ปีการศึกษา 2533

ระบบควบคุมความเร็วมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดกระตุ้นแยกด้วยสตาติคคอนเวอร์เตอร์

Speed Control of Separately Excited DC Motor by Static Converter

โดย

นาย ประยุทธ ศรีปัญญาวิชญ์ 301139

นาย สุทัศน์ อินทพิบูลย์ 301317

อาจารย์ที่ปรึกษา

นาย วรศักดิ์ จิตรภักดี

เลขหมู่ T 33137 ฟ4

เลขทะเบียน 027970

วัน, เดือน, ปี 31 ก.ค. 34

027970

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2533

ภาควิชา ระบบควบคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ระบบควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดกระตุ้นแยกด้วยสตาติคคอนเวอร์เตอร์

ผู้จัดทำ

1. นาย ประยุทธ ศรีปัญญาวิชญ์
2. นาย สุทัศน์ อินทพิบูลย์

อาจารย์ วรศักดิ์ จิตรภักดี อาจารย์ที่ปรึกษา

(.....วรศักดิ์ จิตรภักดี.....)

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

I

ระบบควบคุมความเร็วมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดกระตุ้นแยก

ประยุทธ ศรีปัญญาวิชญ์
สุทัศน์ อินทพิบูลย์
อ.วรศักดิ์ จิตรภักดี อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2533

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้อธิบายถึง การออกแบบ การสร้าง และการทดลองของระบบควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดกระตุ้นแยก (Separately Excited DC Motor) โดยใช้วงจรอิเล็คทรอนิคส์กำลัง (Power Electronic Circuit) ทำหน้าที่จ่ายกำลังให้มอเตอร์ ระบบควบคุมที่ใช้เป็นระบบควบคุมชนิดคาสเคด (Cascade Control System) โดยมีระบบควบคุมกระแสไฟฟ้าตรงไหลเข้าวงจรอาร์มาเจอร์ (Amarture Circuit) เป็นลูปควบคุมภายใน (Subordinary Control Loop) และมีระบบควบคุมความเร็วรอบเป็นลูปภายนอกอีกชั้นหนึ่ง ส่วนวงจรควบคุม(Controller Circuit) ใช้วงจรควบคุมอนาลอกชนิด PI (Proportional plus Integral Analog Controller Circuit) จากผลการทดลองระบบที่สร้างขึ้นโดยให้มอเตอร์หมุนที่ความเร็วรอบ 1,500 รอบต่อนาที แล้วเพิ่มโหลดให้กับมอเตอร์ในทันทีทันใด (step-load) จากไม่มีโหลดไปยังโหลดเต็มที่ของมอเตอร์ระบบนี้สามารถทำให้มอเตอร์หมุนกลับสู่ความเร็วรอบเดิมได้ภายใน 2 วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Speed Control of Separately Excited DC Motor

PRAYOOT SRIPUNYAWICHYA

SUTAS INTAPIBOOL

WORASAK JITRAPUKDEE Advisor

1990

Abstract

This thesis decribes the design, development and experimental analysis of the speed control of a separately excited DC motor, using a power electronic circuit which controls the power of the motor.

This control system is a cascade control system having direct current of amature circuit as the subordinate control loop and speed control as the external control loop. The controller unit uses proportional plus integral analog control.

The result of tests on the built system show that if the motor rotates at a speed of 1,500 revolutions per minute, and an increated load is immediately applied to the motor, its status changing from unloaded to fully loaded condition, the system causes the motor to return to its former speed within 2 seconds.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
Abstract	II
สารบัญรูป	1
รายละเอียดของอุปกรณ์ที่ใช้ในวงจรทดลอง	4
สัญญลักษณ์	6
บทที่ 1 บทนำ	10
บทที่ 2 วัตถุประสงค์และแนวความคิดในการทำปริญญานิพนธ์	13
บทที่ 3 วงจรอิเล็คทรอนิคส์กำลัง	18
บทที่ 4 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดกระตุ้นแยก	26
บทที่ 5 อุปกรณ์วัด	33
บทที่ 6 ระบบควบคุมและวงจรควบคุม	40
บทที่ 7 การทดลองและผลการทดลอง	53
บทที่ 8 บทสรุป	60
กิตติกรรมประกาศ	64
เอกสารอ้างอิง	65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ 2.1	แสดงบล็อคไดอะแกรมแนวความคิดเริ่มแรกของระบบควบคุมความเร็วมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดกระตุ้นแยก	14
รูปที่ 2.2	แสดงบล็อคไดอะแกรมแนวความคิดของระบบควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า	16
รูปที่ 3.1	แสดงแผนผังวงจรอิเล็คทรอนิคส์กำลังแบบควบคุมได้ครึ่งหนึ่งชนิด 1 เฟส	19
รูปที่ 3.2	แสดงบล็อคไดอะแกรมของวงจรอิเล็คทรอนิคส์กำลัง	21
รูปที่ 3.3	แสดงวงจรสร้างสัญญาณกระตุ้น	22
รูปที่ 3.4	วงจรขยายสัญญาณกระตุ้น	23
รูปที่ 3.5	แสดงแผนผังของหม้อแปลงกระตุ้น	23
รูปที่ 4.1	แสดงไดอะแกรมอย่างง่ายของมอเตอร์กระแสตรงชนิดกระตุ้นแยก	26
รูปที่ 4.2	แสดงความสัมพันธ์ของความเร็วรอบและกำลังบิดเมื่อศักดาไฟฟ้าตรงที่ขั้วของอาร์เมเจอร์มีค่าคงที่	28
รูปที่ 4.3	แสดงบล็อคไดอะแกรมของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดกระตุ้นแยก	31
รูปที่ 5.1	แสดงวิธีวัดกระแสไฟฟ้าตรงไหลเข้าวงจรอาร์เมเจอร์โดยใช้หลักการหม้อแปลงกระแสตรง	33
รูปที่ 5.2	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าไหลเข้าวงจรอาร์เมเจอร์และศักดาไฟฟ้าที่ได้จากการวัด	34
รูปที่ 5.3	แสดงบล็อคไดอะแกรมของการวัดกระแสไฟฟ้าตรงไหลเข้าวงจรอาร์เมเจอร์	34
รูปที่ 5.4	แสดงบล็อคไดอะแกรมอย่างง่ายของทาโคเยนเนเรเตอร์กระแสไฟฟ้าตรงชนิดแม่เหล็กถาวร	35
รูปที่ 5.5	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบมอเตอร์ n และศักดาไฟฟ้าตรง V_T ที่ถูกสร้างขึ้นโดยทาโคเยนเนอร์เรเตอร์	35
รูปที่ 5.6	แสดงบล็อคไดอะแกรมของการวัดความเร็วรอบ	36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.7	แสดงวงจรสัญญาณความถี่ต่ำผ่าน	37
รูปที่ 5.8	แสดงบล็อคไดอะแกรมของวงจรกรองสัญญาณความถี่ต่ำ	38
รูปที่ 6.1	แสดงระบบควบคุมซึ่งมีวงจรควบคุมชนิด PI และอุปกรณ์ถูกควบคุมชิดอุปกรณ์หน่วงออร์เดอร์หนึ่ง	40
รูปที่ 6.2	แสดงระบบควบคุมซึ่งมีวงจรควบคุมชนิด PI และมีอุปกรณ์ถูกควบคุมชนิดอินทิเกรท	41
รูปที่ 6.3	แสดงคุณสมบัติในโดเมนของความถี่ของสมการ (6.15)	43
รูปที่ 6.4	แสดงระบบซึ่งมีอุปกรณ์ถูกควบคุมชนิดอุปกรณ์อินทิเกรทและอุปกรณ์หน่วงออร์เดอร์หนึ่งขนาดเล็ก	44
รูปที่ 6.5	แสดงการตอบสนองในทันทีทันใดของระบบซึ่งถูกกำหนดให้ทำงานดีที่สุดด้วยวิธีซิมเมตริคอล ออปติมัม	45
รูปที่ 6.6	แสดงระบบซึ่งมีอุปกรณ์ถูกควบคุมชนิดอุปกรณ์หน่วงออร์เดอร์หนึ่งขนาดใหญ่และอุปกรณ์หน่วงออร์เดอร์หนึ่งขนาดเล็ก	46
รูปที่ 6.7	แสดงระบบควบคุมในรูปที่ 6.6 เมื่อพิจารณาเฉพาะผลจากโหลด	49
รูปที่ 6.8	แสดงการตอบสนองของระบบควบคุมในรูปที่ 6.7 ซึ่งได้รับโหลดในทันทีทันใดเมื่อความสัมพันธ์ระหว่าง T_1 และ T_2 ต่างๆกัน	49
รูปที่ 6.9	แสดงวงจรควบคุมชนิด PI	50
รูปที่ 6.10	แสดงบล็อคไดอะแกรมของวงจรควบคุมชนิด PI	51
รูปที่ 6.11	แสดงคุณสมบัติการจำกัดศักดาไฟฟ้าควบคุมของวงจรจำกัดกระแสไฟฟ้า	51
รูปที่ 6.12	แสดงความสัมพันธ์ของศักดาไฟฟ้าควบคุมกับมุมกระตุ้นของวงจรสร้างสัญญาณกระตุ้น	51
รูปที่ 6.13	แสดงคุณสมบัติของวงจรจำกัดศักดาไฟฟ้าควบคุมของวงจรจำกัดมุมกระตุ้น	51
รูปที่ 6.14	แสดงวงจรจำกัดปริมาณซึ่งใช้จำกัดกระแสไฟฟ้าและจำกัด	51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเร็วรอบ

รูปที่ 6.15 แสดงบล็อคไดอะแกรมของระบบควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง 51

รูปที่ 7.1 แสดงการตอบสนองของระบบควบคุมกระแสไฟฟ้าตรงไหลเข้าวงจรอาร์เมเจอร์ เมื่อได้รับคำสั่งในทันทีทันใดและโรเตอร์ของมอเตอร์ถูกล็อคไว้ 52

รูปที่ 7.2 แสดงความเร็วรอบมอเตอร์ในกราฟรูปบนและแสดงกระแสไฟฟ้าตรงไหลเข้าวงจรอาร์เมเจอร์ในกราฟรูปล่างเมื่อระบบควบคุมความเร็วรอบได้รับคำสั่งในทันทีทันใด 54

รูปที่ 7.3 แสดงความเร็วรอบมอเตอร์ในกราฟรูปบนและแสดงปริมาณโหลดในกราฟรูปล่าง เมื่อระบบควบคุมได้รับโหลดในทันทีทันใด 56

รูปที่ 7.4 แสดงมุมทริก ขณะที่มอเตอร์ไม่มีโหลดและขณะที่มีโหลด 57

59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Part List

Resistance(ohms W)			Capacitance(F V)			Diode	
R_1	33	2	C_1	0.1μ	630	D_1	1N 4148
R_2	33	2	C_2	0.1μ	630	D_2	LED
R_3	2.2k	1/4	C_3	22μ	25	D_3	88C10
R_4	1.0k	1/4	C_4	0.1μ	63	D_4	LED
R_5	5.6k	1/4	C_5	22μ	25	D_5	1N 4148
R_6	820k	1/4	C_6	0.1μ	63	D_6	88C7V5
R_7	560k	1/4	C_7	3.3μ	25	D_7	1N 4148
R_8	270	1/4	C_8	47μ	25	D_8	1N 4148
R_9	33	1/4	C_9	0.1μ	63	D_9	1N 4148
R_{10}	560	1/4	C_{10}	22μ	63	D_{10}	1N 4148
R_{11}	68k	1/4	C_{11}	0.022μ	630	D_{11}	1N 4148
R_{12}	68k	1/4	C_{12}	0.33μ	63	D_{12}	1N 4148
R_{13}	-		C_{13}	4.7μ	63	D_{13}	1N 4148
R_{14}	22k	1/4	C_{14}	0.68μ	50	D_{14}	1N 4148
R_{15}	18k	1/4	C_{15}	0.01μ	100	D_{15}	1N 4148
R_{16}	820k	1/4	C_{16}	0.1μ	63	D_{16}	1N 4148
R_{17}	3.3k	1/4	C_{17}	0.22μ	63	D_{17}	1N 4148
R_{18}	1k	1/4	C_{18}	0.1μ	63	D_{18}	1N 4148
R_{19}	1k	1/4	C_{19}	47μ	25	D_{19}	BY 255
R_{20}	27k	1/4	C_{20}	330μ	50	D_{20}	BY 255
R_{21}	33k	1/4	C_{21}	K1K	103	D_{21}	BY 255
R_{22}	33k	1/4	C_{22}	K1K	103	D_{22}	BY 255
R_{23}	10k	1/4	C_{23}	4.7n	-	D_{23}	BZX61C12
R_{24}	22k	1/4	C_{24}	10μ	63	D_{24}	BZX61C12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

R_{25}	10k	1/4	C_{25}	4.7n	-	D_{25}	1N 4148
R_{26}	1M	1/2	C_{26}	1µ	50	D_{26}	1N 4148
R_{27}	10k	1/4	C_{27}	100n	-	D_{27}	1N 4148
R_{28}	82k	1/4				D_{28}	BZY88C6V8
R_{29}	55k	1/4	Transistor			IC	
R_{30}	1k	1/4	TR1 BD 437			IC1 LM348	
R_{31}	10k	1/4	TR2 9013			IC2 LM348	
R_{32}	22k	1/4	TR3 9013			VDR	
R_{33}	10k	1/4	TR4 9013			VDR1 Z21L 821	
R_{34}	12k	1/4	BR REC			VDR2 S20K 460	
R_{35}	1.2k	1/4	REC1 SKB 1.2/04				
R_{36}	10k	1/4	REC2 SKB 1.2/04				
R_{37}	470	1/2					
R_{38}	560k	1	R_{50}	820	1/4	R_{57}	150 2
R_{39}	820k	1/2	R_{51}	2.2k	1/4	R_{58}	10k 1/4
R_{40}	820k	1/2	R_{52}	4.7k	1/4	R_{59}	220k 1/2
R_{41}	33k	1/4	R_{53}	82k	1/4	R_{60}	47 1/2
R_{42}	33k	1/4	R_{54}	150k	1/4	R_{61}	60 1/2
R_{43}	33k	1/4	R_{55}	1.5k	1/4	R_{62}	100 1/2
R_{44}	33k	1/4	R_{56}	150	2	R_{63}	-
R_{45}	10k	1/4				R_{64}	4.7k 1/4
R_{46}	22k	1/4				R_{65}	2.2k 1/4
R_{47}	82k	1/4				R_{66}	2.2k 1/4
R_{48}	10k	1/4					
R_{49}	10k	1/4					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญลักษณ์

e_a : ศักดาไฟฟ้าย้อนกลับของมอเตอร์

i : กระแสไฟฟ้า

i_a : กระแสไฟฟ้าไหลเข้าวงจรอาร์มาเจอร์ของมอเตอร์

i_f : กระแสไฟฟ้าไหลเข้าวงจรสร้างสนามแม่เหล็กของมอเตอร์

i_g : กระแสไฟฟ้าไหลเข้าขาเกทของ SCR

i_o : กระแสไฟฟ้าที่ไหลออกจากวงจรอิเล็คทรอนิคส์กำลัง

i_m : กระแสไฟฟ้าแม็กนิไตซิ่งค์

m : อัตราส่วนระหว่าง v_c กับ $\sqrt{2}\, v \sin\alpha$

n : ความเร็วรอบ

t : เวลา

t_d : กำลังบิดที่มอเตอร์สร้างขึ้น

t_L : กำลังบิดที่โหลดต้องการ

t_q : ค่าเวลาที่ใช้ในการหยุดทำงานของ SCR (Turn-off Time)

t_{on} : ค่าเวลาคงที่ของวงจรกรองสัญญาณความถี่ต่ำผ่าน

v : ศักดาไฟฟ้าที่ขั้วอาร์มาเจอร์ของมอเตอร์

v : ศักดาไฟฟ้า

v_B : ศักดาไฟฟ้าที่ขาเบสของทรานซิสเตอร์

$v_c(t)$: ศักดาไฟฟ้าควบคุม

v_f : ศักดาไฟฟ้าที่ขั้วงจรสร้างสนามแม่เหล็กของมอเตอร์

$v_{(n)}$: ศักดาไฟฟ้าที่จุด n เทียบกับจุด GND

$V_{(n1)} - V_{(n2)}$: ศักดาไฟฟ้าเปรียบเทียบระหว่างจุด n_1 กับจุด n_2

V_o : ศักดาไฟฟ้าที่ทางออกของวงจรอิเล็คทรอนิคส์กำลัง

A : พื้นที่หน้าตัดของแกนเหล็ก

A_g : ค่าคงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A_R : ค่าอัตราขยายของวงจรควบคุม

B : ค่าความหนาแน่นของเส้นแรงสนามแม่เหล็ก

C : คาปาซิเตอร์

D : ไดโอด

E_a : ศักดาไฟฟ้าเฉลี่ยย้อนกลับของมอเตอร์

$E_a(S)$: ศักดาไฟฟ้าย้อนกลับของมอเตอร์ในโดเมน S

E(S) : ค่าความผิดพลาดในโดเมน S

GND : จุดกราวนด์

H : ค่าความเข้มสนามแม่เหล็ก

I : กระแสไฟฟ้าเฉลี่ย

I_a : กระแสไฟฟ้าไหลเข้าวงจรอาร์มาเจอร์

$I_a(s)$: กระแสไฟฟ้าไหลเข้าวงจรอาร์มาเจอร์ในโดเมน S

I_{ac} : กระแสไฟฟ้าเฉลี่ยที่ได้จากวงจรวัดกระแสไฟฟ้าไหลเข้าวงจรอาร์มาเจอร์

I_o : กระแสไฟฟ้าเฉลี่ยออกจากวงจรอิเล็คทรอนิคส์กำลัง

J : โมเมนอินิเชียของมอเตอร์

K_1, K_2 : ค่าคงที่ของมอเตอร์

K_{ac} : ค่าคงที่ของระบบวัดกระแสไฟฟ้า

K_T : ค่าคงที่ของระบบวัดความเร็วรอบ

L : อินดัคเตอร์

L_a : ค่าอินดัคเตอร์ภายในวงจรอาร์มาเจอร์ของมอเตอร์

L_d : ค่าอินดัคเตอร์ใช้สำหรับกรองกระแสไฟฟ้า

N : ความเร็วรอบเฉลี่ยของมอเตอร์

N(s) : ความเร็วรอบในโดเมน S

Q : SCR

R : ความต้านทาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

R_a : ความต้านทานภายในวงจรอาร์มาเจอร์

R_{ac} : ความต้านทานซึ่งใช้ประกอบในการวัดกระแสไฟฟ้าตรงไหลเข้าวงจรอาร์มาเจอร์

T : หม้อแปลงศักดาไฟฟ้าสลับ

T_a : ค่าเวลาคงที่ทางไฟฟ้าภายในวงจรอาร์มาเจอร์

T_{al} : ค่าเวลาคงที่ทางไฟฟ้าภายในวงจรอาร์มาเจอร์รวมกับอินดัคเตอร์สำหรับกรองกระแสไฟฟ้า

T_D : กำลังบิดเฉลี่ยที่มอเตอร์สร้างขึ้น

$T_D(s)$: กำลังบิดเฉลี่ยที่มอเตอร์สร้างขึ้นในโดเมน s

T_L : กำลังบิดเฉลี่ยที่โหลดต้องการ

$T_L(s)$: กำกำลังบิดเฉลี่ยที่โหลดต้องการในโดเมน s

T_m : ค่าเวลาคงที่ในเชิงกล

T_n : ค่าเวลาคงที่รีเซต (Reset Time Constant)

T_r : ทรานซิสเตอร์

T_t : ค่าเวลาคงที่ของวงจรอิเล็คทรอนิคส์กำลัง

U : ศักดาไฟฟ้าเฉลี่ยที่ขั้วอาร์มาเจอร์ของมอเตอร์

$U(s)$: ศักดาไฟฟ้าเฉลี่ยที่ขั้วอาร์มาเจอร์ของมอเตอร์ในโดเมน s

V : ศักดาไฟฟ้าเฉลี่ย

V_{ac} : ศักดาไฟฟ้าเฉลี่ยที่ได้จากวงจรวัดกระแสไฟฟ้าไหลเข้าวงจรอาร์มาเจอร์

$V_{ac}(s)$: ศักดาไฟฟ้าที่ได้จากวงจรวัดกระแสไฟฟ้าไหลเข้าวงจรอาร์มาเจอร์ในโดเมน s

V_c : ศักดาไฟฟ้าตรงซึ่งทำหน้าที่ในโหลด

V_c : ค่าคงที่ของศักดาไฟฟ้าควบคุม

$V_c(s)$: ศักดาไฟฟ้าควบคุมในโดเมน s

V_d : ศักดาไฟฟ้าเฉลี่ยที่ทางออกของวงจรอิเล็คทรอนิคส์กำลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

