที่เดียวกันที่มีการเพิ่มความเร็วของมอเตอร์ขึ้นไปจนถึง 1400 rpm ความเร็วของมอเตอร์ก็จะลดลงตามการเปลี่ยนแปลงของโหลดเช่นกัน ยังมีโหลดให้กับมอเตอร์มากเท่าไรก็จะทำให้ความเร็วของมอเตอร์ลดลงไปด้วยตามกัน

4.3.2 การทดลองควบคุมแบบลูปปิด (Close Loop Control System)

ตารางที่ 4.5 แสดงผลการทดลองที่สภาวะ NoLoad

Speed (rpm)				NoLoad			
Fix	Tg 1v/1000	LCD	Error	% Duty			A
				OSC	LCD	Error	Current
100	97	104	7	7	8	1	0.46
200	203	207	4	14	14	0	0.49
300	302	307	5	18.5	19	0.5	0.54
400	401	406	5	23.5	25	1.5	0.57
500	502	507	4	30	29	1	0.61
600	601	606	5	34.5	35	1.5	0.65
700	697	702	5	40.5	40	0.5	0.69
800	799	803	4	45	45	0	0.71
900	902	905	3	50	51	1	0.71
1000	1001	1007	6	55.5	56	0.5	0.72
1100	1103	1109	6	61	60	1	0.72
1200	1197	1202	5	66	67	1	0.72
1300	1299	1304	5	71	72	1	0.73
1400	1394	1401	7	76	77	1	0.73

ตารางที่ 4.6 แสดงผลการทดลองที่สภาวะ Load 0.2 N.m

Speed (rpm)				Load 0.2 N.m			
Fix	Tg 1v/1000	LCD	Error	% Duty			A
				OSC	LCD	Error	Current
100	80	84	4	9.5	10	0.5	0.63
200	175	173	2	15.5	16	0.5	0.66
300	279	275	4	21.5	22	0.5	0.7
400	372	369	3	26.5	27	0.5	0.76
500	474	470	4	31.5	32	0.5	0.79
600	568	571	3	40	40	0	0.85
700	674	671	3	48.5	48	0.5	0.88
800	767	675	2	53.5	54	0.5	0.91
900	868	864	4	59.5	60	0.5	0.99
1000	964	963	1	66	66	0	1.03
1100	1072	1070	2	71	71	0	1.05
1200	1170	1173	3	78	79	1	1.06
1300	1267	1263	4	85	85	0	1.09
1400	1376	1374	2	90	91	1	1.11

ตารางที่ 4.7 แสดงผลการทดลองที่สภาวะ Load 0.6 N.m

Speed (rpm)				Load 0.4 N.m			
Fix	Tg 1v/1000	LCD	Error	% Duty			A
				OSC	LCD	Error	Current
100	64	64	0	11.5	11	0.5	0.98
200	158	156	2	17.5	18	0.5	1.03
300	257	254	3	24.5	25	0.5	1.08
400	360	362	2	29.5	30	0.5	1.1
500	451	454	3	36	37	1	1.12
600	554	555	1	42.5	42	0.5	1.15
700	654	652	2	49	49	0	1.17
800	755	756	1	54	55	1	1.18
900	855	857	2	60	61	1	1.2
1000	948	946	2	68	68	0	1.24
1100	1066	1066	0	73	74	1	1.25
1200	1149	1144	5	79	80	1	1.28
1300	1261	1264	3	86	87	1	1.3
1400	1348	1349	1	93	94	1	1.32

ตารางที่ 4.8 แสดงผลการทดลองที่สภาวะ Load 0.6 N.m

Speed (rpm)				Load 0.6 N.m			
Fix	Tg 1v/1000	LCD	Error	% Duty			A
				OSC	LCD	Error	Current
100	41	43	2	10	11	1	1.4
200	134	131	3	18.5	19	0.5	1.51
300	232	234	2	24	24	0	1.53
400	333	331	2	29.5	29	0.5	1.55
500	435	436	1	37	37	0	1.58
600	539	537	2	43.5	43	0.5	1.6
700	628	626	3	49	48	1	1.63
800	725	723	2	56	57	1	1.68
900	831	831	0	63.5	63	0.5	1.7
1000	927	925	2	69.5	69	0.5	1.74
1100	1028	1025	3	76.5	77	0.5	1.79
1200	1123	1120	3	83	83	0	1.81
1300	1219	1217	2	89.5	90	0.5	1.85
1400	1324	1321	3	97	97	0	1.88

