

แขนกล
ROBOT ARM

โดย

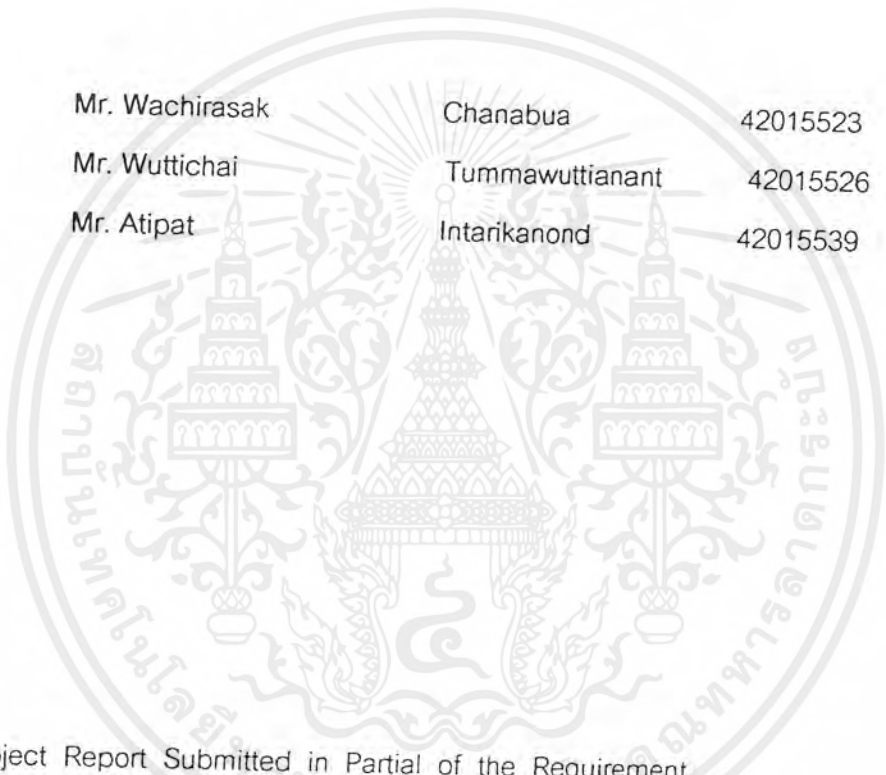
นายวชิระศักดิ์ ชนะบัว	42015523
นายวุฒิชัย ธรรมวุฒิอนันต์	42015526
นายอธิปัตย์ อินทริกานนท์	42015539

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์ ภาควิชาเทคนิคอุตสาหกรรม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2544

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ROBOT ARM

Mr. Wachirasak	Chanabua	42015523
Mr. Wuttichai	Tummawuttianant	42015526
Mr. Atipat	Intarikanond	42015539