V_s : แหล่งจ่ายศักดาไฟฟ้าตรง

V_T : ศักดาไฟฟ้าได้จากวงจรวัดความเร็วรอบ

$V_T(s)$: ศักดาไฟฟ้าได้จากวงจรวัดความเร็วรอบในโดเมน s

W : จำนวนรอบการพันขดลวดของหม้อแปลงศักดาไฟฟ้า

W : ตัวแปรคำสั่ง

W(s) : ตัวแปรคำสั่งในโดเมน s

X : ตัวแปรที่ต้องการ

X(s) : ตัวแปรที่ต้องการในโดเมน s

Z : อิมพีแดนซ์ของโหลด

Z(s) : ตัวแปรของโหลดในโดเมน s

Z_{step} : ค่าคงที่ตัวแปรของโหลดในทันทีทันใด

α : มุมกระตุ้น

δ : ระยะมุมซึ่ง SCR ทำงาน

ϵ : แรงเคลื่อนแม่เหล็กไฟฟ้า

ϕ : มุมของอิมพีแดนซ์ของโหลด

ϕ : ปริมาณเส้นแรงแม่เหล็กภายในมอเตอร์

ρ : ระยะห่างของแกน EI

μ_o : ค่าเพอร์มิอาบิลิตี้ของอากาศ

μ_s : ค่าเพอร์มิอาบิลิตี้สัมพัทธ์ของแกนเหล็ก

ω : ความเร็วเชิงมุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
027970

บทที่ 1

บทนำ

ในปัจจุบันระบบขับเคลื่อนทางไฟฟ้าเป็นหัวใจสำคัญของโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งสามารถแยกประเภทตามชนิดของมอเตอร์ที่ใช้เป็นต้นกำลังได้คือ ระบบที่ใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับเป็นต้นกำลัง และระบบที่ใช้มอเตอร์กระแสตรงเป็นต้นกำลัง ข้อดีของการใช้มอเตอร์กระแสตรงคือ การควบคุมความเร็วรอบทำได้ในช่วงกว้าง มีความเที่ยงตรงและประสิทธิภาพสูง วงจรควบคุมไม่ซับซ้อนราคาถูก การควบคุมทำได้โดยปรับศักดาคร่อมอาร์มาเจอร์ และกระแสฟิลด์ แต่มีข้อเสียคือ ต้องมีอุปกรณ์แปลงกระแสไฟฟ้าสลับเป็นกระแสตรง ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาสูงเนื่องจากมีคอมมิวเตเตอร์ อัตราส่วนกำลังงานต่อน้ำหนักเครื่องอยู่ในเกณฑ์ค่อนข้างต่ำ และจะมีความเร็วรอบจำกัดอยู่ค่าหนึ่ง สำหรับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับนั้นจะมีราคาเครื่องถูกกว่าเมื่อคิดที่กำลังงานเท่ากัน อัตราส่วนของกำลังงานต่อน้ำหนักเครื่องประมาณ 2 เท่า ค่าบำรุงรักษาจะต่ำเนื่องจากไม่มีคอมมิวเตเตอร์ แต่มีข้อเสียคือการควบคุมความเร็วรอบทำได้ในช่วงแคบ ความเที่ยงตรงและประสิทธิภาพค่อนข้างต่ำ วงจรควบคุมยุ่งยากซับซ้อนและมีราคาแพง ดังนั้นเมื่อต้องการระบบขับเคลื่อนที่มีความแม่นยำและประสิทธิภาพในการทำงานสูง ใช้งานที่กำลังงานไม่มากนัก มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงจะได้รับความนิยมสูงกว่า โดยเฉพาะมอเตอร์กระแสตรงชนิดกระตุ้นแยก ทั้งนี้เพราะการควบคุมศักดาไฟฟ้าที่ขั้วอาร์มาเจอร์ และการควบคุมปริมาณเส้นแรงแม่เหล็ก(Flux)ภายในมอเตอร์ สามารถแยกการควบคุมเป็นอิสระต่อกัน ซึ่งทำให้มอเตอร์ชนิดนี้ง่ายต่อการควบคุม

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จะอธิบายถึง การออกแบบ การสร้าง และการทดลองระบบควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดกระตุ้นแยก โดยใช้อุปกรณ์อิเล็คทรอนิคส์กำลังชนิด SCR(Silicon Controlled Rectifier)ต่อเป็นวงจรแปลงกระแสแบบควบคุมได้ครึ่งหนึ่งชนิดเฟสเดียว (single phase half controlled) ทำหน้าที่จ่ายกำลังให้กับมอเตอร์ และมีระบบควบคุมชนิดคาสเคด(cascade control)ทำหน้าที่ควบคุมความเร็วรอบ ในระบบควบคุมชนิดคาสเคดจะประกอบด้วยลูปควบคุมสองลูป คือ ลูปควบคุมกระแสไฟฟ้าตรงไหลเข้าวงจรอาร์มาเจอร์ของมอเตอร์เป็นลูปควบคุมภาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใน ลูฟนี้มีหน้าที่ควบคุมการทำงานของวงจรอิเล็คทรอนิคส์กำลัง และควบคุมมิให้กระแสไฟฟ้าไหลเข้าวงจรอาร์มาเจอร์เกินพิกัด การวัดกระแสไฟฟ้าในระบบควบคุมนี้ใช้หม้อแปลงไฟฟ้ากระแสตรง (DC current transformer) วัดกระแสไฟฟ้าที่ไหลเข้าวงจรอาร์มาเจอร์โดยตรง แล้วป้อนกลับเข้าสู่วงจรควบคุม ลูฟควบคุมอีกลูฟหนึ่งเป็นลูฟควบคุมการทำของลูฟแรก และควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ ลูฟนี้ใช้วงจรขยายความแตกต่างของศักดา(differential amplifier circuit)ที่ป้อนให้วงจรอาร์มาเจอร์ และทาโคเจนเนอร์เรเตอร์(tacogenerater)เป็นตัวป้อนกลับให้วงจรควบคุม วงจรควบคุมของทั้งสองลูฟจะใช้วงจรควบคุมอนาลอกชนิด PI และวงจรควบคุมนี้จะถูกปรับแต่งเพื่อให้ระบบทำงานได้ดีที่สุด(Optimization) โดยลูฟแรกจะใช้วิธีมอดูลัดออปติมัม(Modulus optimum) และอีกลูฟหนึ่งจะใช้วิธีซิมเมตริคอลออปติมัม (Symmetrical optimum) รายละเอียดและผลการลองจะอธิบายในบทต่อๆไป

ข้อดีของระบบควบคุมความเร็วรอบชนิดนี้ เมื่อเปรียบเทียบกับระบบควบคุมแบบเดิมคือ

1) ผลตอบสนองต่อการทำงานรวดเร็ว
2) มีเสถียรภาพและความเที่ยงตรงสูง
3) มีประสิทธิภาพสูง
4) ค่าใช้จ่ายในการลงทุน และการบำรุงรักษาต่ำ
5) มีขนาดเล็ก

เนื้อหาของปริญญานิพนธ์ฉบับนี้แบ่งออกเป็น ๔ บท ซึ่งในแต่ละบทมีเนื้อหาสาระดังนี้

บทที่ 2 อธิบายถึงวัตถุประสงค์และแนวคิดของการทำปริญญานิพนธ์

บทที่ 3 อธิบายถึงวงจรอิเล็คทรอนิคส์กำลังที่ใช้ขับมอเตอร์ โดยอธิบายถึงวงจรกำลัง(power circiut) และวงจรกระตุ้น(Trigger circiut) ซึ่งวงจรทั้งสองนี้ถูกรวมเรียกว่า วงจรอิเล็คทรอนิคส์กำลัง นอกจากนี้ยังอธิบายถึงบล็อคไดอาแกรม (Block diagram) และทรานเฟอร์ฟังก์ชั่น(Transfer function)ของวงจรนี้ด้วย

บทที่ 4 อธิบายถึงไดอาแกรมอย่างง่ายของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดกระตุ้นแยก สมการความเร็วรอบของมอเตอร์ และสาเหตุที่ต้องมีระบบควบคุม นอกจากนี้จะอธิบายถึงบล็อคไดอาแกรมและทรานเฟอร์ฟังก์ชันของมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5 อธิบายถึงอุปกรณ์วัด วิธีวัด บล็อคไดอาแกรม และทรานเฟอร์ฟังก์ชัน ของอุปกรณ์วัดกระแสไฟฟ้าตรงไหลเข้าวงจรอาร์มาเจอร์ และอุปกรณ์วัดความเร็วรอบ ของมอเตร์

บทที่ 6 อธิบายถึงคุณสมบัติของระบบควบคุมซึ่งมีวงจรควบคุมชนิด PI การออก แบบวงจรควบคุมให้ระบบควบคุมมีคุณสมบัติในการทำงานดีที่สุด การสร้างวงจรควบ คุมชนิด PI และแสดงบล็อคไดอาแกรม และทรานเฟอร์ฟังก์ชันของวงจรควบคุมนี้ นอก จากนี้อธิบายถึงวงจรจำกัดปริมาณ (Amplitude Limiter Circuit) ซึ่งจะใช้จำกัด ปริมาณสัญญาณควบคุมของระบบนี้เพื่อมิให้ระบบทำงานเกินพิกัด

บทที่ 7 อธิบายถึงวิธีการทดลอง ผลการทดลอง

บทที่ 8 เป็นการสรุปผลการทดลองของปริญญานิพนธ์ทั้งหมด

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

วัตถุประสงค์และแนวความคิดในการทำปริญญานิพนธ์

2.1 บทนำ

ในบทที่ 2 นี้จะอธิบายถึงวัตถุประสงค์ของการทำปริญญานิพนธ์ และอธิบายถึงแนวความคิดในการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ เพื่อเป็นพื้นฐานประกอบก่อนที่จะทำความเข้าใจเกี่ยวกับเนื้อหารายละเอียด ของระบบควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่จะกล่าวถึงต่อไป

2.2 วัตถุประสงค์ของการทำปริญญานิพนธ์

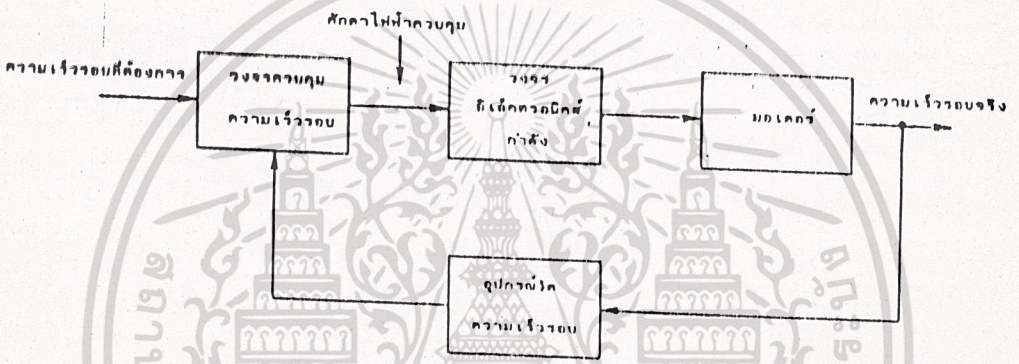
ในปัจจุบัน เทคโนโลยีเกี่ยวกับระบบควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งใช้วงจรอิเล็คทรอนิคส์กำลังทำหน้าที่จ่ายกำลังให้กับมอเตอร์ได้รับการแพร่หลายในประเทศที่ได้รับการพัฒนาแล้ว แต่ทว่าในประเทศไทย เทคโนโลยีเกี่ยวกับสาขานี้ยังไม่แพร่หลายเท่าที่ควร ปกติระบบควบคุมชนิดนี้ส่วนมากจะถูกสั่งเข้ามาโดยตรงจากต่างประเทศ และถ้าเป็นระบบที่มีขนาดใหญ่ การติดตั้งและการปรับแต่ง บริษัทผู้ผลิตก็จะส่งวิศวกรของบริษัทเข้ามาปฏิบัติงานโดยตรง ดังนั้นการพัฒนาเทคโนโลยีสาขานี้จึงไม่พัฒนาเท่าที่ควร เมื่อเป็นเช่นนี้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จึงได้เสนอวิธีการออกแบบ และการสร้างระบบควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งใช้วงจรอิเล็คทรอนิคส์กำลังทำหน้าที่จ่ายกำลังให้มอเตอร์ โดยพยายามใช้อุปกรณ์ที่หาได้ภายในประเทศ เพื่อสร้างระบบควบคุมชนิดนี้ขึ้นมาให้สามารถนำไปใช้งานได้จริงและมีความเชื่อถือสูง ทั้งนี้เพื่อกระตุ้นให้เกิดการพัฒนาเทคโนโลยีสาขานี้ให้ก้าวหน้าขึ้น และเป็นการส่งเสริมให้มีการนำเอาระบบควบคุมชนิดนี้ไปใช้ให้เป็นประโยชน์แพร่หลายมากขึ้น

2.3 แนวความคิดในการทำปริญญานิพนธ์

เนื่องจากความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดกระตุ้นแยกสามารถควบคุมได้โดยควบคุมศักดาไฟฟ้าตรงที่ป้อนเข้าวงจรอาร์มาเจอร์ และเนื่องจากวงจรแปลงกระแสแบบควบคุมได้ครึ่งหนึ่งชนิด 1 เฟส มีคุณสมบัติที่สามารถควบคุมศักดาไฟฟ้าตรงที่ทางออก (Output) ได้ ดังนั้นในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ จึงได้เสนอแนวความคิด และวิธีการใช้วงจรอิเล็คทรอนิคส์กำลังชนิดนี้ มาสำหรับขับมอเตอร์โดยมีศักดาไฟฟ้าควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Controlled Voltage) ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของวงจรอิเล็คทรอนิคส์กำลังอีกขั้นหนึ่ง รูปที่ 2.1 แสดงบล็อคไดอาแกรมของแนวความคิดแรกเริ่มที่จะสร้างระบบควบคุมความเร็วรอบ โดยใช้วงจรควบคุมความเร็วรอบทำหน้าที่เปรียบเทียบความเร็วรอบที่ต้องการกับความเร็วรอบจริง จากนั้นวงจรควบคุมจะสร้างศักดาไฟฟ้าควบคุมควบคุมการทำงานของวงจรอิเล็คทรอนิคส์กำลังอีกขั้นหนึ่ง



รูปที่ 2.1 แสดงบล็อคไดอาแกรมแนวความคิดเริ่มแรกของระบบควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์กระแสตรงชนิดกระตุ้นแยก

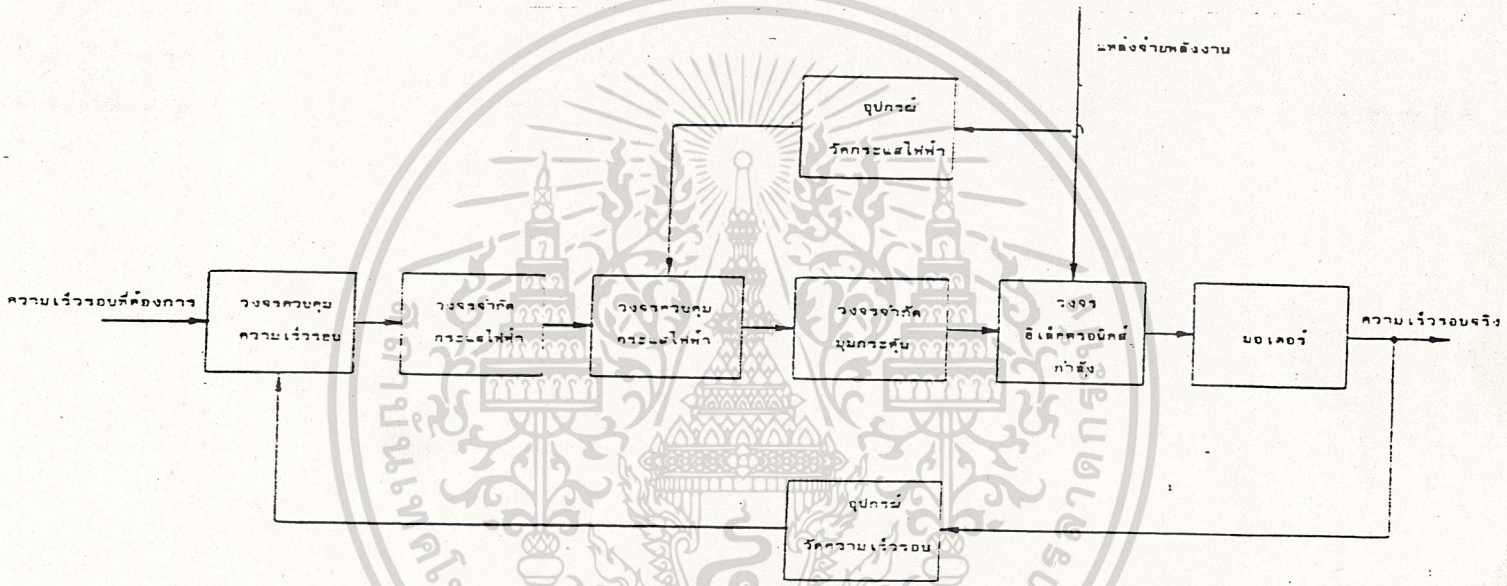
ระบบควบคุมดังแสดงในรูป 2.1 มีข้อจำกัดคือ เมื่อมอเตอร์ได้รับโหลดมากขึ้น กระแสไฟฟ้าตรงไหลเข้าวงจรอาร์มาเจอร์ก็จะเพิ่มมากขึ้น และความเร็วรอบของมอเตอร์จะลดลง วงจรควบคุมจะทำหน้าที่ปรับศักดาไฟฟ้าควบคุมเพื่อให้วงจรอิเล็คทรอนิคส์กำลังขับมอเตอร์ให้หมุนเร็วขึ้น จนกระทั่งมีความเร็วรอบที่ต้องการ จากแผนการทำงานดังกล่าวแล้ว เมื่อมอเตอร์ได้รับโหลดเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ วงจรควบคุมจะพยายามปรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเร็วรอบให้ได้ความเร็วรอบที่ต้องการ โดยมิได้ควบคุมกระแสไฟฟ้าตรงไหลเข้าวงจรอาร์มาเจอร์ ดังนั้นระบบควบคุมดังกล่าวนี้ มอเตอร์อาจจะเสียหายได้เนื่องจากกระแสไฟฟ้าตรงไหลเข้ามอเตอร์เกินพิกัด แต่ข้อจำกัดนี้สามารถหลีกเลี่ยงได้โดยเพิ่มวงจรจำกัดศักดาไฟฟ้าควบคุม ก่อนที่จะไปควบคุมวงจรอิเล็คทรอนิคส์กำลังในระบบควบคุมความเร็วรอบ ระบบนี้มีการทำงานคือ เมื่อกระแสไฟฟ้าตรงไหลเข้าวงจรอาร์มาเจอร์เกินพิกัด ศักดาไฟฟ้าควบคุมซึ่งควบคุมการทำงานของวงจรอิเล็คทรอนิคส์กำลังก็ถูกจำกัด ซึ่งมีผลทำให้ศักดาไฟฟ้าทางออกของวงจรอิเล็คส์ทรอนิคส์กำลังถูกจำกัดด้วย เมื่อศักดาไฟฟ้านี้ถูกจำกัด ความเร็วรอบของมอเตอร์ก็จะถูกจำกัดตามลงมา ดังนั้นการจำกัดกระแสไฟฟ้าตรงด้วยวิธีการนี้จะไปจำกัดความเร็วรอบของมอเตอร์ด้วย เพื่อลดข้อบกพร่องนี้ ในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จึงได้คิดใช้ระบบควบคุมชนิดคาสเคด ดังแสดงในบล็อคไดอาแกรมรูปที่ 2.2 มาประยุกต์ใช้งาน ระบบนี้มีการทำงานดังนี้คือ วงจรควบคุมความเร็วรอบจะเปรียบเทียบความเร็วรอบที่ต้องการกับความเร็วรอบจริง จากนั้นวงจรควบคุมความเร็วรอบจะส่งศักดาไฟฟ้าควบคุม เพื่อควบคุมระบบควบคุมกระแสไฟฟ้าตรงไหลเข้าวงจรอาร์มาเจอร์ โดยที่ก่อนจะเข้าระบบควบคุมกระแสไฟฟ้านั้น จะต้องผ่านวงจรจำกัดกระแสไฟฟ้าก่อน วงจรนี้จะจำกัดศักดาไฟฟ้าควบคุม ซึ่งได้จากวงจรควบคุมความเร็วรอบ เพื่อกันมิให้ระบบควบคุมกระแสไฟฟ้า บังคับให้กระแสไฟฟ้าไหลเข้าวงจรอาร์มาเจอร์เกินพิกัด เมื่อวงจรควบคุมกระแสไฟฟ้า เปรียบเทียบศักดาไฟฟ้าควบคุมนี้ กับกระแสไฟฟ้าที่ไหลจริงแล้วก็จะส่งศักดาไฟฟ้าควบคุมผ่านวงจรจำกัดมุมกระตุ้น ซึ่งวงจรนี้จะจำกัดศักดาไฟฟ้าตรงที่ทางออกของวงจรอิเล็คทรอนิคส์กำลัง เพื่อป้องกันมิให้มอเตอร์ได้รับศักดาไฟฟ้าตรงเกินพิกัด จากนั้นวงจรอิเล็คทรอนิคส์กำลังก็จะใช้วงจรศักดาไฟฟ้าควบคุมนี้เพื่อขับมอเตอร์ต่อไป ระบบนี้จะมีการทำงานเมื่อมีโหลดคือ เมื่อมอเตอร์ได้รับโหลดมากขึ้น มอเตอร์จะหมุนด้วยความเร็วลดลง ดังนั้นวงจรควบคุมความเร็วรอบก็ควบคุมวงจรควบคุมกระแสไฟฟ้าให้ขับมอเตอร์ให้หมุนด้วยความเร็วรอบตามต้องการ