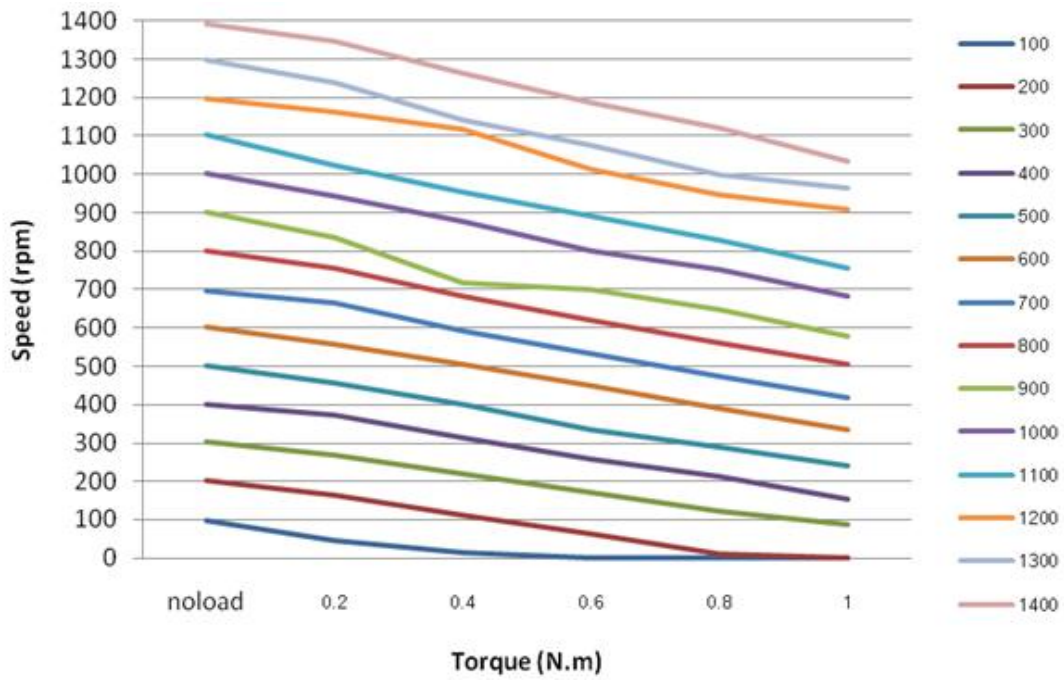
ตารางที่ 4.9 แสดงผลการทดลองที่สภาวะ Load 0.8 N.m

Speed (rpm)				Load 0.8 N.m			
Fix	Tg 1v/1000	LCD	Error	% Duty			A
				OSC	LCD	Error	Current
100	10	10	0	12.5	13	0.5	1.97
200	114	112	2	19	20	1	2
300	209	207	2	26	26	0	2.05
400	309	309	0	32	31	1	2.09
500	415	414	1	38	37	1	2.11
600	513	512	1	44.5	45	0.5	2.12
700	609	506	3	52	52	0	2.12
800	708	705	3	58	58	0	2.15
900	805	807	2	65	64	1	2.15
1000	911	914	3	71	71	0	2.17
1100	1012	1008	4	75	75	0	2.2
1200	1110	1115	5	86	85	1	2.2
1300	1204	1200	4	93	92	1	2.24
1400	1308	1306	2	97	97	0	2.24