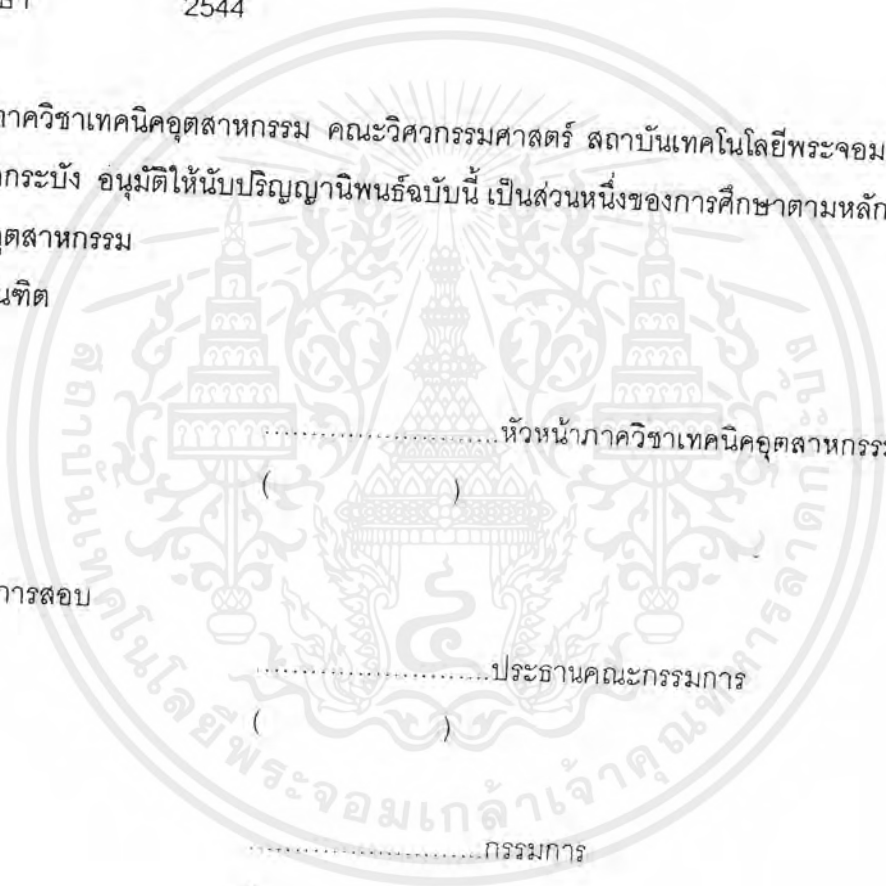


Project Report Submitted in Partial of the Requirement
For the Bachelor 's Degree
Department of Industrial Technology
Faculty of Engineering
King Mongkut 's Institute of Technology Ladkabang
2001

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญาบัตร	แขนง	
ชื่อนักศึกษา	นายวชิระศักดิ์ ชนะบัว	42015523
	นายวุฒิชัย	ธรรมวุฒิอนันต์ 42015526
	นายอธิปัตย์	อินทริگانนท์ 42015539
อาจารย์ที่ปรึกษา	อ. บุญยชนะ	ภูระหงษ์
ภาควิชา	เทคนิคอุตสาหกรรม	
ปีการศึกษา	2544	

ภาควิชาเทคนิคอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้รับปริญญาบัตรฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาอุตสาหกรรมศาสตร์บัณฑิต



.....หัวหน้าภาควิชาเทคนิคอุตสาหกรรม
 ()

คณะกรรมการสอบ
ประธานคณะกรรมการ
 ()

.....กรรมการ
 ()

.....กรรมการ
 ()

.....กรรมการ
 ()