ข้อดีของระบบควบคุมนี้คือ การจำกัดความเร็วรอบและกระแสไฟฟ้าตรงไหลเข้าวงจรอาร์มาเจอร์จะไม่เกี่ยวข้องกัน และระบบนี้สามารถควบคุมกระแสไฟฟ้าได้แม้ว่าแหล่งจ่ายพลังงานเข้าวงจรอิเล็คทรอนิคส์กำลังเปลี่ยนไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 แสดงบล็อคไดอาแกรมแนวความคิดของระบบควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดกระตุ้นแยกที่ใช้ในการทำวิทยานิพนธ์

2.4 บทสรุป

จากวัตถุประสงค์และแนวความคิดในการทำปริญญานิพนธ์ดังได้อธิบายไปแล้วนั้น ได้แสดงถึงโครงสร้างและส่วนประกอบของระบบควบคุมความเร็วรอบ ซึ่งในบทต่อไปนี้จะอธิบายถึงแต่ละส่วนของระบบนี้ และการนำแต่ละส่วนมาประกอบกัน เพื่อสร้างเป็นระบบควบคุมความเร็วรอบต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วงจรอิเล็คทรอนิคส์กำลัง (Power Electronic Circuit)

3.1 บทนำ

เนื้อหาของบทนี้ จะอธิบายถึงวงจรอิเล็คทรอนิคส์กำลังที่ใช้ในการขับมอเตอร์ วงจรนี้จะแบ่งออกเป็นสองส่วนคือ ส่วนแรกเป็นวงจรกำลัง(power circuit) ซึ่งได้แก่วงจรแปลงกระแสไฟฟ้าแบบควบคุมได้ครึ่งหนึ่งชนิดหนึ่งเฟส และส่วนที่สองเป็นวงจรกระตุ้นซึ่งใช้กระตุ้นการทำงานของวงจรแรก เนื่องจากวงจรทั้งสองนี้จะทำงานร่วมกัน ฉะนั้น ในการออกแบบระบบควบคุมความเร็วรอบจึงใช้บล็อคไดอาแกรมและทรานเฟอร์ฟังก์ชันเพียงหนึ่งชุด เพื่อแทนวงจรทั้งสอง ในบทนี้จะอธิบายถึงบล็อคไดอาแกรมและทรานเฟอร์ฟังก์ชันดังกล่าวนั้น ตอนท้ายของบทจะอธิบายถึงวิธีการออกแบบ และการสร้างหม้อแปลงสัญญาณพัลส์ (Pulse transformer) ซึ่งประกอบในวงจรกระตุ้น

3.2 วงจรกำลัง

ในหัวข้อนี้จะอธิบายถึงวงจรกำลังที่ใช้ในการขับมอเตอร์ ซึ่งแผนผังวงจรนี้แสดงในรูป 3.1 ซึ่งแสดงรูปสัญญาณคลื่นที่ทางออก(Output wave form)ในรูปที่ 3.1d สัญญาณ v_o คือสัญญาณแสดงศักดาไฟฟ้าที่ทางออกเมื่อกระตุ้นการทำงานของ SCR ด้วยมุม (α) v_m คือศักดาไฟฟ้าที่เทอร์มินัลอิมพีแดนซ์ (impedance) ของมอเตอร์ v คือศักดาไฟฟ้าที่ป้อนให้กับวงจร i_s คือกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน SCR i_d คือกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านไดโอด วงจรที่ใช้ทดลองในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้คือวงจรในรูป c

การทำงานของวงจรอิเล็คทรอนิคส์กำลัง เมื่อป้อนศักดาไฟฟ้าสลับให้กับวงจร ที่ครึ่งบวกของสัญญาณขณะที่กระตุ้น SCR ให้ทำงานด้วยมุม α SCR1จะนำกระแส กระแสจะไหลผ่านมอเตอร์และไหลเข้า D2 และเมื่อถึงมุม π SCR1 จะหยุดนำกระแส กระแสจะไหลผ่าน D2 และ D1 ดังรูป จนกระทั่งที่มุม($\pi + \alpha$) SCR2 จะถูกกระตุ้นให้นำกระแสไหลผ่านมอเตอร์มาเข้า D1 ที่มุม 2π SCR2 จะหยุดนำกระแส กระแสจะไหลผ่าน D1 และมาเข้า D2 ดังรูป

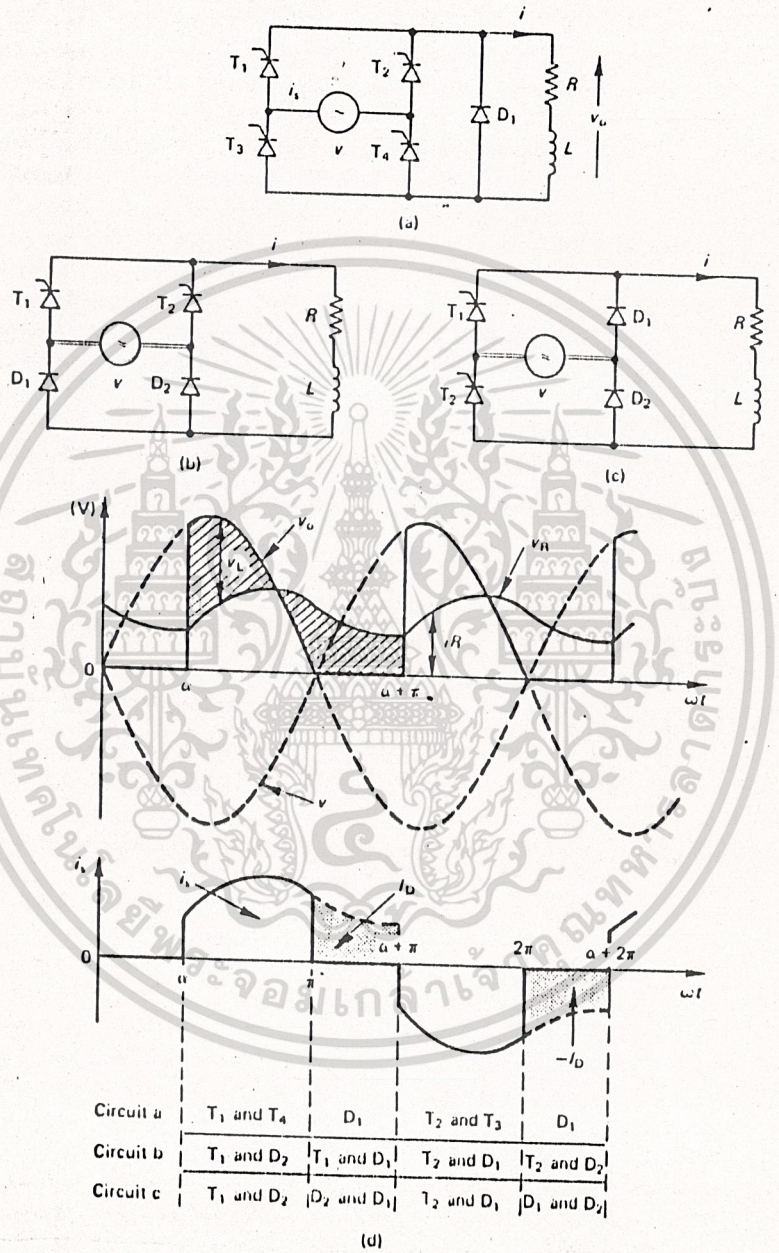
จากรูป 3.1d จะได้ศักดาไฟฟ้าเฉลี่ย(mean output voltage)

$$V_o = \frac{1}{\pi}\int_{\alpha}^{\pi} \sqrt{2}\, V \sin\omega t \qquad (v)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= \frac{\sqrt{2}V}{\pi} (1 + \cos \alpha) \qquad \ldots\ldots(3.1)$$

โดยที่ α เป็นมุมทริก (trig)



รูปที่ 3.1 แสดงแผนผังของวงจรอิเล็คทรอนิคส์กำลังแบบควบคุมได้ครึ่งหนึ่งชนิดหนึ่งเฟส

ค่ากตาไฟฟ้าอาร์เอ็มเอส (rms voltage) ที่เอาท์พุท คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V_r = \sqrt{\left[\frac{1}{\pi}\int_0^{\pi} (\sqrt{2}\sin\omega t)^2 \, d\omega t\right]}$$

$$= V\sqrt{\left(\frac{\pi - \alpha + (1/2)\sin 2\alpha}{\pi}\right)} \qquad \ldots\ldots\ldots(3.2)$$

สามารถหาค่าศักดาไฟฟ้ากระเพื่อม (ripple voltage)

$$V_{R1} = \triangleq \sqrt{V_r^2 - V_o^2} \quad (v)$$

$$= 0.545\ V \qquad \ldots\ldots\ldots(3.3)$$

และองค์ประกอบของศักดาไฟฟ้ากระเพื่อม (ripple voltage factor)

$$K_v = \triangleq V_{r1}/V_o \qquad \ldots\ldots\ldots(3.4)$$

$$= 1.211$$

จะได้สมการกระแสที่ไหลจากแหล่งจ่ายกระแส

$$I_o = \frac{\sqrt{2}V}{Z}\sin(\omega t - \phi) + \left(I_{o2\omega} + \frac{\sqrt{2}V}{Z}\sin\phi\right)\exp(-\omega t)\tan\phi \quad (A)$$

โดยที่ $0 = \omega t = 2\pi$

$$I_{o2\pi} = \frac{\sqrt{2}V\sin\phi\,(1-\exp(-\pi/\tan\phi))}{\exp(\pi/\tan\phi)-\exp(-\pi/\tan\phi)Z} \quad (A) \qquad \ldots\ldots(3.5)$$

ซึ่ง $Z = \sqrt{(R^2 + (\omega L)^2)}$ (ohms)

และ $\tan\phi = \omega L/R$

จะได้สมการของกระแสที่ไหลผ่านไดโอด

$$I_o = I_{DF} = I_{o1\pi}\exp(-(\omega t - \pi)/\tan\phi) \quad (A) \qquad \ldots\ldots(3.6)$$

โดยที่ $\pi = \omega t = 2\pi$ (rad)

สำหรับ $I_{o1\pi} = I_{o2\pi}\exp(\pi/\tan\phi)$ (A)

3.3 ทรานเฟอร์ฟังก์ชันและบล็อคไดอาแกรมของวงจรอีเล็คทรอนิคส์กำลัง

ในการออกแบบระบบควบคุมต่างๆ เราจำเป็นที่จะต้องทราบทรานเฟอร์ฟังก์ชันของระบบนั้นๆก่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรอิเล็กทรอนิคส์กำลังเมื่อถูกกระตุ้นให้ทำงานแล้ว จะไม่สามารถควบคุมการทำงานได้จนกระทั่งถึงเวลาที่ถูกกระตุ้นครั้งต่อไปจึงจะควบคุมได้ ดังนั้นวงจรอิเล็กทรอนิคส์กำลังจึงมีคุณสมบัติที่เรียกว่าเป็น อุปกรณ์เดทไทม์ (Dead time component) ซึ่งอุปกรณ์ชนิดนี้มีสมการแสดงคุณสมบัติคือ

$$V_o(t) = V_c(t)A_{si}(t-T_t) \qquad \ldots\ldots(3.6)$$

T_t เรียกว่าเวลาเดทไทม์ ซึ่งค่ามากที่สุดของวงจรอิเล็กทรอนิคส์กำลังชนิดนี้คือ

$$T_t = \frac{\text{คาบเวลาของสัญญาณไฟฟ้าสลับที่ใช้}}{\text{จำนวนพัลส์ของกระแสไฟฟ้าในหนึ่งลูกคลื่นของศักดาไฟฟ้าสลับที่ใช้}}$$

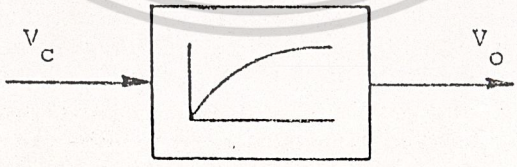
เนื่องจาก T_t มีค่าน้อยมาก เมื่อเทียบกับค่าเวลาคงที่ (Time constant) ของอุปกรณ์อื่น ๆ ในระบบควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ ดังนั้นจึงสามารถแทนคุณสมบัติของวงจรอิเล็กทรอนิคส์กำลัง ด้วยอุปกรณ์หน่วงเวลาออร์เดอร์หนึ่ง (First order deley element) ซึ่งมีความสัมพันธ์ระหว่างศักดาไฟฟ้าตรงที่ขั้วของวงจรอิเล็กทรอนิคส์กำลังกับศักดาไฟฟ้าควบคุมชนิดเปลี่ยนแปลงทันทีทันใด (step controlled voltage) คือ

$$V_o(t) = V_c A_{si}(1-e^{-t/T_t}) \qquad \ldots\ldots(3.7)$$

หรือเขียนแทนด้วยสมการทรานเฟอร์ฟังก์ชันได้เป็น

$$\frac{V_o(s)}{V_c(s)} = \frac{A_{si}}{1+sT_t} \qquad \ldots\ldots(3.8)$$

และสามารถแสดงบล็อคไดอาแกรมได้ดังรูปที่ 3.2



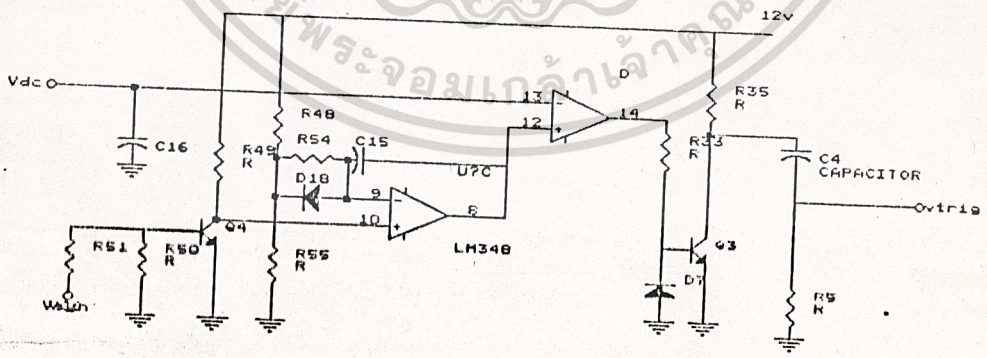
รูปที่ 3.2 แสดงบล็อคไดอาแกรมของวงจรอิเล็กทรอนิคส์กำลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 วงจรกระตุ้น

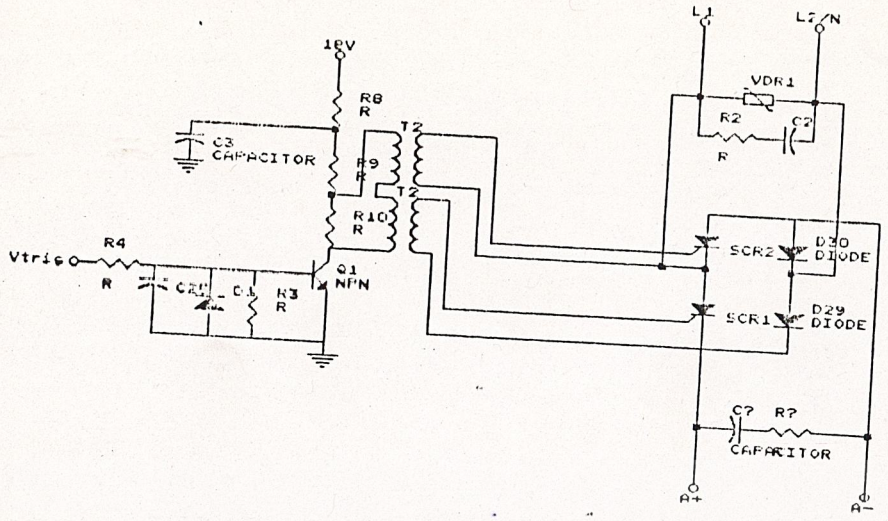
สัญญาณกระตุ้นและศักดาไฟฟ้าสลับที่จะถูกนำเข้าวงจรนั้น จะต้องกระทำให้มีพร้อมกันไป (Synchronize) ดังนั้นในวงจรกระตุ้นจะต้องมีส่วนซึ่งนำไฟฟ้าสลับเข้าวงจรเพื่อนำไปประกอบการสร้างเป็นสัญญาณกระตุ้นต่อไป แต่เนื่องจากศักดาไฟฟ้าสลับนี้มีแรงดันสูงจึงจำเป็นต้องมีหม้อแปลงศักดาไฟฟ้าเพื่อลดค่าศักดาไฟฟ้าสลับก่อน จากนั้นจึงให้ศักดาไฟฟ้าสลับนี้ผ่านวงจรกรองสัญญาณความถี่ต่ำผ่าน เพื่อลดสัญญาณรบกวนซึ่งอาจจะเข้ามาด้วยเส้น สัญญาณที่ได้จะป้อนให้กับขาเบสของทรานซิสเตอร์ (TR4) แล้วป้อนให้กับขา (10) เพื่อนำไปสร้างเป็นสัญญาณแรมพ์ (ramp signal) ซึ่งสัญญาณนี้จะออกมาที่ขา (8) และจะนำไปเปรียบเทียบกับสัญญาณศักดาไฟฟ้าตรง ที่ออกมาจากวงจรควบคุมความเร็วเพื่อสร้างสัญญาณพัลส์ที่ปรับความกว้าง (Duty Cycle) ได้ ออกมาที่ขา (14) เมื่อสัญญาณนี้ผ่าน (TR3) และ (C4) ซึ่งทำหน้าที่ (Coupling) เราก็จะได้สัญญาณกระตุ้นออกมาเข้าวงจรขยายสัญญาณกระตุ้นต่อไป

ถ้าวงจรสร้างสัญญาณกระตุ้นและวงจรกำลังต่อกันโดยตรงแล้ว จะมีปัญหาในการวัดระบบกราวน์ และปัญหาเนื่องจากวงจรสร้างสัญญาณกระตุ้นเสียหายเมื่อวงจรกำลังทำงานผิดพลาด ดังนั้นเราจึงส่งสัญญาณนี้ผ่านหม้อแปลงสัญญาณพัลส์ ซึ่งทำหน้าที่แยกระบบกราวน์ระหว่างวงจรกำลังกับวงจรสร้างสัญญาณกระตุ้น แล้วสัญญาที่ผ่านหม้อแปลงนี้จะไปกระตุ้น SCR ต่อไป ดังรูป