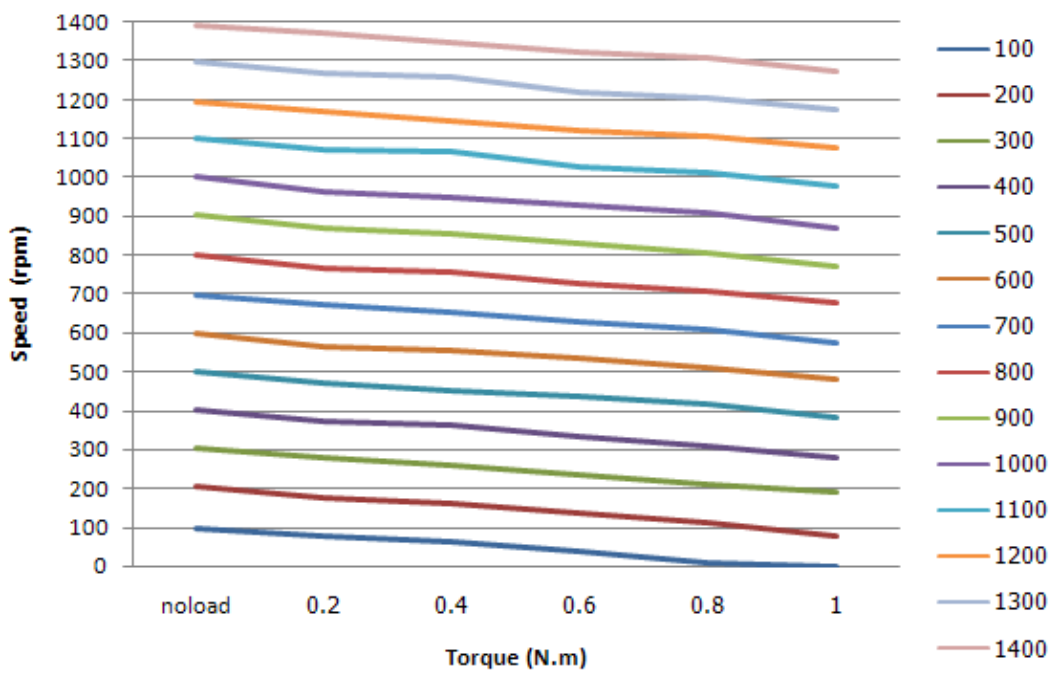
ตารางที่ 4.9 แสดงผลการทดลองที่สภาวะ Load 1.0 N.m

Speed (rpm)				Load 1.0 N.m			
Fix	Tg 1v/1000	LCD	Error	% Duty			A
				OSC	LCD	Error	Current
100	0	0	0	12	12	0	2.47
200	78	78	0	18.5	18	0.5	2.5
300	189	188	1	25	25	0	2.53
400	280	281	1	33	32	1	2.54
500	380	380	0	39	38	1	2.54
600	482	480	2	47	46	1	2.57
700	573	571	2	51	51	0	2.6
800	678	679	2	59	58	1	2.64
900	770	773	3	66	66	0	2.63
1000	871	875	4	73	73	0	2.65
1100	978	979	1	80	79	1	2.69
1200	1078	1075	3	87	86	1	2.7
1300	1173	1170	3	95	95	0	2.71
1400	1274	1273	1	97	97	0	2.7