ลิขสิทธิ์ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Project Report

Robot Arm

By

Mr. Wachirasak Chanabua 42015523

Mr. Wuttichai Tummawuttianant 42015526

Mr. Atipat Intarikanond 42015539

Project Report Advisor

Mr. Boonchana Purahong

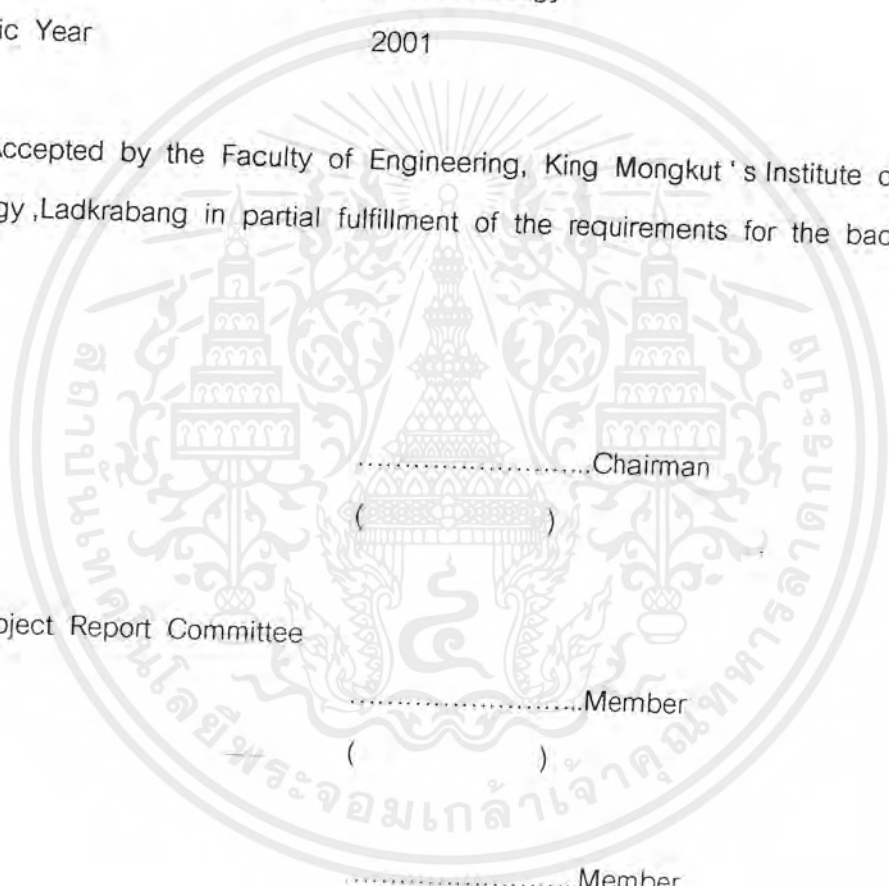
Department

Industrial TechnoLogy

Academic Year

2001

Accepted by the Faculty of Engineering, King Mongkut 's Institute of technology ,Ladkrabang in partial fulfillment of the requirements for the bachelor 's degree



.....Chairman

()

Project Report Committee

.....Member

()

.....Member

()

.....Member

()

.....Member

()

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	แขนกล		
ชื่อนักศึกษา	นายวชิระศักดิ์	ชนะบัว	42015523
	นายวุฒิชัย	ธรรมวุฒินันต์	42015526
	นายอธิปัติย์	อินทริกานนท์	42015539
อาจารย์ที่ปรึกษา	อ. บุญยชนะ ภูระหงษ์		
ภาควิชา	เทคนิคอุตสาหกรรม		
ปีการศึกษา	2544		

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ได้อธิบายถึงหลักการทำงานของระบบแขนกล โดยใช้การควบคุมระบบแบบคอนโทรลตำแหน่งการเคลื่อนที่ ซึ่งสามารถควบคุมแขนกลได้อย่างมีประสิทธิภาพ ลักษณะของระบบแขนกลประกอบไปด้วย ภาคแหล่งจ่ายไฟ ระบบคอนโทรลตำแหน่ง และวงจรมอเตอร์ ผลการทดลองและประยุกต์ใช้งานแสดงให้เห็นว่าต้นแบบของแขนกลทำงานได้ดีด้วยวิธีการควบคุมที่ได้ออกแบบ

Project Report

Robot Arm

By

Mr. Wachirasak Chanabua 42015523

Mr. Wuttichai Tummawuttianant 42015526

Mr. Atipat Intarikanond 42015539

Project Report advisor

Mr. Boonchana Purahong

Department

Industrial TechnoLogy

Academic Year

2001

Abstract

This thesis describes design principles of the robot arm system. The robot arm are controlled by using position control system. The robot arm system composes of power sources, position control system and drivers.

The experimental results and the applications show that the prototype works effectively by merely using the proposed algorithms.

กิตติกรรมประกาศ

เนื่องจากแขนกลประกอบไปด้วย 2 ส่วน คือ ฮาร์ดแวร์ และซอฟต์แวร์ จึงจำเป็นต้องใช้ความรู้และการค้นคว้าอย่างมากซึ่งความซับซ้อนทางกลนั้นมีมากเป็นพิเศษ คณะผู้จัดทำมีความถนัดทางนี้น้อยมาก แต่หากได้รับความอนุเคราะห์ด้านคำปรึกษาที่แนะในแนวทางที่ถูกต้องของอาจารย์ผู้มีพระคุณ ซึ่งนอกจากจะได้รับการสั่งสอนถ่ายทอดความรู้แล้ว ยังได้รับความหวังใจต่อคณะผู้จัดทำชั้นที่ศิษย์และอาจารย์อีกด้วย

ฉะนั้นโอกาสอันเหมาะสมนี้ คณะผู้จัดทำขอได้กล่าวคำขอบพระคุณในความรู้ ความหวังใจ และปรารถนาดี ที่คณะผู้จัดทำได้รับจากท่าน อาจารย์บุญณัยชนะ ภูระหงษ์ และรุ่นพี่ที่ให้ความช่วยเหลือคณะผู้จัดทำมา ณ. ที่นี้ด้วยความสำนึกในพระคุณอย่างสูง ส่วนข้อผิดพลาดหรือแนวทางที่ผิดนั้นคณะผู้จัดทำขออ้อมรับไว้เพื่อแก้ไขต่อไปในอนาคต