รูปที่ 3.3 แสดงวงจรสร้างสัญญาณกระตุ้น

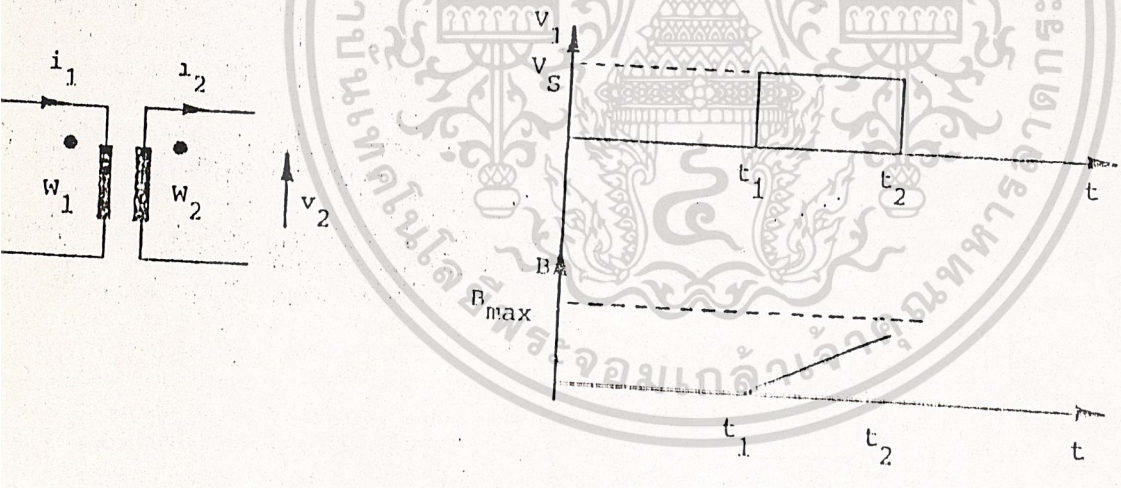
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 แสดงวงจรขยายสัญญาณกระตุ้น

3.5 การออกแบบและการสร้างหม้อแปลงสัญญาณกระตุ้น

หม้อแปลงสัญญาณกระตุ้นที่สร้างขึ้นจะมีลักษณะเกี่ยวข้องกับหม้อแปลงกำลังไฟฟ้าชนิดธรรมดา ดังแสดงในรูป 3.5 การคำนวณเริ่มต้นจากเงื่อนไขดังนี้คือ



(ก) (ข)

รูปที่ 3.5 (ก) แสดงแผงสังหม้อแปลงสัญญาณกระตุ้น (ข) แสดงรูปสัญญาณของสัญญาณกระตุ้น และ รูปสัญญาณของค่าความหนาแน่นของสนามแม่เหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขดลวด W_1 ไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านมาก่อน และ t_1 เป็นเวลานาน ดังนั้น ความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กภายในแกนหม้อแปลงจะเป็น

$$B = 0 \Big| \qquad \text{.....(3.9)}$$

$$\Big| i_1 = 0,\ i_2 = 0,\ v_1 = 0,\ v_2 = 0$$

และถ้ากระแสไฟฟ้าแมกติไนซิ่งค์(Magnetising Current) มีค่าดังนี้คือ

$$i_m << i_1 , i_2 \qquad \text{.....(3.10)}$$

สามารถอนุมานได้ว่า

$$i_m = 0$$

เมื่อทรานซิสเตอร์ในวงจรขยายสัญญาณกระตุ้นทำงาน ศักดาไฟฟ้าที่ขดลวด W_1 จะเป็น

$$V_1 = V_m \Big| \qquad \text{.....(3.11)}$$

$$\Big| t_1 < t < t_2$$

$$V_1 = W_1 A \frac{dB}{dt} \qquad \text{.....(3.12)}$$

ค่า A สามารถวัดได้และจากสมการ(3.12)จะได้สมการใหม่คือ

$$B = B_0 + \frac{V_m}{W_1 A}(t_2 - t_1) \qquad \text{.....(3.13)}$$

ถ้า B_0 ในสมการ (3.13)สามารถทำให้หมดไปโดยการทำให้แกนลดสภาพการเป็นแม่เหล็ก (Demagnetizing) ซึ่งได้มีการกระทำเช่นนี้อยู่แล้วในวงจรขยายสัญญาณกระตุ้น ดังนั้นสมการ (3.13) สามารถเขียนใหม่ได้เป็น

$$B = \frac{V_m}{W_1 A} \Delta t \Big| \qquad \text{.....(3.14)}$$

$$\Big| \Delta t = t_2 - t_1$$

และสมการของจำนวนขดลวดทางปฐมภูมิ (Primary Winding) คือ

$$W_1 = \frac{V_m}{BA} \Delta t \qquad \text{.....(3.15)}$$

ข้อสำคัญอย่างหนึ่งซึ่งต้องพิจารณาคือ เมื่อพิจารณารูปสัญญาณของสมการ (3.15) ดังในรูปที่ 3.5 ค่า B ของสมการนี้จะต้องไม่เกินค่า (B_{max}) มิฉะนั้นจะทำให้แกนของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หม้อแปลงอิ่มตัว ดังนั้นสมการการคำนวนจำนวนขดลวดทางทุติยภูมิคือ

$$W_1 \geq \frac{V_s \Delta t}{B_{max} A}$$

สมการจำนวนขดลวดทางทุติยภูมิคือ

$$W_2 = \frac{V_2}{V_1} W_1 \qquad \ldots\ldots\ldots(3.16)$$

3.6 บทสรุป

ในบทนี้ได้อธิบายถึง แผนผังวงจร และการทำงานของวงจรอิเล็คทรอนิคส์กำลังซึ่งใช้ขับมอเตอร์ โดยแยกอธิบายเป็นสองส่วนคือส่วนวงจรกำลัง และส่วนวงจรกระตุ้น นอกจากนี้ ได้อธิบายถึงทรานเฟอร์ฟังก์ชันของวงจรอิเล็คทรอนิคส์กำลัง ซึ่งใช้ในการออกแบบระบบควบคุมความเร็วรอบ และตัวแปรของทรานเฟอร์ฟังก์ชันนั้น ตอนท้ายจะอธิบายถึงการออกแบบและการสร้างหม้อแปลงสัญญาณกระตุ้นตามลำดับ เมื่อนำวงจรอิเล็คทรอนิคส์กำลังนี้ไปขับมอเตอร์ การวิเคราะห์ก็เหมือนเช่นเดิม ทั้งนี้เพราะโหลดในบทนี้ก็คือวงจรภายในของอาร์มาเจอร์ของมอเตอร์นั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

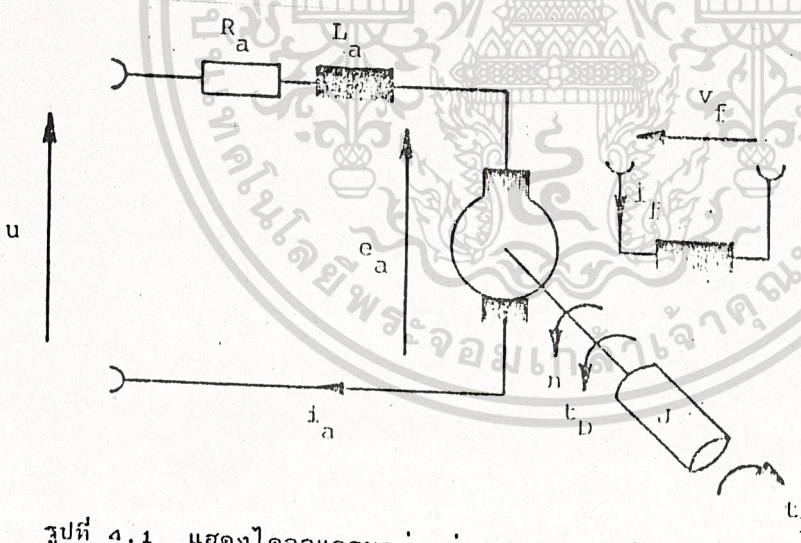
มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดกระตุ้นแยก

(Separately Excited DC Motor)

4.1 บทนำ

ในการออกแบบระบบควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์นั้น ถึงแม้ว่าจะไม่จำเป็นต้องศึกษาถึงการออกแบบและการสร้างตัวมอเตอร์โดยละเอียด แต่ก็ยังคงจำเป็นจะต้องศึกษาถึงคุณสมบัติที่สำคัญบางอย่างของมอเตอร์ เพื่อประกอบในการออกแบบระบบควบคุมต่อไป ดังนั้นในบทนี้จะอธิบายถึงคุณสมบัติเหล่านี้ซึ่งได้แก่ สมการความเร็วรอบของมอเตอร์ซึ่งจากสมการนี้จะอธิบายวิธีปรับความเร็วรอบมอเตอร์ นอกจากสมการนี้แล้วก็จะอธิบายถึงสาเหตุซึ่งทำให้ความเร็วรอบของมอเตอร์เปลี่ยนไป และตอนต่อมาของบทนี้จะอธิบายถึงทรานเฟอร์ฟังก์ชัน และบล็อคไดอาแกรมของมอเตอร์ ซึ่งจะถูกนำไปใช้ประกอบการในการออกแบบระบบควบคุมต่อไป

4.2 สมการความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดกระตุ้นแยก



รูปที่ 4.1 แสดงไดอาแกรมอย่างง่ายของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดกระตุ้นแยก

วงจรอาร์มาเจอร์ของมอเตอร์ดังแสดงในรูปที่ 4.1 จะประกอบด้วย e_a เป็นศักดาไฟฟ้าย้อนกลับ (back emf) , R_a เป็นความต้านทานของวงจรอาร์มาเจอร์ และ L_a เป็นค่าอินดัคแตนซ์ของวงจรอาร์มาเจอร์เช่นกัน จากไดอาแกรมและคุณสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มัติของมอเตอร์สามารถแสดงสมการความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆได้ดังนี้

สมการของศักดาไฟฟ้าย้อนกลับคือ

$$e_a = K_1 \phi n \qquad \ldots\ldots(4.1)$$

สมการกำลังบิดของมอเตอร์คือ

$$t_d = K_2 \phi i_a \qquad \ldots\ldots(4.2)$$

และสมการของวงจรอาร์มาเจอร์คือ

$$U = i_a R_a + L di_a + e_a \qquad \ldots\ldots(4.3)$$

สมการ(4.1),(4.2),(4.3) สามารถแสดงในกรณีของค่าเฉลี่ยได้คือ

สมการค่าเฉลี่ยของศักดาไฟฟ้าย้อนกลับคือ

$$E_a = K_1 \phi N$$

สมการค่าเฉลี่ยของแรงบิดคือ

$$T_d = K_2 \phi I_a$$

และสมการในเทอมเฉลี่ยของวงจรอาร์มาเจอร์คือ

$$U = R_a I_a + E_a$$

จากสมการและสามารถนำมาจัดใหม่ได้เป็นสมการของความเร็วรอบคือ

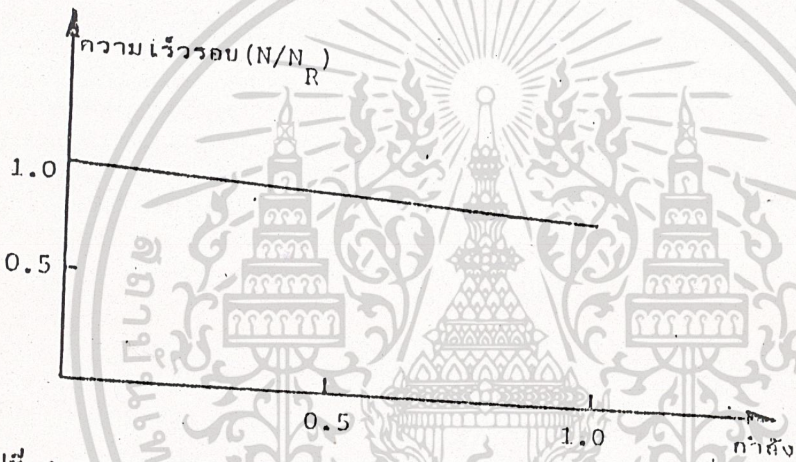
$$N = \frac{U - I_a R_a}{K_1 \phi}$$

เมื่อพิจารณาสมการ (4.5) สังเกตุได้ว่ากำลังบิดของมอเตอร์ และกระแสไฟฟ้าไหลเข้าวงจรอาร์มาเจอร์จะแปรผันตรงต่อกัน ดังนั้นถ้ากำลังบิดของมอเตอร์มีขนาดคงที่ก็จะทำให้กระแสไฟฟ้าไหลเข้าวงจรอาร์มาเจอร์มีปริมาณคงที่ด้วย นั่นคือเมื่อพิจารณา (4.7) ถ้ากำลังบิดและปริมาณสนามแม่เหล็กภายในมอเตอร์มีปริมาณคงที่แล้ว ความเร็วรอบของมอเตอร์จะถูกควบคุมด้วยศักดาไฟฟ้าที่ขั้วของวงจรอาร์มาเจอร์ ซึ่งจากคุณสมบัติข้อนี้เองจึงทำให้เกิดวิธีควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ชนิดนี้ โดยควบคุมศักดาไฟฟ้าที่ขั้วของวงจรอาร์มาเจอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 สาเหตุที่ทำให้ความเร็วรอบของมอเตอร์เปลี่ยนไป

เมื่อพิจารณาสมการ (4.7) จะสังเกตุได้ว่าศักดาไฟฟ้าตรงที่ขั้วของวงจรอาร์มาเจอร์ (U) ในสมการนี้มีปริมาณคงที่ และกำลังบิดของมอเตอร์เปลี่ยนแปลง (I เปลี่ยนแปลง) จะมีผลทำให้ความเร็วรอบ ในสมการนี้เปลี่ยนแปลงไปด้วย ซึ่งความสัมพันธ์ของความเร็วรอบกับกำลังบิดของมอเตอร์ในกรณีนี้สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ของความเร็วรอบ และกำลังบิดเมื่อศักดาไฟฟ้าตรงที่ขั้วของอาร์มาเจอร์มีค่าคงที่ N/N_R เป็นความเร็วรอบต่อหนึ่งหน่วย (Per Unit) และ N_R เป็นความเร็วรอบที่พิกัด T_D/T_R เป็นกำลังบิดต่อหนึ่งหน่วย และ T_R เป็นกำลังบิดที่พิกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.2 สามารถสรุปได้ว่า สำหรับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดกระตุ้นแยก เมื่อค่าความต้านทานไฟฟ้าที่ขั้วอาร์มาเจอร์มีปริมาณคงที่แล้ว ถ้าโหลดของมอเตอร์เพิ่มขึ้นก็จะทำให้ความเร็วรอบลดลง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีระบบควบคุมเพื่อควบคุมมอเตอร์ไม่ให้ความเร็วรอบของมอเตอร์เปลี่ยนแปลง

4.4 <u>ทรานเฟอร์ฟังก์ชันและบล็อคไดอาแกรมของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดกระตุ้นแยก</u>

จากบล็อคไดอาแกรมของมอเตอร์ในรูป 4.1 ที่จะได้สมการกำลังบิดคือ

$$t_D = T_L + J\frac{d\omega}{dt} \qquad \ldots\ldots(4.8)$$

สมการ(4.1),(4.2),(4.3),(4.4)และสามารถเขียนใหม่ในโดเมนของลาปลาส (Laplace domain) คือ

$$E_a(s) = K_1\phi N(s)$$

$$T_D(s) = K_2\phi I_a(s) \qquad \ldots\ldots(4.9)$$

$$U(s) = I_a(s)R_a + sL_a I_a(s) + E_a(s) \qquad \ldots\ldots(4.10)$$

$$T_D(s) = T_L(s) + sJW(s) \qquad \ldots\ldots(4.11)$$

จากสมการ (4.11) สามารถจัดเป็นสมการใหม่ได้คือ

$$I_a(s) = \frac{U(s) - E_a(s)}{R_a + sL_a} \qquad \ldots\ldots(4.12)$$

หรือ

$$I_a(s) = \frac{U(s) - E_a(s)}{R_a}\cdot\frac{1}{1 + sT_a} \qquad \ldots\ldots(4.13)$$

เมื่อ

$$T_a = \frac{L_a}{Ra} \qquad \ldots\ldots(4.14)$$

T_a นี้มีชื่อเรียกว่า ค่าเวลาคงที่ทางไฟฟ้าของวงจรอาร์มาเจอร์

และจากสมการ (4.12) สามารถจัดเป็นสมการใหม่ได้คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$N(s) = \frac{T_D(s) - T_L(s)}{\frac{s2\pi J}{60}}$$

หรือ

$$N(s) = \frac{T_D(s) - T_L(s)}{sT_m}$$

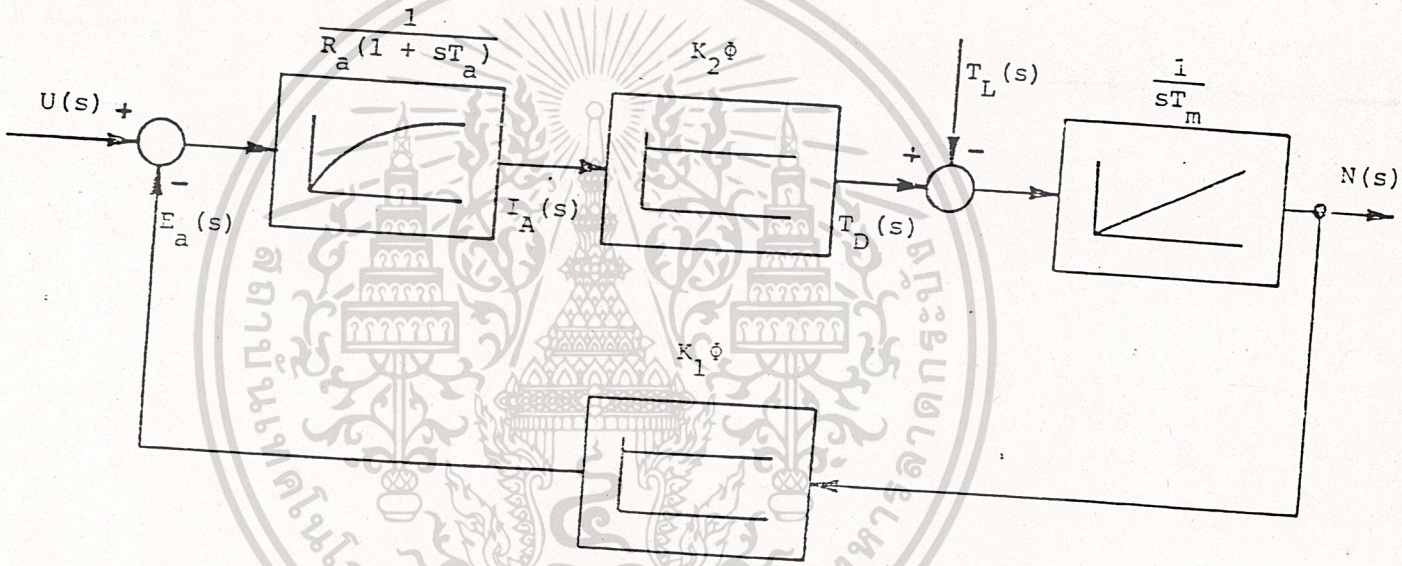
เมื่อ

$$T_m = \frac{2\pi J}{60}$$

T_m นี้มีชื่อเรียกว่า ค่าเวลาคงที่เชิงกล (Mechanical Time Constant)

จากสมการ 4.9, 4.10, 4.12, 4.17 สามารถแสดงเป็นบล็อกไดอาแกรม ได้ดังรูปที่ 4.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 แสดงบล็อคไดอาแกรมของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดกระตุ้นแยก

4.5 บทสรุป

ในบทนี้ได้อธิบายถึงคุณสมบัติที่จำเป็นของมอเตอร์ ซึ่งต้องนำไปใช้ในการออกแบบระบบควบคุมความเร็วรอบ คุณสมบัตินี้ได้แก่ สมการความเร็วรอบ บล็อคไดอาแกรม และทรานเฟอร์ฟังก์ชั่นของมอเตอร์ นอกจากคุณสมบัติเหล่านี้แล้ว ในระบบควบคุมจำเป็นต้องมีการวัดค่าตัวแปรที่ถูกควบคุม ดังนั้นในบทต่อไปจะอธิบายถึงระบบการวัดตัวแปรเหล่านั้นของมอเตอร์ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