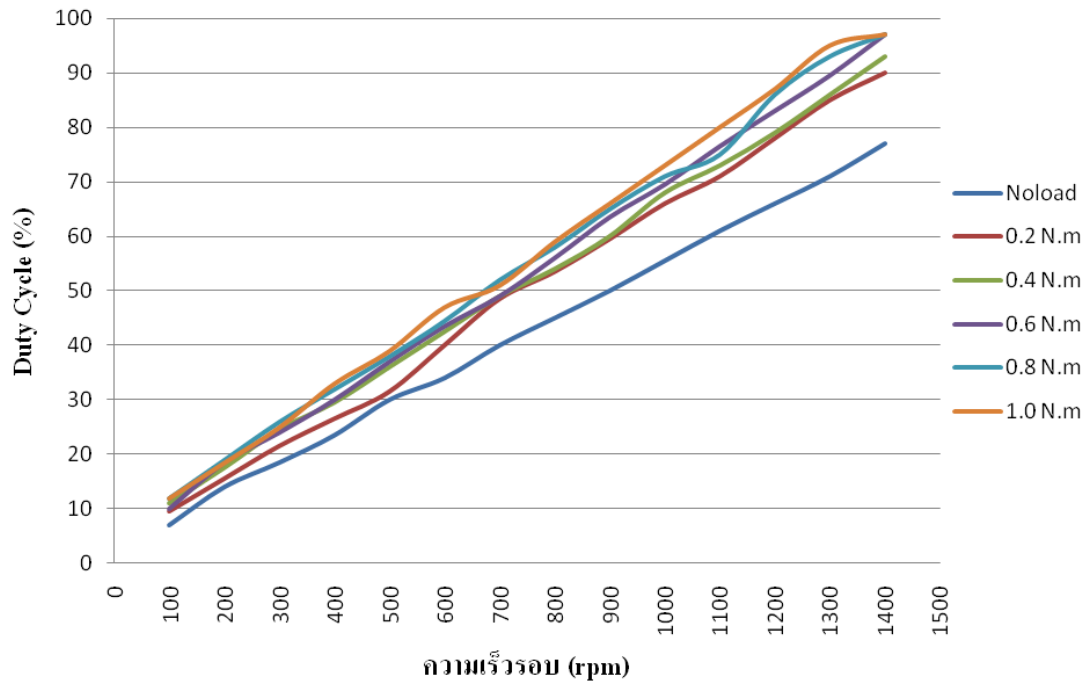
จากการทดลองจะเห็นได้ว่าเมื่อปรับความเร็วรอบ 100 rpm ในสถานะที่ไม่มีโหลด แรงดันที่แปลงเป็นความเร็วรอบที่วัดได้จาก เครื่องสร้างแรงบิดที่มีเครื่องวัดความเร็วรอบในตัว ได้ 97 rpm แต่ในจอ LCD แสดงผลที่ 104 rpm มีค่าความผิดพลาดอยู่ที่ 7 rpm โดยประมาณ และค่า Duty cycle ที่ได้จากออสซิลโลสโคปเท่ากับ 7% และจากจอLCD 8% มีค่าความผิดพลาดอยู่บ้างเล็กน้อย กระแสที่วัดได้อยู่ที่ 0.46 A และทำการเพิ่มค่าความเร็วรอบของมอเตอร์ที่ 200 -1400 rpm ความเร็วรอบของมอเตอร์ที่วัดได้ระหว่าง เครื่องสร้างแรงบิดที่มีเครื่องวัดความเร็วรอบในตัว กับที่แสดงบนจอLCD มีค่าความผิดพลาดโดยเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 5 rpm และเมื่อเพิ่ม load ให้กับมอเตอร์ที่ 0.2 , 0.4 , 0.6 0.8 และ 1.0 N.m ตามลำดับจะเห็นได้ว่า เมื่อมีการเพิ่ม load ให้กับมอเตอร์ที่เพิ่มมากขึ้น ค่า duty cycle มีค่าเพิ่ม เพื่อรักษาความเร็วของมอเตอร์ให้คงที่ในขณะที่โหลดเปลี่ยนแปลง ในขณะเดียวกัน เมื่อมีโหลดเพิ่มขึ้นให้กับมอเตอร์ กระแสก็มีการเพิ่มขึ้นตามลำดับเช่นกัน