และที่ขาดไม่ได้ขอขอบคุณ คุณพ่อ คุณแม่ คณะอาจารย์ และเพื่อนๆ ที่ให้ความช่วยเหลือทุกๆ ท่านมา ณ. ที่นี้ด้วย

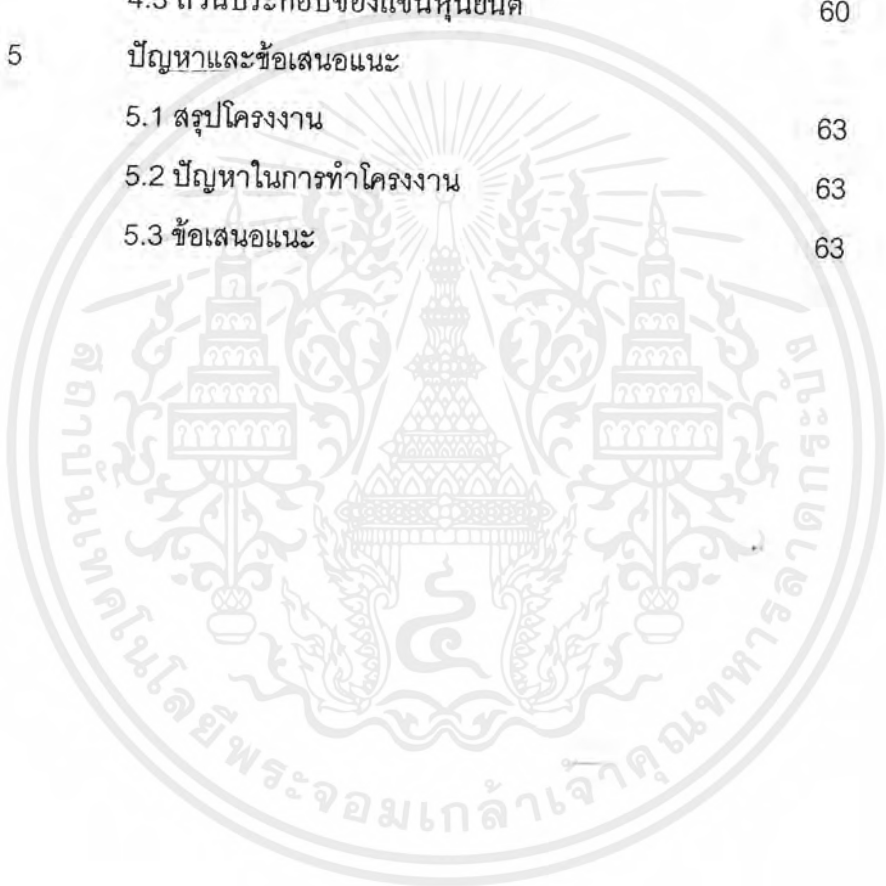
คณะผู้จัดทำ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
กิตติกรรมประกาศ	ข
สารบัญ	ค
สารบัญรูป	จ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 ชี้วัดความสามารถของโครงการ	1
1.3 เนื้อหาโดยสังเขป	1
บทที่ 2 ระบบคอนโทรลตำแหน่งการเคลื่อนที่	
2.1 การวิเคราะห์ระบบเซอร์โวที่ใช้งานในการคอนโทรลตำแหน่ง หมุนของเพลาดิซีมอเตอร์	4
2.2 คุณสมบัติไดนามิกของระบบเซอร์โวมอเตอร์	4
2.3 คุณสมบัติสถิตยศาสตร์ของระบบเซอร์โว	6
2.4 บล็อกไดอะแกรมและทรานเฟอร์ฟังก์ชันของระบบเซอร์โว	7
2.5 บล็อกไดอะแกรมของลูปคอนโทรลตำแหน่ง	8
2.6 บล็อกไดอะแกรมของลูปคอนโทรลความเร็วรอบ	15
2.7 บล็อกไดอะแกรมของลูปคอนโทรลทอร์ค	18
2.8 ระบบเซอร์โวที่สมบูรณ์	20
2.9 ระบบคอนโทรลตำแหน่งแบบไม่มีการป้อนกลับความเร็วรอบ ด้วยทาโคมิเตอร์	23
2.10 การชดเชยในระบบคอนโทรลตำแหน่ง	24
2.11 การทำงานของดิซีมอเตอร์	37
2.12 การแยกประเภทของดิซีมอเตอร์	37
บทที่ 3 การสร้างและการออกแบบ	
3.1 การคอนโทรลตำแหน่งหมุนของเพลาดิซีมอเตอร์	45
3.2 แนวคิดและการออกแบบ	47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