อุปกรณ์วัด (Measuring Instrument)

5.1 บทนำ

ในระบบควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ที่สร้างขึ้น จะประกอบด้วยระบบควบคุมสองระบบคือระบบควบคุมกระแสไฟฟ้าตรงไหลเข้าวงจรอาร์มาเจอร์ และระบบควบคุมความเร็วรอบ ในระบบควบคุมทั้งสองจะต้องมีอุปกรณ์วัด เพื่อที่จะใช้วัดตัวแปรที่จะถูกควบคุม ดังนั้นในบทนี้จะอธิบายถึง วิธีวัด อุปกรณ์วัด ทรานเฟอร์ฟังก์ชัน และบล็อคไดอาแกรมของอุปกรณ์วัดกระแสไฟฟ้าตรงที่ไหลเข้าวงจรอาร์มาเจอร์ และอุปกรณ์วัดความเร็วรอบ ในตอนสุดท้ายของบท จะอธิบายคุณสมบัติของวงจรกรองสัญญาณความถี่ต่ำผ่านพร้อมทั้งทรานเฟอร์ฟังก์ชันและบล็อคไดอาแกรม ซึ่งวงจรนี้จะได้นำไปใช้เพื่อกรองสัญญาณตัวแปรที่ถูกวัดโดยอุปกรณ์วัดให้เรียบขึ้น

5.2 วิธีวัดและอุปกรณ์วัดกระแสไฟฟ้าตรงไหลเข้าวงจรอาร์มาเจอร์

วงจรนี้จะใช้วิธีวัดกระแสไฟฟ้าตรงที่ไหลเข้าวงจรอาร์มาเจอร์โดยตรง โดยใช้หลักการของหม้อแปลงไฟฟ้ากระแสตรงดังรูป 5.1 ทำได้โดยอาศัยพื้นฐานความเป็นเชิงเส้นระหว่างเส้นแรงแม่เหล็ก (Flux) และกระแสเอาท์พุท ในกรณีของการต่อกลับเกิดของการอนุกรมระหว่างโช้ควัด (Trasducer Choke) ซึ่งโช้คจะสร้างพรีแมกเนไตซ์ (premagnetized) โดยกระแสไฟฟ้าตรง ซึ่งกระแสไฟฟ้าตรงนี้จะถูกวัดโดยขดปฐมภูมิ (primary) ขดปฐมภูมิจะสร้างแมกเนติกฟลัก (magnetic flux) ซึ่งถูกต่อแบบกลับขั้วกันจากหม้อแปลงออกซิลารี่ (auxiliary trasformer) กระแสสลับจะถูกเหนี่ยวนำผ่านทั้งสองขดของขดทุติยภูมิ (secondary)

ในช่วงครึ่งบวกของสัญญาณ กระแสนี้จะช่วยชดเชยฟลักซ์อีกขดของขดทุติยภูมิ กระแสออกซิลารี่จะเป็นสัดส่วนกับกระแสของมอเตอร์ โดยสัมพันธ์กันในอัตราส่วนของหม้อแปลง

$$I_{aux} \propto I_{motor}$$

ดังนั้น I_{aux} จะเป็นกระแสที่ตาม (lag) อยู่เท่ากับ 90 และเป็นสัญญาณสี่เหลี่ยมอย่างหยาบๆ ตามรูป 3.1 กระแสจะถูกแปลงโดยตัวแปลงกระแสบริดจ์ (bridge rctifier) โดยคร่อมความต้านทานทำให้ได้ศักดาไฟฟ้าเป็นสัดส่วนกับกระแสของมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพราะว่าผลการตอบสนองของวิธีการวัดชนิดนี้เป็นไปอย่างรวดเร็วมาก จึงทำให้เราสามารถอนุมานได้ว่า ระบบของเรานี้ไม่มีการหน่วงเวลาเกิดขึ้นเลยระหว่างตัวแปรที่ป้อนเข้าวงจรกับตัวแปรที่ต้องการ ซึ่งถ้าสมมติดังนี้แล้วเราจะได้ว่าทรานเฟอร์ฟังก์ชันของวิธีวัดนี้จะเป็นดังต่อไปนี้คือ

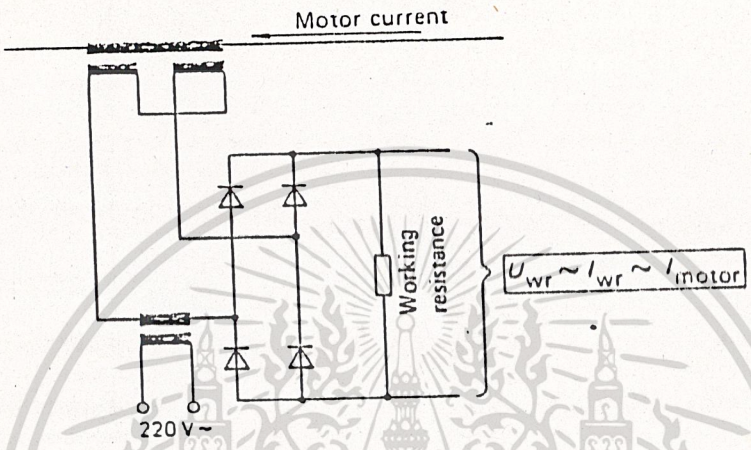
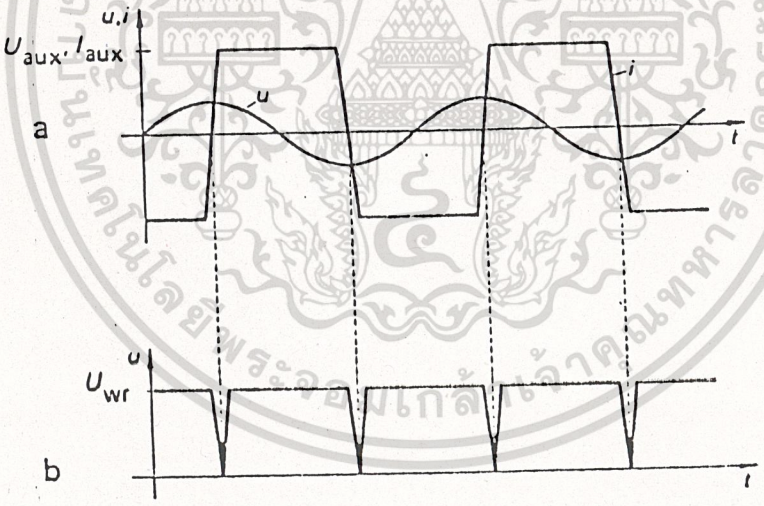
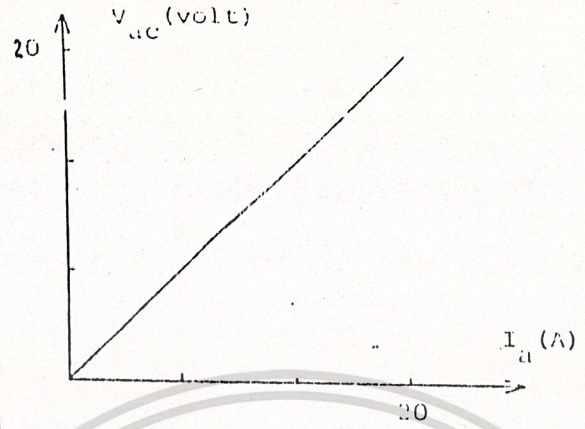


Fig. 6.32 Circuit of a d.c. transformer



รูปที่ 5.1 ศักดาไฟฟ้าและกระแสในหม้อแปลงกระแสตรง

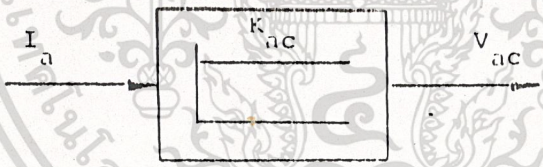
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแส I_a และศักดาไฟฟ้า V_{ac}

$$\frac{V_{ac}(s)}{I_a(s)} = K_{ac} \qquad \ldots\ldots(5.1)$$

และสมการที่ 5.1 สามารถเขียนเป็นบล็อคไดอาแกรมได้คือ



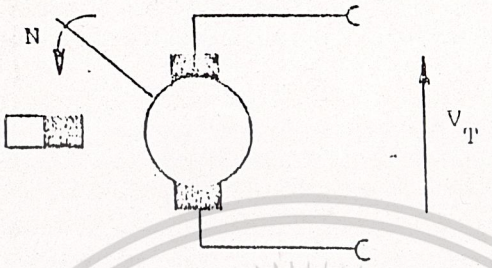
รูปที่ 5.3 แสดงบล็อคไดอาแกรมของการวัดกระแสไฟฟ้าตรง I_a

5.3 วิธีการวัดและอุปกรณ์วัดความเร็วรอบมอเตอร์

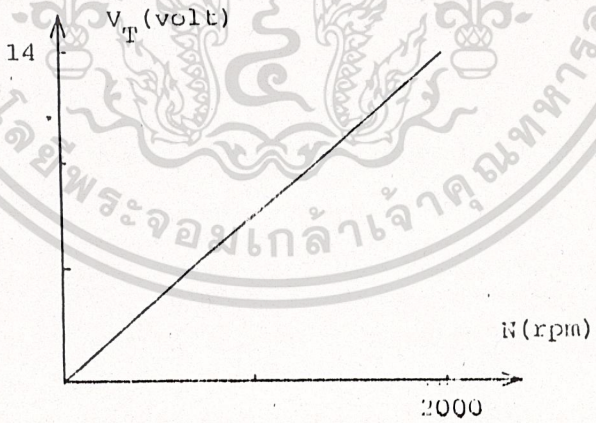
ในระบบควบคุมความเร็วรอบที่สร้างจะใช้วิธีการวัดความเร็วรอบ โดยติดตั้งทาโคเยนเนอร์เรเตอร์ศักดาไฟฟ้าตรงชนิดแม่เหล็กถาวรกับมอเตอร์ที่ถูกควบคุม ซึ่งรูปที่ 5.4 แสดงไดอาแกรมของทาโคเยนเนอร์เรเตอร์ชนิดนี้ ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบของมอเตอร์ N และศักดาที่ถูกสร้างขึ้น V_T มีดังแสดงในรูป 5.5 ศักดาไฟฟ้า V_T

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นี้ จะถูกใช้เป็นสัญญาณป้อนกลับของระบบควบคุมความเร็วรอบต่อไป



รูปที่ 5.4 แสดงไดอาแกรมอย่างง่ายของทาโคเยนเนอร์เรเตอร์ชนิดแม่เหล็กถาวร



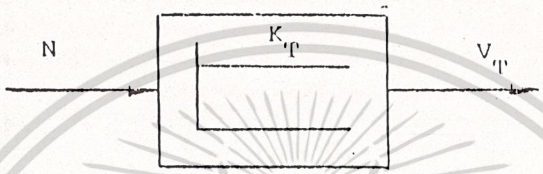
รูปที่ 5.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบมอเตอร์และศักดาไฟฟ้าตรง V_T ที่ถูกสร้างขึ้นโดยทาโคเยนเนอร์เรเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพราะว่าการตอบสนองของวิธีวัดชนิดนี้เป็นไปอย่างไม่ทันท่วงทันใด คล้ายกับในวงจรวัดกระแส ดังนั้นพรานเฟอร์ฟังก์ชันของการวัดชนิดนี้จึงอยู่ในลักษณะเดียวกับสมการ (5.1) คือ

$$\frac{V_T(s)}{N(s)} = K_T$$

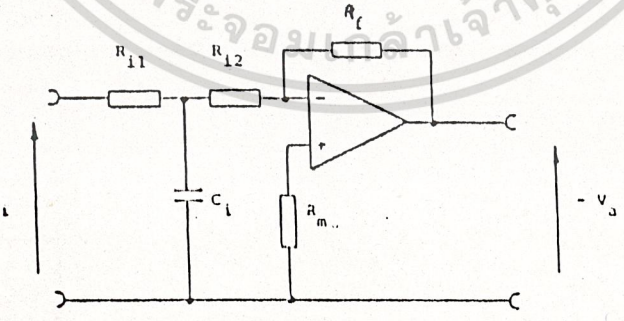
และสมการ (5.2) สามารถเขียนเป็นบล็อคไดอาแกรมดังรูปที่ 5.6



รูปที่ 5.6 แสดงบล็อคไดอาแกรมของการวัดความเร็วรอบ

5.4 วงจรกรองสัญญาณความถี่ต่ำผ่าน

โดยปกติศักดาไฟฟ้า V_{ac} และ V_T ที่ได้จากอุปกรณ์วัดมักมีลักษณะเป็นสัญญาณที่มีสัญญาณรบกวนปนอยู่ด้วย ดังนั้นเราจึงจำเป็นต้องมีวงจรกรองสัญญาณความถี่ต่ำผ่าน เพื่อทำหน้าที่ลดสัญญาณรบกวนนั้นและทำให้สัญญาณที่ได้จากการวัดเรียบขึ้น เพื่อที่จะทำให้ระบบควบคุมทำงานได้เที่ยงตรงขึ้น วงจรกรองสัญญาณความถี่ต่ำผ่านสำหรับในที่นี้มีดังแสดงในรูปที่ 5.7 และวงจรนี้สามารถวิเคราะห์ได้คือ



รูปที่ 5.7 แสดงวงจรสัญญาณความถี่ต่ำผ่าน

ค่าคอมเพล็คอิมพีแดนซ์ (Complex Impedance) ของด้านเข้าสามารถแสดงแทนได้โดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Z_i = (R_{i1} + R_{i2}) \frac{1 + SR_{i1}R_{i2}C_i}{R_{i1} + R_{i3}} \quad \ldots (5.3)$$

และทรานเฟอร์ฟังก์ชันของวงจรเป็น

$$F(s) = \frac{-V_a(s)}{V_i(s)} = \frac{R_f}{R_{i1} + R_{i2}} \frac{1}{1 + \frac{sR_{i1}R_{i2}C_i}{R_{i1} + R_{i2}}} \quad \ldots (5.4)$$

เมื่อกำหนดให้

$$A_R = \frac{R_f}{R_{i1} + R_{i2}} \quad \ldots (5.5)$$

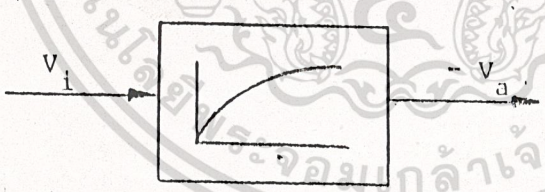
และ

$$t_{sm} = \frac{R_{i1}R_{i2}C_i}{R_{i1} + R_{i2}} \quad \ldots (5.6)$$

สมการ 5.4 อาจสามารถจัดใหม่

$$F(s) = \frac{-V_a(s)}{V_i(s)} = A_R \frac{1}{1 + st_{sm}} \quad \ldots (5.7)$$

สมการที่ 5.7 สามารถแสดงบล็อคไดอาแกรมได้ดังรูปที่ 5.8



รูปที่ 5.8 แสดงบล็อคไดอาแกรมของวงจรกรองสัญญาณความถี่ต่ำ

5.5 บทสรุป

ในบทนี้ได้อธิบายถึงอุปกรณ์วัดกระแสไฟฟ้าตรงไหลเข้าวงจรอาร์มาเจอร์ และอุปกรณ์วัดความเร็วรอบ ซึ่งอุปกรณ์เหล่านี้มีความจำเป็นต้องใช้ในระบบควบคุมความเร็วรอบ นอกจากอธิบายถึงอุปกรณ์แล้วยังอธิบายถึงทรานเฟอร์ฟังก์ชันของอุปกรณ์วัดซึ่งจะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถูกนำไปใช้ในการออกแบบระบบควบคุม โดยปกติค่าซึ่งได้จากการวัดจะมีสัญญาณรบกวนอยู่ด้วย ดังนั้นในตอนท้ายได้อธิบายถึง วงจรกรองสัญญาณความถี่ต่ำผ่านซึ่งใช้กรองสัญญาณเหล่านั้น เมื่อเข้าใจถึงอุปกรณ์การวัด และส่วนต่างๆของระบบดังแสดงในบทก่อนหน้านั้นแล้ว ในบทต่อไปจะอธิบายถึงการออกแบบวงจรควบคุมซึ่งใช้ในระบบควบคุมความเร็วรอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

ระบบควบคุมและวงจรควบคุม

(Control System and Controller Circuit)

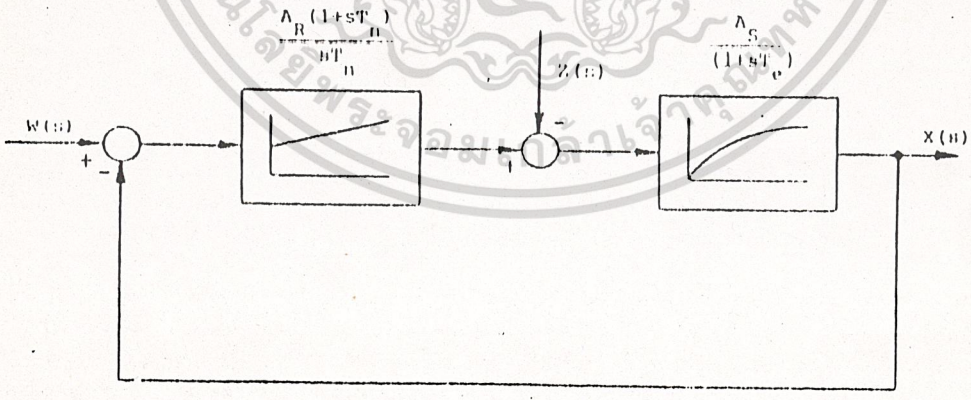
6.1 บทนำ

โดยปกติการขับมอเตอร์โดยตรงด้วยวิธีลูปเปิด (Open loop) ความเร็วรอบของมอเตอร์จะเปลี่ยนแปลงไปเมื่อโหลดของมอเตอร์เปลี่ยน ดังนั้นในระบบควบคุมความเร็วรอบที่เที่ยงตรงจึงจำเป็นต้องมีระบบควบคุมชนิดลูปปิด (Close loop) ส่วนสำคัญส่วนหนึ่งของระบบคือ วงจรควบคุมซึ่งวงจรควบคุมนี้จะเป็นส่วนที่กำหนดคุณสมบัติของระบบและสามารถทำให้ระบบทำงานได้ดีที่สุด ในบทนี้จะอธิบายถึงรายละเอียดดังกล่าวคือ อธิบายถึงคุณสมบัติต่างๆของระบบควบคุม และชนิดของวงจรควบคุมซึ่งจะทำให้ระบบทำงานได้ดีที่สุด

6.2 คุณสมบัติของระบบควบคุมที่มีวงจรควบคุมชนิด PI

ในการพิจารณาระบบควบคุมชนิด PI จะพิจารณาเป็นสองกรณีคือ กรณีที่ระบบได้รับคำสั่งในทันทีทันใด (Step command) และในกรณีระบบได้รับโหลดในทันทีทันใด ระบบควบคุมที่จะพิจารณามีอยู่สองชนิดคือ

6.2.1 ระบบควบคุมที่มีอุปกรณ์ถูกควบคุมชนิดอุปกรณ์หน่วงเวลาออร์เดอร์หนึ่ง



รูปที่ 6.1 แสดงระบบควบคุมซึ่งมีวงจรควบคุมชนิด PI และมีอุปกรณ์ถูกควบคุมชนิดอุปกรณ์หน่วงออร์เดอร์หนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทรานเฟอร์ฟังก์ชันของระบบนี้คือ

$$\frac{X(s)}{W(s)} = \frac{A_R A_S (1 + sT_n)}{sT_n(1 + sT_e) + A_R A_S (1 + sT_n)} \qquad (6.1)$$

เมื่อพิจารณาสมการของความผิดพลาด(Error) คือ

$$\frac{E(s)}{W(s)} = \frac{W(s) - X(s)}{W(s)} = \frac{sT_n(1 + sT_e)}{sT_n(1 + sT_e) + A_R A_S (1 + sT_n)} \qquad (6.2)$$