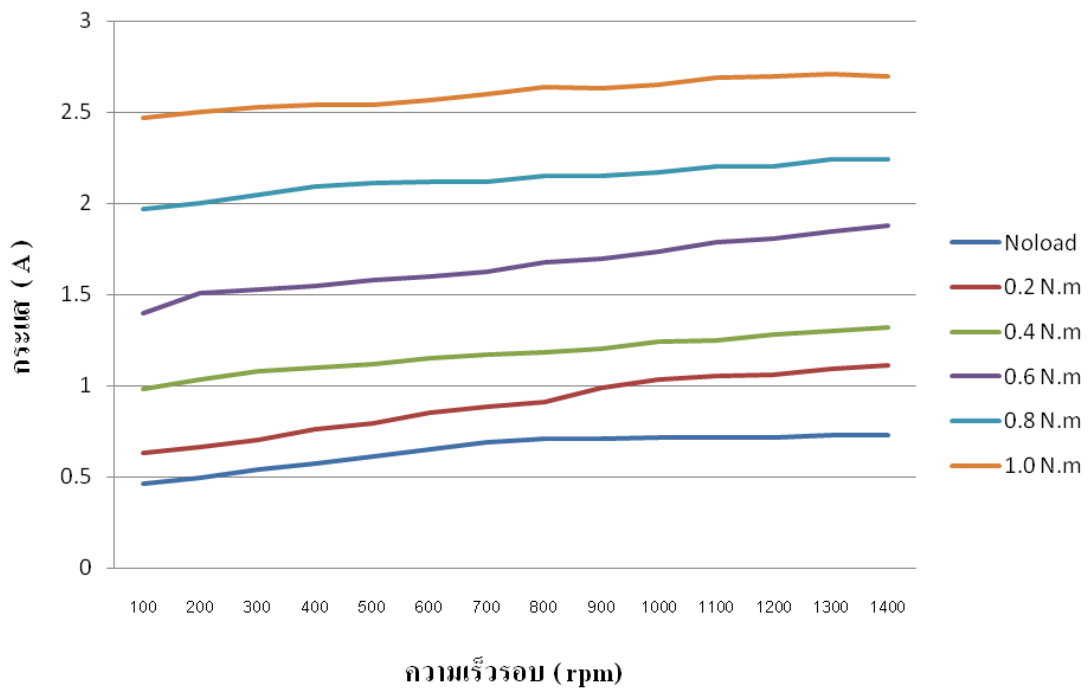
ภาพที่ 4.1 แสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่าง Speed กับ Torque แบบลูปเปิด (Open Loop Control System)



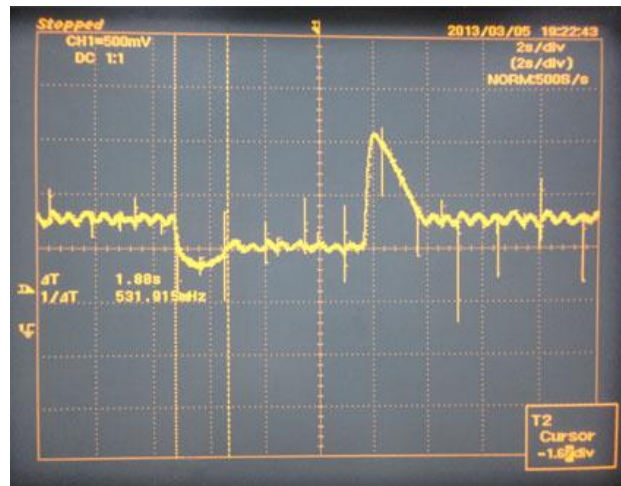
ภาพที่ 4.2 แสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่าง Speed กับ Torque แบบลูปปิด (Closed Loop Control System)