		หน้า
บทที่ 4	การทดลองและผลการทดลอง	
	4.1 ส่วนของนิ้วมือ	59
	4.2 ส่วนของอุปกรณ์ควบคุมมือและแขน	59
	4.3 ส่วนประกอบของแขนหุ่นยนต์	60
บทที่ 5	ปัญหาและข้อเสนอแนะ	
	5.1 สรุปโครงการ	63
	5.2 ปัญหาในการทำโครงการ	63
	5.3 ข้อเสนอแนะ	63



สารบัญรูป

หน้า

บทที่ 2		
รูปที่ 2.1	ไดอะแกรมวงจรของระบบเซอร์โวที่ใช้งานในการคอนโทรลตำแหน่งหมุนของเพลาดีซีมอเตอร์ และใช้เซอร์โวแอมพลิไฟเออร์เป็นแบบไบโพลาร์	5
รูปที่ 2.2	ผลตอบสนองของระบบเซอร์โวต่อการเปลี่ยนแปลงของสเตปอินพุท	6
รูปที่ 2.3	บล็อกไดอะแกรมของระบบเซอร์โวที่ทำให้ง่ายขึ้น	7
รูปที่ 2.4	บล็อกไดอะแกรมรูปการคอนโทรลตำแหน่งหมุน	8
รูปที่ 2.5	พื้ทต้ววัดตำแหน่ง	9
รูปที่ 2.6	วงจรของตัวคอนโทรลเลอร์	10
รูปที่ 2.7	วงจรมุมมูลย์ของดีซีเซอร์โว	12
รูปที่ 2.8	บล็อกไดอะแกรมแสดงทรานเฟอร์ฟังก์ชันแต่ละส่วนของลูปคอนโทรลตำแหน่งหมุน	14
รูปที่ 2.9	บล็อกไดอะแกรมของลูปคอนโทรลความเร็วรอบ	15
รูปที่ 2.10	วงจรรวัดความเร็วรอบ	16
รูปที่ 2.11	บล็อกไดอะแกรมของลูปคอนโทรลความเร็วรอบ	17
รูปที่ 2.12	บล็อกไดอะแกรมของลูปคอนโทรลทอร์ค	18
รูปที่ 2.13	บล็อกไดอะแกรมของลูปคอนโทรลทอร์ค	19
รูปที่ 2.14	บล็อกไดอะแกรมของระบบเซอร์โวที่ประกอบด้วยลูปการป้อนกลับของตำแหน่งลูปการป้อนกลับของความเร็วและลูปการป้อนกลับของกระแส	20
รูปที่ 2.15	บล็อกไดอะแกรมของระบบเซอร์โวเพื่อการคอนโทรลตำแหน่งหมุน	21
รูปที่ 2.16	ระบบการบังคับตำแหน่งที่ไม่มีการป้อนกลับด้วยทาโคมิเตอร์	23
รูปที่ 2.17	วงจรรวดเซยแบบป้อนกลับแบบต่าง ๆ	28
รูปที่ 2.18	(ก) ระบบที่ยังไม่ได้ชดเชย (ข) ระบบที่ชดเชยแล้ว	29
รูปที่ 2.19	แสดงถึงโศคพล็อทของระบบในรูป 2.18	29
รูปที่ 2.20	แสดงถึงทางเดินของรูทโวกัสของระบบในรูป 2.18	30
รูปที่ 2.21	บล็อกไดอะแกรม	31
รูปที่ 2.22	แสดงถึงรูทโวกัสของระบบการชดเชยแบบป้อนกลับ	33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	หน้า
รูปที่ 2.23 บล็อกไดอะแกรมแสดงถึงระบบการบังคับตำแหน่งแบบมีการ ป้อนกลับด้วยทาโคมิเตอร์	34
รูปที่ 2.24 ระบบการบังคับทำงานแบบมัลติโหมดเมื่อสวิตช์ปีดระบบจะทำงาน เป็นเสมือนระบบการบังคับตำแหน่ง เมื่อสวิตช์ S เปิดระบบจะทำงาน เป็นแบบการบังคับความเร็ว	36
รูปที่ 2.26 ดีซีมอเตอร์แบบอาร์มาเจอร์ต่ออนุกรมกับขดลวดสนามแม่เหล็ก	38
รูปที่ 2.27 คุณสมบัติระหว่างความเร็วและแรงบิดของดีซีมอเตอร์	38