เมื่อพิจารณาสมการ(6.2) ที่สภาวะคงตัว (t)

$$\frac{E(s)}{W(s)} = 0 \qquad .....(6.3)$$

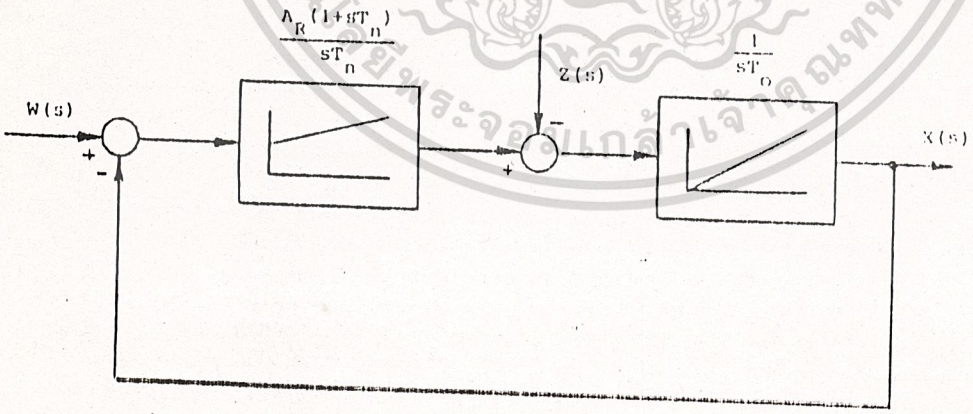
เมื่อพิจารณาทรานเฟอร์ฟังก์ชันระหว่างตัวแปรที่ต้องการกับโหลดจะได้สมการคือ

$$\frac{X(s)}{Z(s)} = \frac{sT_n A_s}{sT_n(1 + sT_e) + A_s A_R (1 + sT_e)} \qquad .....(6.4)$$

และเมื่อพิจารณาสมการ(6.4) ที่สภาวะคงตัว (t)

$$\frac{X(s)}{Z(s)} = 0 \qquad .....(6.5)$$

6.2.2 ระบบควบคุมซึ่งมีอุปกรณ์ควบคุมชนิดอินทิเกรท



รูปที่ 6.2 แสดงระบบควบคุมซึ่งมีวงจรควบคุมชนิด PI และมีอุปกรณ์ถูกควบคุมชนิดอินทิเกรท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทรานเฟอร์ฟังก์ชันของระบบควบคุมนี้คือ

$$\frac{X(s)}{W(s)} = \frac{A_v(1 + sT_n)}{s^2T_nT_a + A_v(1 + sT_n)} \quad \ldots\ldots(6.6)$$

เมื่อพิจารณาสมการของความผิดพลาดคือ

$$\frac{E(s)}{W(s)} = \frac{W(s) - X(s)}{W(s)} = \frac{s^2T_nT_a}{s^2T_nT_a + A_v(1 + sT_n)} \quad \ldots\ldots(6.7)$$

และเมื่อพิจารณาสมการ(6.7) ที่สภาวะคงตัว(t)

$$\frac{E(s)}{W(s)} = 0 \quad \ldots\ldots(6.8)$$

และเมื่อพิจารณาทรานเฟอร์ฟังก์ชันระหว่างตัวแปรที่ต้องการกับโหลดจะได้สมมการคือ

$$\frac{X(s)}{Z(s)} = \frac{sT_n}{s^2T_nT_a + A_v(1 + sT_n)} \quad \ldots\ldots(6.9)$$

และเมื่อพิจารณาที่สภาวะคงตัว

$$\frac{X(s)}{Z(s)} = 0 \quad \ldots\ldots(6.10)$$

เมื่อพิจารณาสมการ (6.3),(6.5),(6.8)และ (6.10) จะเห็นการเปลี่ยนแปลงได้ถึงคุณสมบัติของวงจรควบคุมชนิด PI ซึ่งสามารถทำให้ตัวแปรที่ต้องการเป็นไปตามต้องการที่สภาวะคงตัว แม้ว่าจะเปลี่ยนแปลงโหลด ดังนั้นจึงใช้วงจรควบคุมชนิดนี้ในการควบคุมการทำงานของระบบ

6.3 การทำให้ระบบทำงานดีที่สุด(Optimization)

ระบบควบคุมจะทำงานดีที่สุดเมื่อระบบสามารถตอบสนองต่อการทำงานได้เร็ว มีความแม่นยำ และมีเสถียรภาพ(stability) ซึ่งคุณสมบัตินี้เมื่อพิจารณาในโดเมนความถี่คือ ระบบต้องมีโดเมนความถี่กว้างสุด และมีขนาดใกล้เคียงหนึ่ง จากแนวความคิดนี้สามารถแสดงถึงวิธีการที่ทำให้ระบบทำงานได้ดีที่สุด

ถ้าสมมติสมการทรานเฟอร์ฟังก์ชันของระบบควบคุมเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$F_w(j\omega) = \frac{a_0 + j\omega a_1}{a_0 + j\omega a_1 + (j\omega)^2 a_2 + (j\omega)^3 a_3} \qquad (6.11)$$

ขนาดของสมการ(6.11) คือ

$$|F_w(\omega)| = \sqrt{\frac{a_0^2 + \omega^2 a_1^2}{a_0^2 + \omega^2(a_1^2 - 2a_0a_2) + \omega^4(a_2^2 - 2a_1a_3) + \omega^6 a_3^2}} \qquad (6.12)$$

ถ้ากำหนดให้

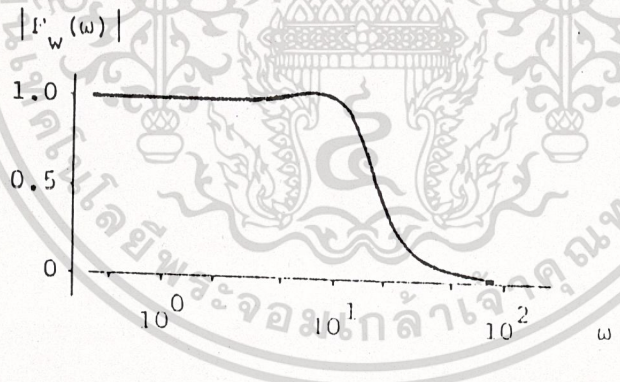
$$a_1^2 = 2a_0a_2 \qquad \ldots\ldots(6.13)$$

$$a_2^2 = 2a_1a_3 \qquad \ldots\ldots(6.14)$$

เมื่อนำสมการ(6.10),(6.14)แทนลงในสมการ(6.12) ได้สมการใหม่คือ

$$|F_w(\omega)| = \sqrt{\frac{1 + \omega^2(a_1/a_0)^2}{1 + \omega^6(a_3/a_0)^2}} \qquad (6.15)$$

สมการ(6.15) สามารถแสดงเมื่อเป็นฟังก์ชันของความถี่ได้ดังในรูปที่ 6.3



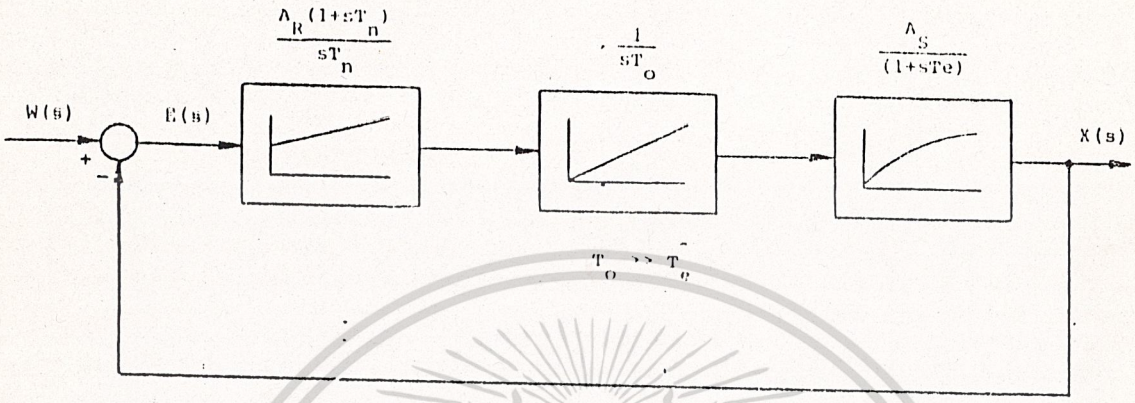
รูปที่ 6.3 แสดงคุณสมบัติในโดเมนของความถี่ของสมการ (6.15)

เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 6.3 สังเกตได้ว่าถ้าเงื่อนไขดังในสมการ (6.13) และ (6.14) เป็นจริงก็จะได้คุณสมบัติของระบบซึ่งทำงานได้ดีที่สุดตามต้องการ การทำให้ระบบทำงานดีที่สุดวิธีนี้เรียกว่า ซิมเมตริคคอล ออปติมัม ต่อไปจะอธิบายถึงวิธีการทำให้ระ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขบทำงานดีที่สุดของระบบควบคุมสองชนิดคือ

6.3.1 <u>ระบบซึ่งมีอุปกรณ์ถูกควบคุมชนิดอินทิเกรทและอุปกรณ์หน่วงออร์เดอร์หนึ่งขนาดเล็ก</u>



รูปที่ 6.4 แสดงระบบซึ่งมีอุปกรณ์ถูกควบคุมชนิดอุปกรณ์อินทิเกรทและอุปกรณ์หน่วงออร์เดอร์หนึ่งขนาดเล็ก

ทรานเฟอร์ฟังก์ชันของระบบคือ

$$\frac{X(s)}{W(s)} = F_w(s) = \frac{A_R A_S (1 + sT_n)}{A_R A_S + sA_R A_S T_n + s^2 T_n T_o + s^3 T_n T_o T_e} \quad \ldots\ldots(6.16)$$

เมื่อเปรียบเทียบสมการ(6.11)กับสมการ(6.16)จะได้ความสัมพันธ์คือ

$$a_0 = A_R A_S \quad \ldots\ldots(6.17)$$

$$a_1 = A_R A_S T_n \quad \ldots\ldots(6.18)$$

$$a_2 = T_n T_o \quad \ldots\ldots(6.19)$$

$$a_3 = T_n T_o T_e \quad \ldots\ldots(6.20)$$

แทนค่าสมการ(6.17),(6.18),(6.19)และ(6.20)ลงในสมการ(6.13)และ(6.14)จะได้ความสัมพันธ์คือ

$$(A_R A_S T_n)^2 = 2A_R A_S T_n T_o \quad \ldots\ldots(6.21)$$

$$T_n^2 T_o^2 = 2A_R A_S T_n^4 T_o T_e \quad \ldots\ldots(6.22)$$

จากสมการ (6.21) และ (6.22) จะได้สมการใหม่คือ

$A_R A_S T_n = 2 T_o$

$T_e = 2 A_R A_S T_e$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$T_n = 4T_w \qquad \text{.....(6.23)}$$

$$A_R = T_n / 2A_s T_w \qquad \text{.....(6.24)}$$

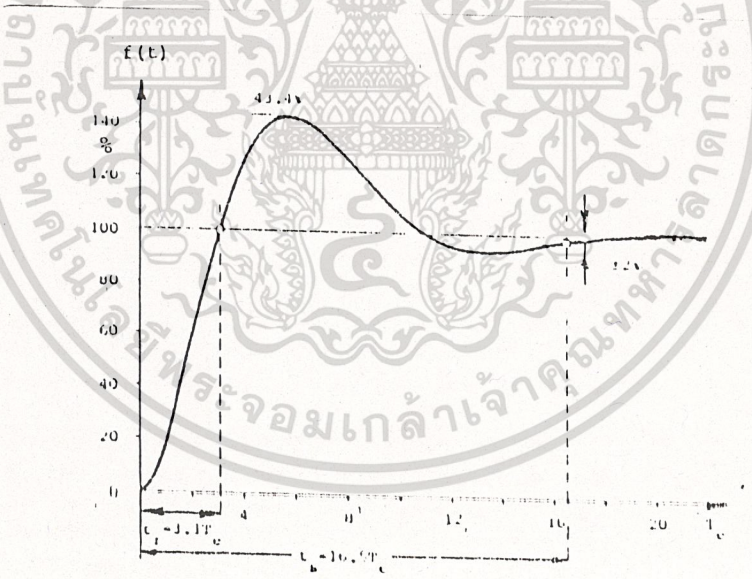
เมื่อนำสมการ(6.23)และ(6.24)แทนลงในสมการ(6.16)จะได้สมการใหม่คือ

$$F_w(s) = \frac{1 + s4T_w}{1 + s4T_w + s^2 8T_w^2 + s^3 8T_w^3} \qquad \text{.....(6.25)}$$

สมการ(6.25)จะได้คำตอบในโดเมนของเวลาเมื่อคำสั่งเป็นชนิดทันทีทันใด(Step commond)ขนาดเท่ากับหนึ่งคือ

$$f(t) = 1 + e^{-t/2T_w} - 2e^{-t/4T_w} \cdot \cos(\sqrt{3}t/4T_w) \qquad \text{.....(6.26)}$$

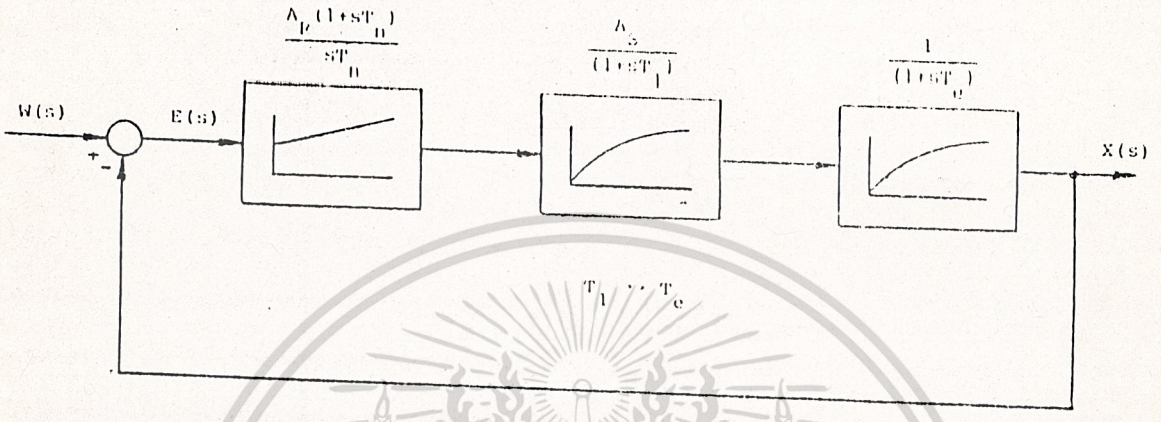
สมการ (6.26) สามารถแสดงรูปสัญญาณได้ดังในรูปที่ 6.5 รูปนี้จะเป็นการแสดงผลการตอบสนองของระบบที่ทำงานดีที่สุดเมื่อได้รับคำสั่งในทันทีทันใด โดยที่วงจรควบคุมในระบบนี้มีค่าตัวแปรดังในสมการ (6.23) และ (6.24)



รูปที่ 6.5 แสดงการตอบสนองในทันทีทันใดของระบบซึ่งถูกกำหนดให้ทำงานดีที่สุดด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.3.2 ระบบซึ่งมีอุปกรณ์ควบคุมชนิดอุปกรณ์หน่วงออร์เดอร์หนึ่งขนาดใหญ่และอุปกรณ์หน่วงออร์เดอร์หนึ่งขนาดเล็ก



รูปที่ 6.6 แสดงระบบซึ่งมีอุปกรณ์ควบคุมชนิดอุปกรณ์หน่วงออร์เดอร์หนึ่งขนาดใหญ่และอุปกรณ์หน่วงออร์เดอร์หนึ่งขนาดเล็ก

ทรานเฟอร์ฟังก์ชันของระบบนี้คือ

$$\frac{X(s)}{W(s)} = \frac{1 + sT_n}{1 + sT_n\left(1 + \frac{1}{A_R A_S}\right) + s^2 T_n\left(\frac{T_1 + T_c}{A_R A_S}\right) + s^3 T_n\left(\frac{T_1 T_c}{A_R A_S}\right)} \qquad (6.27)$$

นำสมการ (6.25) มาพิจารณาโดยแทน T_c ด้วย β จะได้สมการใหม่คือ

$$\frac{X(s)}{W(s)} = \frac{1 + s4\beta}{1 + s4\beta + s^2 8\beta^2 + s^3 8\beta^3} \qquad (6.28)$$

เมื่อเปรียบเทียบสมการ (6.27) และ (6.28) จะได้ความสัมพันธ์คือ

$$4\beta = T_n\left(1 + \frac{1}{A_R A_S}\right) \qquad (6.29)$$

$$8\beta^2 = T_n\left(\frac{T_1 + T_c}{A_R A_S}\right) \qquad (6.30)$$

$$8\beta^3 = T_n\left(\frac{T_1 T_c}{A_R A_S}\right) \qquad (6.31)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการ (6.29) สามารถเขียนใหม่ได้เป็น

$$\beta = \frac{T_n}{4}\left(1 + \frac{1}{A_R A_S}\right) \qquad (6.32)$$

นำสมการ (6.30) หารด้วยสมการ (6.29)

$$\beta = \frac{1}{2}\frac{T_1 + T_e}{1 + A_R A_S} \qquad (6.33)$$

นำสมการ (6.31) หารด้วยสมการ (6.30)

$$\beta = \frac{T_1 T_e}{T_1 + T_e} \qquad (6.34)$$

ดังนั้นจากสมการ(6.35),(6.36)และ(6.34)จะได้ค่า A_R และ T_n ของวงจรควบคุมคือ

$$A_R = \frac{T_1}{2A_S T_e}\left(1 + \frac{T_e^2}{T_1^2}\right) \qquad (6.35)$$

$$T_n = \frac{4T_e\left(1 + \frac{T_e^2}{T_1^2}\right)}{(1 + T_e/(T_1)^3} \qquad (6.36)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และเมื่อนำสมการ(6.35)และ(6.36)ลงใน(6.27)สมการจะได้สมการใหม่คือ

$$F_w = \frac{1 + s4T_e\left(\frac{1 + T_e^2/T_1^2}{(1 + T_e/T_1)^2}\right)}{1 + s\left(\frac{4T_e}{1 + T_e/T_1}\right) + s^2\left(\frac{8T_e^2}{(1 + T_e/T_1)^2}\right) + s^3\left(\frac{8T_e^3}{(1 + T_e/T_1)^3}\right)} \qquad (6.37)$$

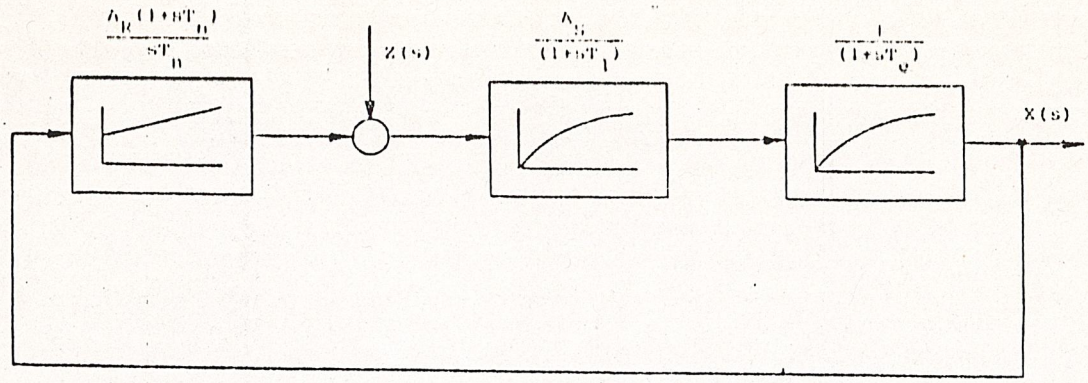
ถ้า $T_e << T_1$ จะได้สมการ(6.35),(6.36)และ(6.37)ใหม่คือ

$$A_R = \frac{T_1}{2A_S T_e} \qquad (6.38)$$

เมื่อพิจารณาสมการ(6.40)จะมีลักษณะเป็นเช่นเดียวกับสมการ(6.25) ดังนั้นในระบบนี้ถ้าค่า $T_e << T_1$ เป็นจริงแล้วการตอบสนองต่อระบบเมื่อได้รับคำสั่งในทันทีทันใดก็เป็นเช่นเดียวรูปที่ 6.5