ภาพที่ 4.3 แสดงค่า %duty ที่เพิ่มขึ้นจากการเพิ่มความเร็วของมอเตอร์



ภาพที่ 4.4 แสดงค่ากระแสของมอเตอร์ในขนาดที่มีการเพิ่มภาระและความเร็วเพิ่มขึ้น

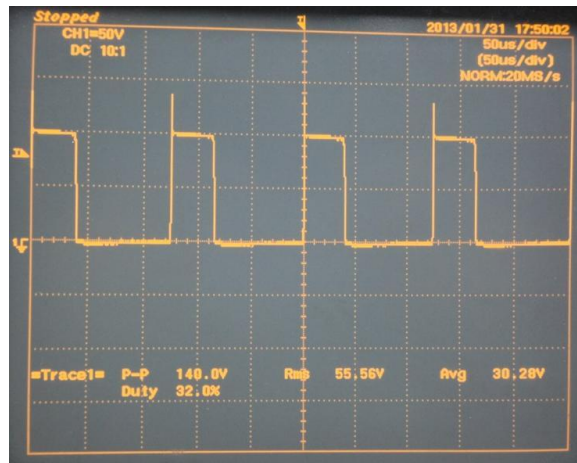


ภาพที่ 4.5 แสดงการตอบสนองขณะมีโหลด

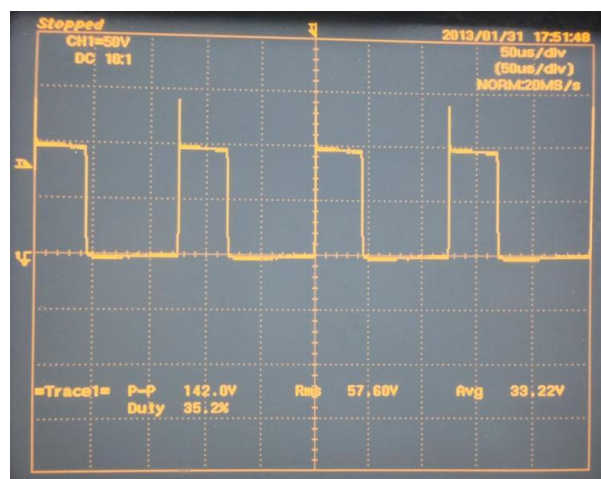


ภาพที่ 4.6 แสดงการตอบสนองขณะไม่มีโหลด

4.3.1 การทดลองควบคุมแบบรูปปิด (Close Loop Control System) ขณะที่มีภาระโหลดที่ 0.2 N.m และ 0.4 N.m กำหนดความเร็วรอบที่ 500 rpm แล้วทำการวัดค่าสัญญาณดังภาพ 4.3 และ 4.4



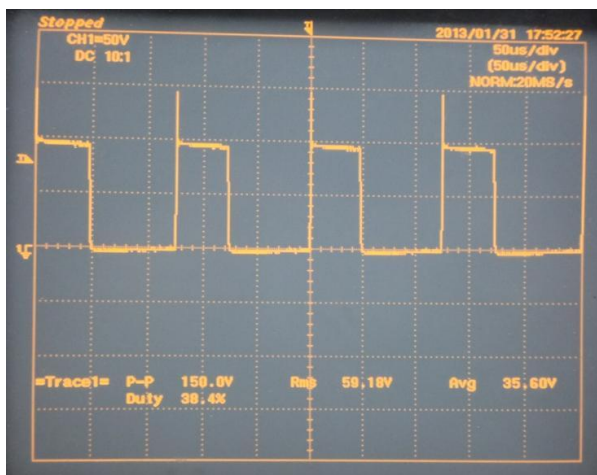
ภาพที่ 4.7 เป็นภาพแสดงสัญญาณการมอดดูเลตความกว้างพัลส์ ขณะมีโหลดที่ 0.2 N,m



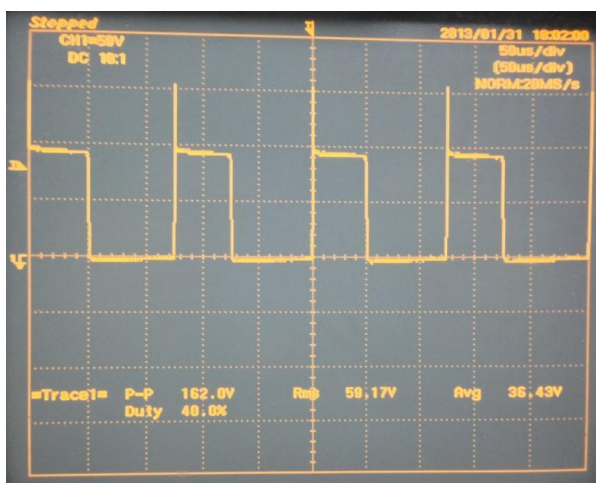
ภาพที่ 4.8 เป็นภาพแสดงสัญญาณการมอดดูเลตความกว้างพัลส์ ขณะมีโหลดที่ 0.4 N,m

จากภาพที่ 4.7 และ 4.8 จะเห็นได้ว่าค่าสัญญาณการมอดดูเลตความกว้างพัลส์ ขณะที่มีโหลด 0.2 N.m และ 0.4 N.m ที่ความเร็วรอบ 500 rpm มีค่าสัญญาณที่เพิ่มมากขึ้นจาก 32% เป็น 35.2% จะเห็นได้ว่าเมื่อมีโหลดให้กับมอเตอร์มากขึ้น จะมีการชดเชยค่าสัญญาณการมอดดูเลตความกว้างพัลส์ ให้กับระบบเพื่อรักษาระดับความเร็วของมอเตอร์ให้คงที่ในขณะที่โหลดเปลี่ยนแปลง