รูปที่ 2.28 ดีซีมอเตอร์แบบแยกปรับสนามแม่เหล็กได้	39
รูปที่ 2.29 แสดงคุณสมบัติระหว่างความเร็วและแรงบิดของขั้วมอเตอร์ภายใต้ ภาวะอาร์มาเจอร์โวลต์เตจคงที่และสนามแม่เหล็กคงที่	39
รูปที่ 2.30 ดีซีมอเตอร์แบบฟิลด์เป็นแม่เหล็กถาวร	40
รูปที่ 2.31 แสดงรูปหน้าตัดของดีซีมอเตอร์แบบอาร์มาเจอร์เป็นแกนเหล็กถาวร ฟิลด์เป็นแม่เหล็ก	42
รูปที่ 2.32 แสดงรูปหน้าตัดของดีซีมอเตอร์แบบมีขดลวดบนพื้นผิวและฟิลด์เป็น แม่เหล็กถาวร	42
รูปที่ 2.33 หน้าตัดของดีซีมอเตอร์แบบมีโรเตอร์เป็นขดลวดเคลื่อนที่และฟิลด์เป็น แม่เหล็กถาวร	43
รูปที่ 2.34 แสดงถึงรูปหน้าตัดซึ่งมองด้านข้างดีซีมอเตอร์แบบมีโรเตอร์เป็นแบบ ขดลวดหมุน	43
รูปที่ 2.35 แสดงถึงดีซีมอเตอร์แบบโรเตอร์เป็นขดลวดหมุนมีรูปร่างเป็นจาน	44
บทที่ 3	
รูปที่ 3.1 วงจรที่ใช้ในการคอนโทรลตำแหน่งหมุนของเพลาดีซีมอเตอร์	46
รูปที่ 3.2 แนวคิดการออกแบบแขนกล	47
รูปที่ 3.3 แสดงการวางมอเตอร์โดยใช้หลักโมเมนตัม	48
รูปที่ 3.4 ตำแหน่งการวางมอเตอร์หัวไหล่	49
รูปที่ 3.5 แสดงการเชื่อมกันระหว่างส่วน B , C และ D มองจากด้านหน้า	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	หน้า
รูปที่ 3.6 แสดงการเชื่อมกันระหว่างส่วนB,CและDมองจากด้านข้าง	51
รูปที่ 3.7 การวางตำแหน่งมอเตอร์และเฟืองเพื่อหมุนแขนส่วนบน	52
รูปที่ 3.8 การวางตำแหน่งมอเตอร์และเฟืองเพื่อหมุนแขนส่วนบน(ด้านบน)	53
รูปที่ 3.9 ออกแบบการยกข้อศอก	54
รูปที่ 3.10 ชุดควบคุมที่แขนมองจากด้านบน	56
รูปที่ 3.11 ชุดควบคุมที่แขนมองจากด้านข้าง	56
รูปที่ 3.12 ชุดควบคุมที่แขนแบบสามมิติ	57
รูปที่ 3.13 แสดงลักษณะการหมุน (ด้านข้าง)	57
รูปที่ 3.14 แสดงลักษณะการหมุน (ด้านหน้า)	58
รูปที่ 3.15 ชุดควบคุมแขนกลมมองจากด้านหน้า	58
บทที่ 4	
รูปที่ 4.1 สภาพการทำงานทางด้านเอาต์พุทในแรงดันซีกบวก	61
รูปที่ 4.2 สภาพการทำงานทางด้านเอาต์พุทในแรงดันซีกลบ	62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในอดีตจนถึงปัจจุบันแขนงกลหรือแขนงหุ่นยนต์ก็เป็นเครื่องจักรอีกประเภทหนึ่ง ที่มีบทบาทมากในการผลิตหรือดำเนินกิจกรรมต่าง ๆ ซึ่งนิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในงานอุตสาหกรรมโดยทั่วไป ซึ่งประโยชน์หลักๆของแขนงกลคือจะใช้กับงานที่เป็นอันตรายต่อมนุษย์และงานที่ต้องการความแม่นยำ เช่น