เมื่อวงจรควบคุมของระบบในรูปที่ 6.4 และรูปที่ 6.6 มีตัวแปรตามสมการที่(6.23),(6.24)หรือ(6.38),(6.39)จะทำให้ระบบทั้งสองทำงานได้ดีที่สุด นอกจากพิจารณาคุณสมบัติของระบบเมื่อได้รับคำสั่งแล้ว จำเป็นต้องพิจารณาเมื่อระบบควบคุมได้รับโหลดด้วย ดังนั้นต่อไปจะอธิบายถึงผลที่จะเกิดขึ้นเมื่อระบบควบคุมถูกปรับแต่งให้ทำงานดีที่สุด แล้วได้รับโหลดทันทีทันใด จะมีผลทำให้ตัวแปรนี้เปลี่ยนไปอย่างไร พิจารณาจากระบบควบคุมในรูปที่ 6.6 เมื่อพิจารณาเฉพาะผลของโหลดจะแสดงในรูปที่ 6.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

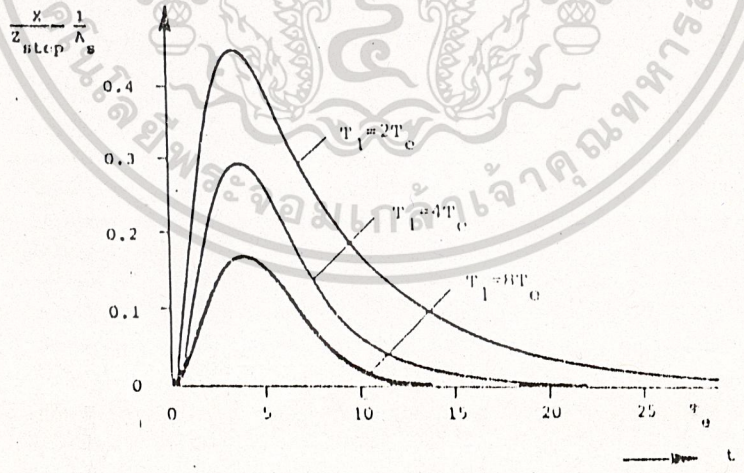


รูปที่ 6.7 แสดงระบบควบคุมในรูปที่ 6.6 เมื่อพิจารณาเฉพาะผลจากโลด

ทรานเฟอร์ฟังก์ชันระหว่างตัวแปรที่ต้องการกับโหลดของระบบควบคุม เมื่อระบบควบคุมถูกปรับให้ทำงานดีที่สุดคือ

$$\frac{X(s)}{Z(s)} = \frac{A_S}{1 + s2T_e} \cdot \frac{4T_e}{T_1} \cdot \frac{s2T_e}{1 + s2T_e + s^2 4T_e^2} \qquad (6.41)$$

ซึ่งรูปที่ 6.8 จะแสดงผลการตอบสนองของสมการ (6.41) เมื่อระบบควบคุมได้รับโหลดในทันทีทันใดในรูปนี้จะแสดงในกรณีที่ $T_1 = 8T_e$, $T_1 = 4T_e$ และ $T_1 = 2T_e$



รูปที่ 6.8 แสดงการตอบสนองของระบบควบคุมในรูปที่ 6.7 ซึ่งได้รับโลดในทันทีทันใดเมื่อความสัมพันธ์ระหว่าง T_1 และ T_e ต่าง ๆ กัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

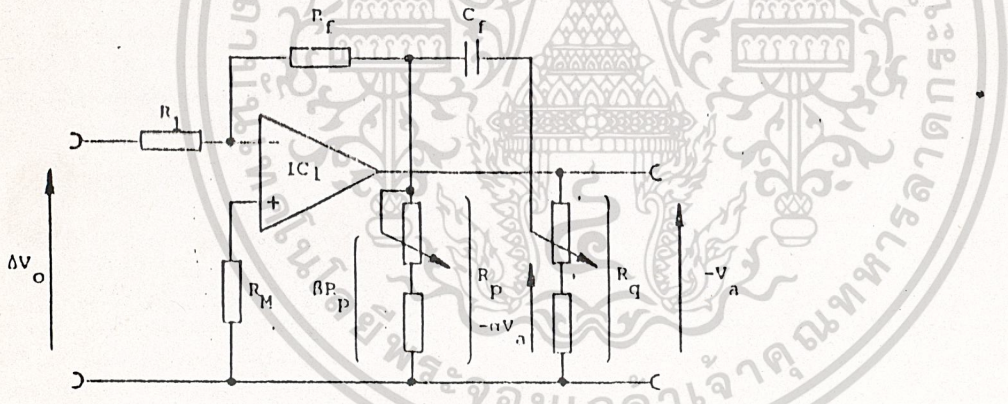
หัวข้อนี้ได้อธิบายถึงวิธีการหาค่าตัวแปรของวงจรควบคุมซึ่งทำให้ระบบควบคุมทำงานได้ดีที่สุด นอกจากนี้ได้แสดงคุณสมบัติการตอบสนองต่อคำสั่งและโหลดของระบบควบคุมนี้ ดังนั้นในหัวข้อต่อไปจะอธิบายถึงรายละเอียดของวงจรควบคุม

6.4 วงจรควบคุม

ในวงจรนี้จะประกอบด้วยลูปควบคุมสองลูป ซึ่งทั้งสองลูปใช้วงจรควบคุมชนิด PI ซึ่งมีทรานเฟอร์ฟังก์ชันคือ

$$\frac{\Delta V_o(s)}{-V_a(s)} = A_R \frac{1 + sT_n}{sT_n} \qquad (6.42)$$

วงจรควบคุมชนิด PI ที่ใช้แสดงในรูปที่ 6.8 และสามารถแสดงเลือดไดอาแกรมได้ดังในรูปที่ 6.10



รูปที่ 6.9 แสดงวงจรควบคุมชนิด PI

จากวงจรในรูปที่ 6.9 จะได้ค่าตัวแปรที่ต้องการในสมการ 6.42 คือ

$$A_{R\alpha} = \frac{R_f}{R_1}\frac{1}{\alpha} \qquad (6.43)$$

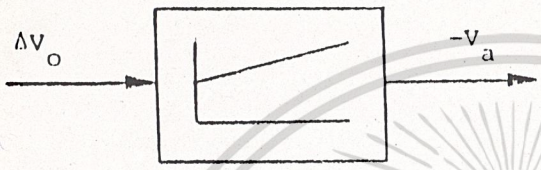
$$T_{n\beta} = \frac{R_f \beta R_p}{R_f + \beta R_p} C_f \qquad (6.44)$$

สมการ (6,43),(6.44) จะเป็นจริงได้ก็ต่อเมื่อเงื่อนไขต่อไปนี้เป็นจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{R_q}{R_f} \leq 0.1 \qquad (6.45)$$

$$\frac{R_q}{R_p} \leq 1 \qquad (6.46)$$

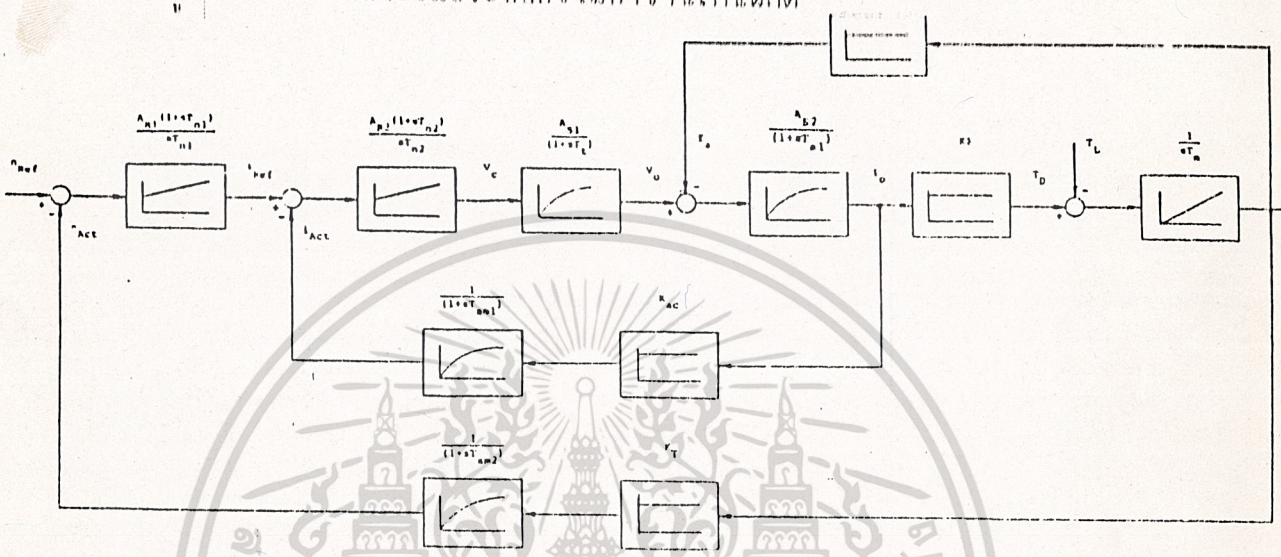


รูปที่ 6.10 แสดงบล็อคไดอาแกรมของวงจรควบคุมชนิด PI

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.6 บล็อคไดอะแกรมของระบบควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

จากรายละเอียดของระบบควบคุมดังได้อธิบายไปแล้ว รูปที่ 6.15 จะแสดงบล็อคไดอะแกรมทั้งหมดของระบบนี้ ซึ่งในรูปนี้จะไม่แสดงวงจรจำกัดปริมาณลงไปด้วย ทั้งนี้เพราะในรูปนี้จะแสดงเฉพาะเมื่อระบบยังไม่ทำงานเกินพิกัด



รูปที่ 6.15 แสดงบล็อคไดอาแกรมของระบบควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

6.7 บทสรุป

ในบทนี้ได้อธิบายถึงคุณสมบัติต่างๆ ของระบบควบคุมเมื่อมีวงจรควบคุมชนิด PI เมื่อได้รับการเปลี่ยนแปลงคำสั่งและโหลด การออกแบบวงจรควบคุมซึ่งทำให้ระบบทำงานดีที่สุด และอธิบายถึงรายละเอียดวงจรควบคุมชนิด PI นอกจากนี้ยังได้แสดงวงจรจำกัดปริมาณซึ่งใช้ป้องกันมิให้กระแสไฟฟ้าไหลเข้าวงจรอาร์เมเจอร์ความเร็วรอบมอเตอร์เกินพิกัดและในตอนท้ายได้แสดงบล็อคไดอะแกรมรวมของระบบ ซึ่งในบทต่อไปจะอธิบายถึงการออกแบบวงจรควบคุมของระบบควบคุมแต่ละลูปและผลการทดลองเหล่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7

การทดลอง ผลการทดลอง

7.1 บทนำ

ในบทนี้จะแสดงผลการทดลองของระบบแต่ละระบบ ซึ่งในการทดลองเราจะทดลองทีละระบบ เพื่อทดสอบดูว่าในแต่ละระบบจะทำงานได้ดีที่สุดตามที่คำนวนไว้หรือไม่

7.2 รายละเอียดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงและเยนเนอร์เรเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่ใช้ในการทดลอง

มอเตอร์ที่ใช้ในการทดลองมีรายละเอียดดังนี้คือ

ความเร็วรอบสูงสุด	2000 rpm
ศักดาไฟฟ้าสูงสุดที่วงจรอาร์มาเจอร์	220 v
ศักดาไฟฟ้าสูงสุดที่วงจรสร้างสนามแม่เหล็ก	220 v
ขนาดกำลังมอเตอร์	0.37 kw
กระแสไฟฟ้าตรงที่เข้าวงจรอาร์มาเจอร์สูงสุด	2.4 A

ในการทดลองนี้ใช้เยนเนอร์เรเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงเป็นโหลดของมอเตอร์ ซึ่งเยนเนอร์เรเตอร์มีรายละเอียดดังนี้คือ

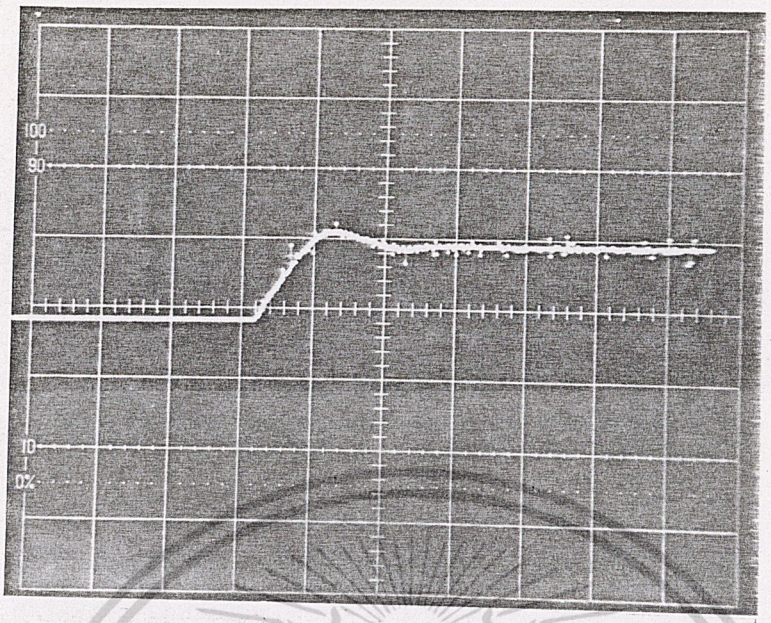
ความเร็วรอบสูงสุด	2000 rpm
ศักดาไฟฟ้าสูงสุดที่วงจรอาร์มาเจอร์	220 v
ศักดาไฟฟ้าสูงสุดที่วงจรสร้างสนามแม่เหล็ก	220 v
ขนาดกำลังของเยนเนอร์เรเตอร์	0.37 kw
ขนาดกระแสที่ได้สูงสุด	2.4 A

7.3 การทดลองและผลการทดลอง

7.3.1 การทดลองระบบควบคุมกระแสไฟฟ้า

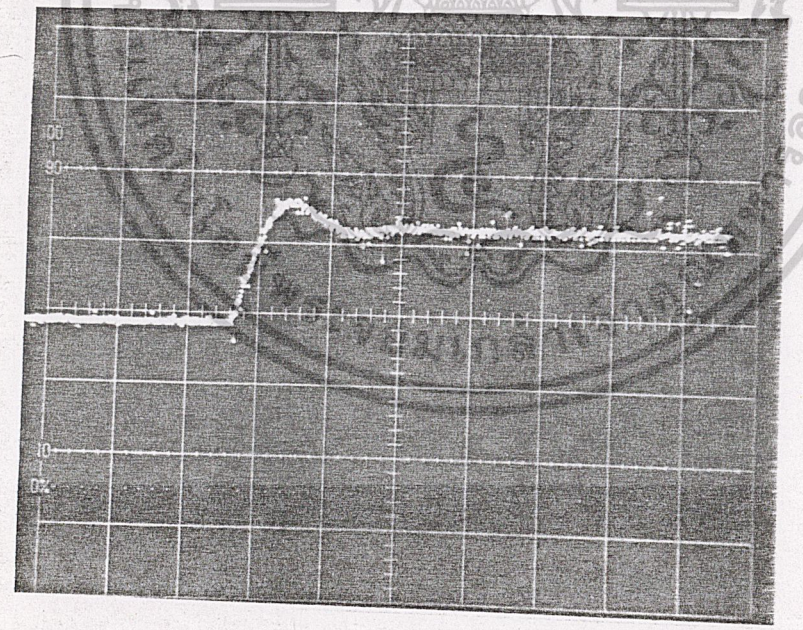
การทดลองระบบควบคุมกระแสไฟฟ้านี้ จะทดลองดูผลการตอบสนองของระบบต่อการได้รับคำสั่งในทันทีทันใด ซึ่งในการทดลองลักษณะเช่นนี้จะไม่พิจารณาผลของโหลด ดังนั้นในการทดลองนี้จะล๊อคโรเตอร์ของมอเตอร์ให้หยุดนิ่ง แล้วจึงทำการทดลองโดยให้คำสั่งในทันทีทันใด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) 1.0A แกนตั้ง 0.5A/DIV

0.5A แกนนอน 1.0S/DIV



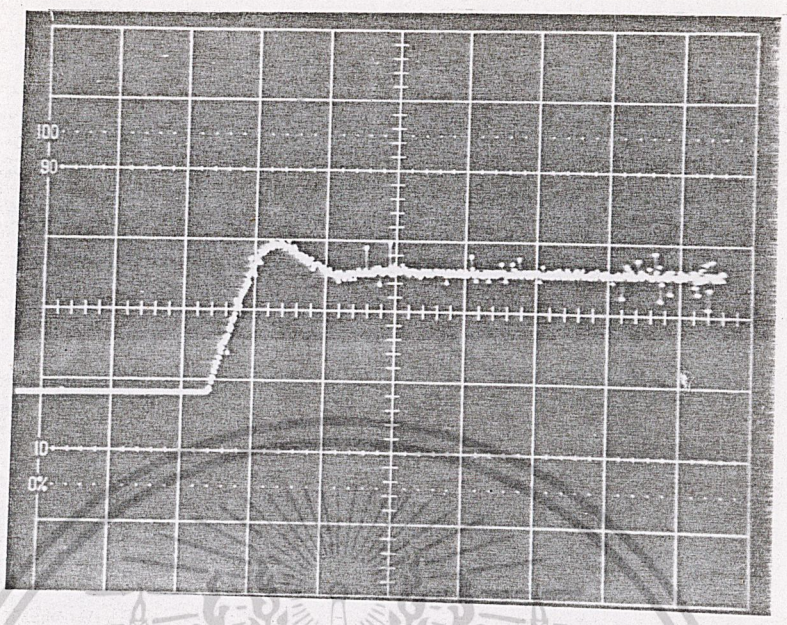
2.0A แกนตั้ง 1.0A/DIV

(ข) 1.0A แกนนอน 0.5S/DIV

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4A แกนตั้ง 0.2A/DIV

2.0A แกนนอน 0.5S/DIV



(ค)

รูปที่ 7.1 แสดงผลการตอบสนองของระบบควบคุมกระแสไฟฟ้าตรงไหลเข้าวงจรอาร์มาเจอร์เมื่อได้รับคำสั่งในทันทีทันใดและโรเตอร์ของมอเตอร์ถูกล๊อคไว้ (ก) เมื่อได้รับคำสั่งเพิ่มกระแสไฟฟ้าจาก 0.5 A ไปยัง 1.0 A (ข) เมื่อได้รับคำสั่งเพิ่มกระแสไฟฟ้าจาก 1.0 A ไปยัง 2.0 A (ค) เมื่อได้รับคำสั่งเพิ่มกระแสไฟฟ้าจาก 2.0 A ไปยัง 2.4 A

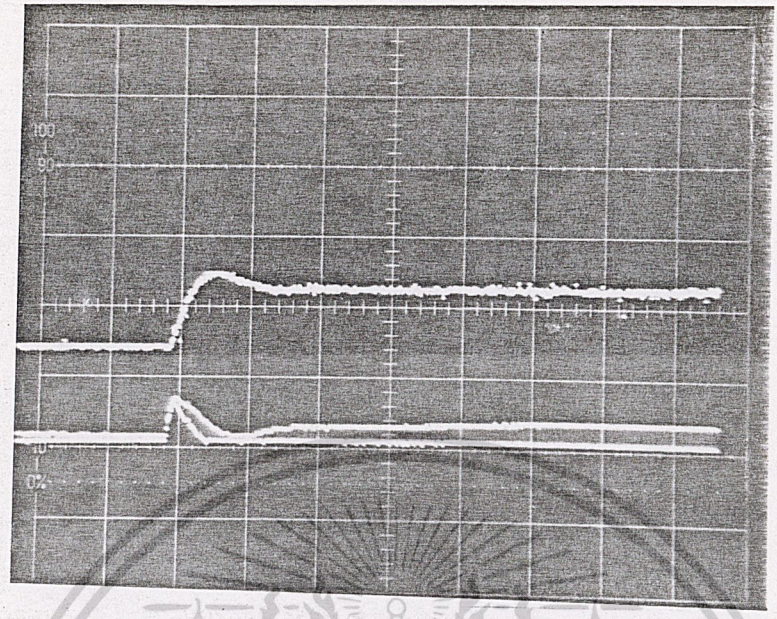
7.3.2 <u>การทดลองระบบควบคุมความเร็ว</u>

(1) การทดลองนี้จะทำการทดลองเมื่อมอเตอร์ไม่มีโหลด และระบบได้รับคำสั่งให้เพิ่มความเร็วรอบของมอเตอร์อย่างทันทีทันใด โดยที่