4.3.2 การทดลองควบคุมแบบรูปปิด (Close Loop Control System) ขณะที่มีการจ่ายโหลดที่ 0.6 N.m และ 0.8 N.m กำหนดความเร็วรอบที่ 500 rpm แล้วทำการวัดค่าสัญญาณดังภาพ 4.5 และ 4.6



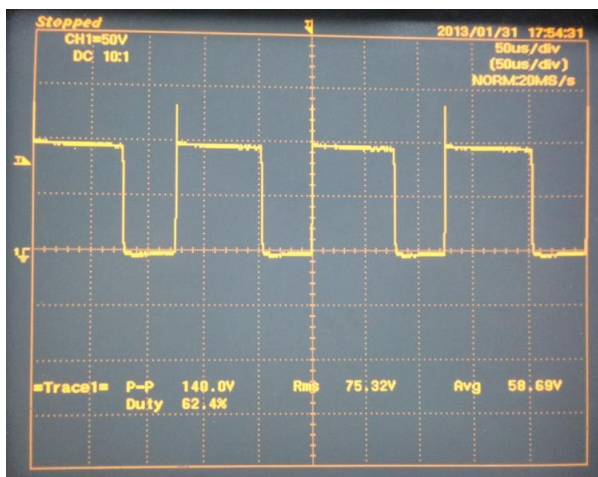
ภาพที่ 4.9 เป็นภาพแสดงสัญญาณการมอดดูเลตความกว้างพัลส์ ขณะมีโหลดที่ 0.6 N,m



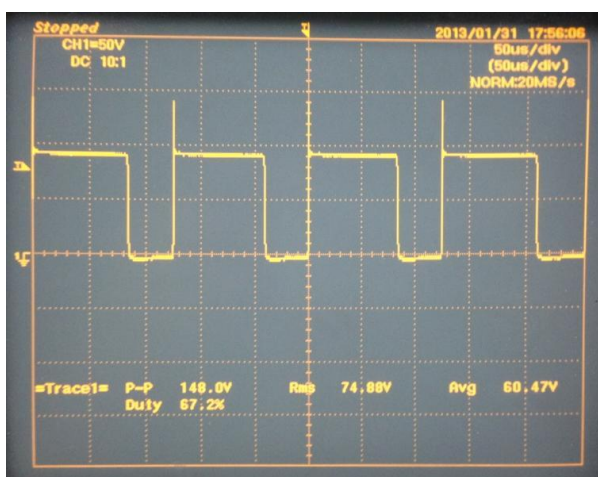
ภาพที่ 4.10 เป็นภาพแสดงสัญญาณการมอดดูเลตความกว้างพัลส์ ขณะมีโหลดที่ 0.8 N,m

จากภาพที่ 4.9 และ 4.10 จะเห็นได้ว่าค่าสัญญาณการมอดดูเลตความกว้างพัลส์ ขณะที่มีการจ่ายโหลด 0.6 N.m และ 0.8 N.m ที่ความเร็วรอบ 500 rpm มีค่าสัญญาณที่เพิ่มมากขึ้นจาก 38.4% เป็น 40% จะเห็นได้ว่าเมื่อมีโหลดให้กับมอเตอร์มากขึ้น จะมีการชดเชยค่าสัญญาณการมอดดูเลตความกว้างพัลส์ ให้กับระบบเพื่อรักษาระดับความเร็วของมอเตอร์ให้คงที่ในขณะที่โหลดเปลี่ยนแปลง

4.3.3 การทดลองควบคุมแบบรูปปิด (Close Loop Control System) ขณะที่มีการจ่ายโหลดที่ 0.2 N.m และ 0.4 N.m กำหนดความเร็วรอบที่ 1000 rpm แล้วทำการวัดค่าสัญญาณดังภาพ 4.7 และ 4.7