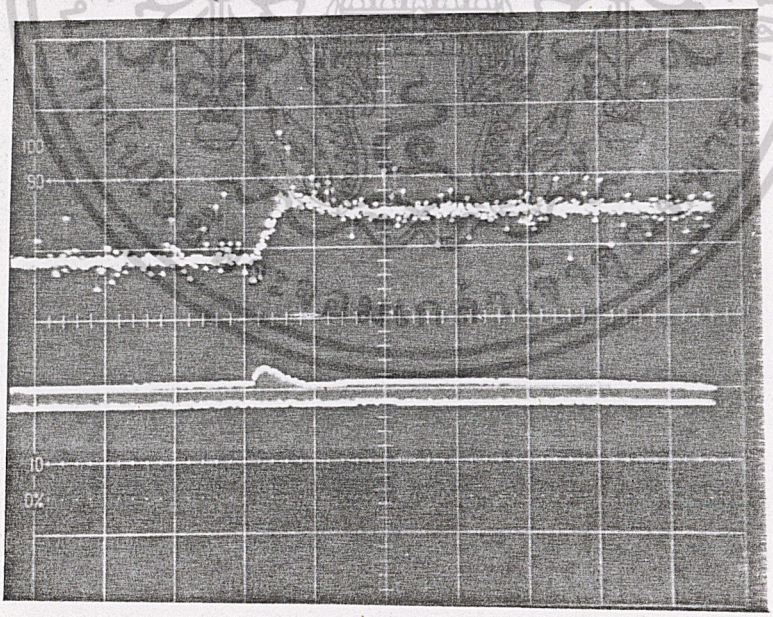
(ก) ระบบได้รับคำสั่งให้เพิ่มความเร็วของมอเตอร์จาก 500 รอบต่อนาทีไปยัง 800 รอบต่อนาที

(ข) ระบบได้รับคำสั่งให้เพิ่มความเร็วของมอเตอร์จาก 800 รอบต่อนาทีไปยัง 1,000 รอบต่อนาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) 800rpm แกนตั้ง 0.5A/DIV
500rpm แกนนอน 0.5S/DIV



(ข) 1000rpm แกนตั้ง 0.5A/DIV
รูปที่ 7.2 800 rpm แกนนอน 0.5S/DIV

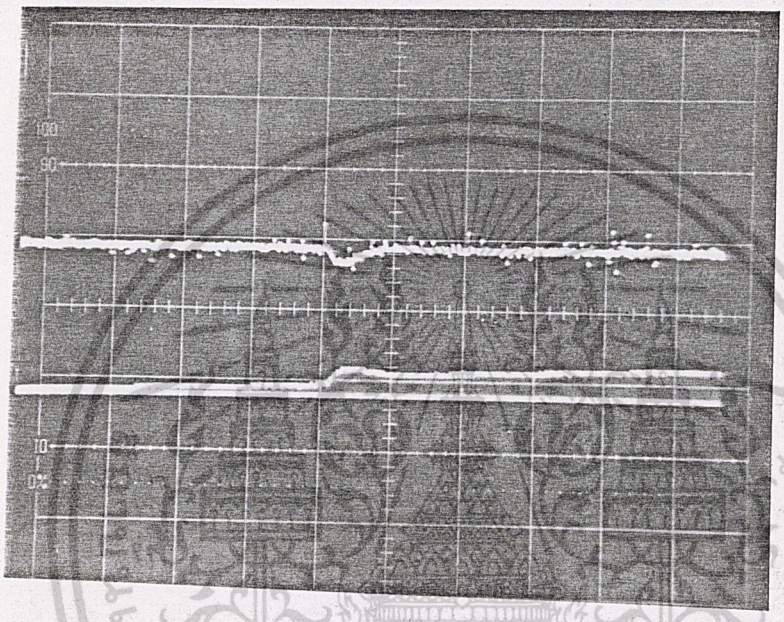
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(2) การทดลองเมื่อระบบควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ได้รับโหลดในทันทีทันใด ขณะที่มอเตอร์หมุนด้วยความเร็วรอบ 1,000 รอบต่อนาที โดยที่

(ก) เมื่อมอเตอร์ได้รับโหลดทันทีทันใด 31.25% ของพิกัดโหลด

(ข) เมื่อมอเตอร์ได้รับโหลดทันทีทันใด 62.25% ของพิกัดโหลด

(ค) เมื่อมอเตอร์ได้รับโหลดทันทีทันใด 100 % ของพิกัดโหลด



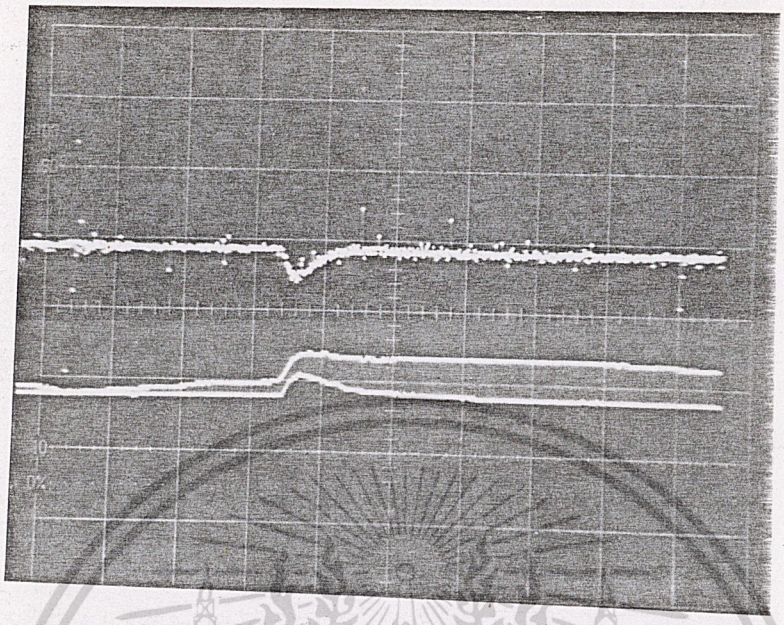
(ก)

31.25% แกนตั้ง 0.5A/DIV

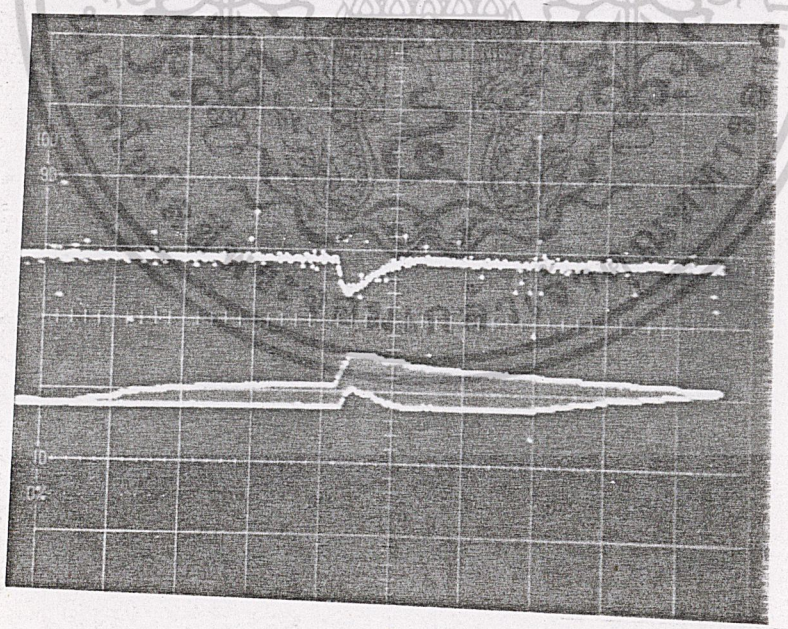
0% แกนนอน 0.5S/DIV

1000rpm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



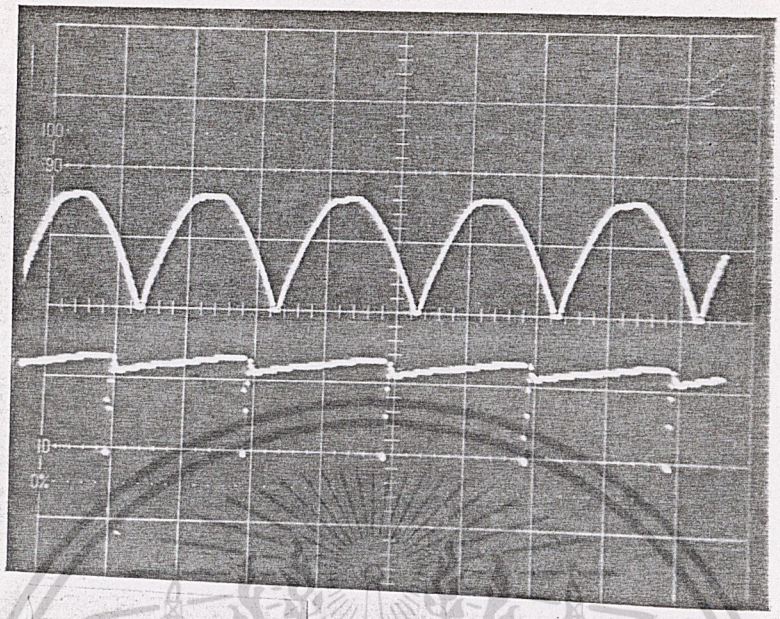
(ข) 62.50% แกนตั้ง 0.5A/DIV
0% แกนนอน 0.5S/DIV



(ค) 100% แกนตั้ง 0.5A/DIV
0% แกนนอน 0.5S/DIV

รูปที่ 7.3

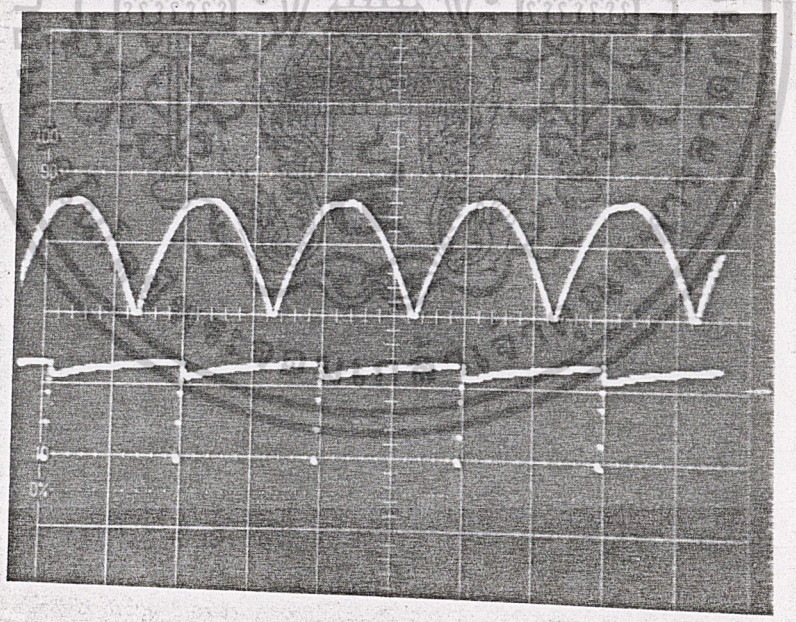
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



แกนตั้ง 10V/DIV
แกนนอน 5mS/DIV

(ก)

แกนตั้ง 10V/DIV
แกนนอน 5mS/DIV



(ข)

รูปที่ 7.4 แสดงสัญญาณทริก (ก) ขณะที่มอเตอร์ไม่มีโหลด
(ข) ขณะที่มอเตอร์มีโหลด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 8

บทสรุป

ในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ได้แสดงการออกแบบ และการสร้างระบบควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดกระตุ้นแยก โดยใช้วงจรอิเล็คทรอนิคส์กำลังทำหน้าที่ขับมอเตอร์ และมีระบบควบคุมสองระบบทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของระบบซึ่งทั้งสองระบบประกอบด้วย ระบบควบคุมกระแสไฟฟ้าตรงไหลเข้าวงจรอาร์มาเจอร์เป็นระบบควบคุมภายใน และระบบควบคุมความเร็วรอบเป็นระบบควบคุมภายนอก วงจรควบคุมออกแบบโดยใช้วงจรควบคุมอนาลอกชนิด PI ซึ่งมีคุณสมบัติทำให้ค่าความผิดพลาดเป็นศูนย์ จากผลการทดลองระบบที่สร้างขึ้นสามารถสังเกตได้ว่า ถึงแม้ผลการทดลองมีข้อแตกต่างจากการคำนวนบ้างแต่ก็ไม่มากนัก ทั้งนี้เพราะว่าในการคำนวนบางจุดจะใช้วิธีการคำนวนโดยการประมาณ แต่ถึงอย่างไรก็ดีเมื่อพิจารณาความต้องการหลักของระบบนี้คือ ระบบจะต้องสามารถรักษาความเร็วรอบที่ต้องการได้ ถึงแม้ว่าโหลดของระบบจะเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งผลจากการทดลองเพิ่มโหลดให้ระบบในทันทีทันใด 31.25% , 62.25% , และ 100% ของพิกัดโหลด ระบบก็ยังคงสามารถรักษาความเร็วรอบที่ต้องการได้ในเวลาอันรวดเร็ว สามารถสรุปผลได้ว่าการทำงานของระบบนี้เป็นที่น่าพอใจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Part List

Resistance(ohms W)			Capacitance(F V)			Diode	
R_1	33	2	C_1	0.1μ	630	D_1	1N 4148
R_2	33	2	C_2	0.1μ	630	D_2	LED
R_3	2.2k	1/4	C_3	22μ	25	D_3	88C10
R_4	1.0k	1/4	C_4	0.1μ	63	D_4	LED
R_5	5.6k	1/4	C_5	22μ	25	D_5	1N 4148
R_6	820k	1/4	C_6	0.1μ	63	D_6	88C7V5
R_7	560k	1/4	C_7	3.3μ	25	D_7	1N 4148
R_8	270	1/4	C_8	47μ	25	D_8	1N 4148
R_9	33	1/4	C_9	0.1μ	63	D_9	1N 4148
R_{10}	560	1/4	C_{10}	22μ	63	D_{10}	1N 4148
R_{11}	68k	1/4	C_{11}	0.022μ	630	D_{11}	1N 4148
R_{12}	68k	1/4	C_{12}	0.33μ	63	D_{12}	1N 4148
R_{13}			C_{13}	4.7μ	63	D_{13}	1N 4148
R_{14}	22k	1/4	C_{14}	0.68μ	50	D_{14}	1N 4148
R_{15}	18k	1/4	C_{15}	0.01μ	100	D_{15}	1N 4148
R_{16}	820k	1/4	C_{16}	0.1μ	63	D_{16}	1N 4148
R_{17}	3.3k	1/4	C_{17}	0.22μ	63	D_{17}	1N 4148
R_{18}	1k	1/4	C_{18}	0.1μ	63	D_{18}	1N 4148
R_{19}	1k	1/4	C_{19}	47μ	25	D_{19}	BY 255
R_{20}	27k	1/4	C_{20}	330μ	50	D_{20}	BY 255
R_{21}	33k	1/4	C_{21}	K1K	103	D_{21}	BY 255
R_{22}	33k	1/4	C_{22}	K1K	103	D_{22}	BY 255
R_{23}	10k	1/4	C_{23}	4.7n	-	D_{23}	BZX61C12
R_{24}	22k	1/4	C_{24}	10μ	63	D_{24}	BZX61C12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

R_{25}	10k	1/4	C_{25}	4.7n	-	D_{25}	IN 4148
R_{26}	1M	1/2	C_{26}	1µ	50	D_{26}	IN 4148
R_{27}	10k	1/4	C_{27}	100n	-	D_{27}	IN 4148

R_{28}	82k	1/4		D_{28}	BZY88C6V8
R_{29}	55k	1/4	Transistor	IC	
R_{30}	1k	1/4	TR1 BD 437	IC1	LM348
R_{31}	10k	1/4	TR2 9013	IC2	LM348
R_{32}	22k	1/4	TR3 9013	VDR	
R_{33}	10k	1/4	TR4 9013	VDR1	Z21L 821
R_{34}	12k	1/4	BR REC	VDR2	S20K 460
R_{35}	1.2k	1/4	REC1 SKB 1.2/04		
R_{36}	10k	1/4	REC2 SKB 1.2/04		
R_{37}	470	1/2			
R_{38}	560k	1			
R_{39}	820k	1/2			
R_{40}	820k	1/2			
R_{41}	33k	1/4			
R_{42}	33k	1/4			
R_{43}	33k	1/4			
R_{44}	33k	1/4			
R_{45}	10k	1/4			
R_{46}	22k	1/4			
R_{47}	82k	1/4			
R_{48}	10k	1/4			
R_{49}	10k	1/4			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

R_{50} 820 1/4

R_{51} 2.2k 1/4.

R_{52} 4.7k 1/4

R_{53} 82k 1/4

R_{54} 150k 1/4

R_{55} 1.5k 1/4

R_{56} 150 2

R_{57} 150 2

R_{58} 10k 1/4

R_{59} 220k 1/2

R_{60} 47 1/2

R_{61} 60 1/2

R_{62} 100 1/2

R_{63} –

R_{64} 4.7k 1/4

R_{65} 2.2k 1/4

R_{66} 2.2k 1/4

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ อาจารย์ วรศักดิ์ จิตรภักดี เป็นอย่างยิ่ง ที่ท่านได้ประสิทธิประสาทวิชาความรู้แก่ผู้เขียน ตลอดจนให้คำแนะนำและช่วยแก้ปัญหาต่างๆ มาโดยตลอดจนปริญญานิพนธ์นี้สำเร็จลงได้ ขอขอบคุณ พี่อ่าว, พี่อ้อง, พี่ก้อย ที่ให้คำแนะนำบางเรื่อง ขอบคุณอาจารย์นนทวัฒน์ จุลเดชะ ที่เอื้อเฟื้อเอกสารอ้างอิง ขอขอบคุณเพื่อนๆ ที่คอยให้กำลังใจ, ช่วยเก็บรูป, ช่วยซื้ออาหารและขนมมาให้ ขอขอบใจน้องรุ่น 29 ที่คอยเช่าการ์ตูนมาให้อ่านคลายเครียด ขอขอบคุณห้อง B-426 ที่ให้ที่สิงสถิตย์ เหนืออื่นใด ขอขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ ที่ให้ทุนในการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] P.C. Sen, "THYRISTOR DC DRIVES", John Wiley &Sons, Inc., 198

[2] S.B. Dewan and A. Stranughen, "POWER SEMICONDUCTOR CIRCIUTS" John Wiley & Sons, Inc., 1975.

[3] Cyril W. Lander, "POWER ELECTRONICS", McGRAW-HILL Book Company(UK) LTD, 1981.

[4] R.K. Sugandhi and K.K. Sugandhi, "THYRISTORS THEORY AND APPLICTAIONS", Wiley Eastren LTD, 1981.

[5] Frieddrich Frohr and Fritz Orttenburger, "INTRODUCTION TO ELECTRONICS CONTROL ENGINEERING", Siemens Aktiengesellschal Heyden & Son LTD, 1982.

[6] Equipment of Research Labolatories and Training Center. E48, Seimens Aktiengesellschaft, 1987.

[7] David F. Stout and Milton Kanfman, "HANDBOOK OF OPERATIONAL AMPLIFIER CIRCIUT DESIGN",McGRAW-HILL Book Company, 1976.

[8 John J. D'Azzo and constantine H. Houpis, "LINEAR CONTROL SYSTEM ANALYSIS AND DESIGN COVENTION AND MODERN", McGRAW-HIL INC, 1975.

[9] Gunnar Kronborg,"INDUSTRIAL D.C. MOTOR DRIVE", ASEA JOURNAL 1975, Vol 48, No 5.

[10] David Finney, "THE POWER THYRISTOR AND ITS APPLICATION", McGRAW-HILL Book Company(UK) LTD, 1980.

[11] T. Krishan and B.Ramaswami,"SPEED CONTROL OF D.C. MOTOR USIN THYRISTOR DUAL CONVERTER", IEEE Trans. Ind. Elec. and Cont. Inst., Vol. IECT-23, No 4, 1976.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้