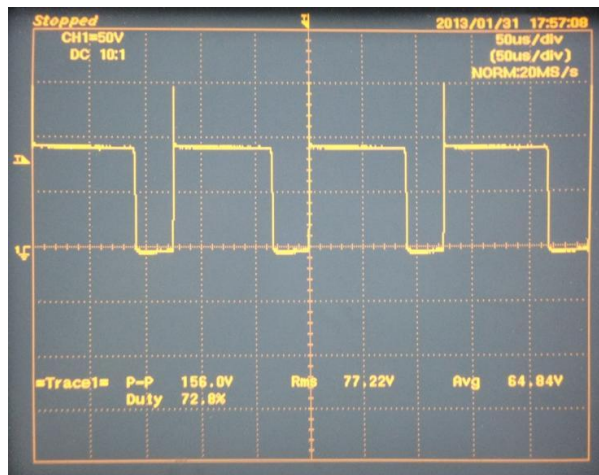
ภาพที่ 4.11 เป็นภาพแสดงสัญญาณการมอดดูเลตความกว้างพัลส์ ขณะมีโหลดที่ 0.2 N,m



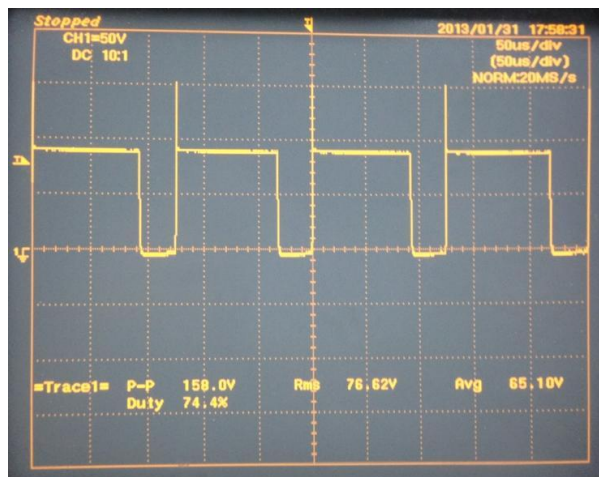
ภาพที่ 4.12 เป็นภาพแสดงสัญญาณการมอดดูเลตความกว้างพัลส์ ขณะมีโหลดที่ 0.4 N,m

จากภาพที่ 4.11 และ 4.12 จะเห็นได้ว่าค่าสัญญาณการมอดดูเลตความกว้างพัลส์ ขณะที่ มี โหลด 0.2 N.m และ 0.4 N.m ที่ความเร็วรอบ 1000 rpm มีค่าสัญญาณที่เพิ่มมากขึ้นจาก 62.4% เป็น 67.2% จะเห็นได้ว่าเมื่อมีโหลดให้กับมอเตอร์มากขึ้น จะมีการชดเชยค่าสัญญาณการมอดดูเลตความกว้างพัลส์ ให้กับระบบเพื่อรักษาระดับความเร็วของมอเตอร์ให้คงที่ในขณะที่โหลดเปลี่ยนแปลง

4.3.4 การทดลองควบคุมแบบรูปปิด (Close Loop Control System) ขณะที่มีการจ่ายโหลดที่ 0.6 N.m และ 0.8 N.m กำหนดความเร็วรอบที่ 1000 rpm แล้วทำการวัดค่าสัญญาณดังภาพ 4.9 และ 4.10



ภาพที่ 4.13 เป็นภาพแสดงสัญญาณการมอดดูเลตความกว้างพัลส์ ขณะมีโหลดที่ 0.6 N,m



ภาพที่ 4.14 เป็นภาพแสดงสัญญาณการมอดดูเลตความกว้างพัลส์ ขณะมีโหลดที่ 0.8 N,m

จากภาพที่ 4.13 และ 4.14 จะเห็นได้ว่าค่าสัญญาณการมอดดูเลตความกว้างพัลส์ ขณะที่มีการจ่ายโหลด 0.6 N.m และ 0.8 N.m ที่ความเร็วรอบ 1000 rpm มีค่าสัญญาณที่เพิ่มมากขึ้นจาก 72.8% เป็น 74.4% จะเห็นได้ว่าเมื่อมีโหลดให้กับมอเตอร์มากขึ้น จะมีการชดเชยค่าสัญญาณการมอดดูเลตความกว้างพัลส์ ให้กับระบบเพื่อรักษาระดับความเร็วของมอเตอร์ให้คงที่ในขณะที่โหลดเปลี่ยนแปลง