1. งานที่ทำแล้วเกิดความอันตรายได้ง่าย เช่น งานใต้ดินหรืองานใต้ทะเลลึก
2. งานที่ใช้ความละเอียดค่อนข้างสูง
3. งานที่สิ่งแวดล้อมไม่อำนวยเช่น งานที่ทำในที่ๆมีอุณหภูมิสูงๆ
4. งานที่ทำเป็นระยะเวลานานๆ

1.2 ขีดความสามารถของโครงงาน

1. แขนงกลสามารถเคลื่อนไหวในลักษณะต่างๆ ตามความเคลื่อนไหวของชุดควบคุม
2. แขนงกลชุดนี้สามารถนำไปใช้กับงานต่างๆได้ เช่น ยกวัตถุที่น้ำหนักเบาๆได้
3. สามารถใช้แขนงกลชุดนี้ใช้แสดงสัญลักษณ์ของภาษามือได้
4. สามารถนำแขนงกลชุดนี้เพื่อใช้ศึกษาถึงระบบควบคุมได้

1.3 เนื้อหาโดยสังเขป

บทที่ 2 จะเป็นทฤษฎีและหลักการเกี่ยวกับที่สำคัญจะกล่าวถึงในเรื่องของ ระบบควบคุมตำแหน่งการเคลื่อนที่ ระบบดีซีเซอร์โวมอเตอร์

บทที่ 3 เป็นการออกแบบและการสร้าง กล่าวถึงการออกแบบการสร้างวงจรควบคุมตำแหน่งการเคลื่อนที่ วงจรขับมอเตอร์ วงจรภาคจ่ายไฟ วงจรที่ใช้เป็นตัวควบคุม และโครงสร้างของโครงงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง มีเนื้อหาเกี่ยวกับทดลองและระบบควบคุม
ตำแหน่งการเคลื่อนที่ของแขนกล

บทที่ 5 ปัญหาแนวทางการแก้ไขและพัฒนา กล่าวถึงข้อสรุปข้อบกพร่องต่างๆ ของชุด
แขนกล ปัญหาที่เกิดในการจัดสร้าง และกล่าวถึงแนวทางในการปรับปรุง การแก้ไขและการ
พัฒนาชุดแขนกล



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ระบบคอนโทรลตำแหน่งการเคลื่อนที่

ระบบคอนโทรลการเคลื่อนที่ส่วนมากมักต้องการหมุนโหลดให้ไปหยุดในตำแหน่งที่กำหนดและยึดตำแหน่งนั้นไว้จนกว่าจะได้รับคำสั่งคอนโทรลการหมุนอันใหม่ การเคลื่อนที่อีกแบบหนึ่งของระบบนี้คือในบางครั้งการให้โหลดเคลื่อนที่ไปตามระยะตำแหน่งที่กำหนดให้ ข้อกำหนดการเคลื่อนที่ทั้งสองแบบดังกล่าวสามารถทำได้โดยอาศัยระบบคอนโทรลตำแหน่ง

ระบบการคอนโทรลตำแหน่ง ตำแหน่งเชิงมุมของมอเตอร์ที่ต่ออยู่กับโหลดจะสอดคล้องกับอินพุท เมื่อสัญญาณคอนโทรลคงที่เพลาของมอเตอร์จะล็อกกับตำแหน่งที่ต้องการเมื่อสัญญาณคอนโทรลแปรไปอย่างต่อเนื่องตำแหน่งของมอเตอร์ก็จะเคลื่อนตามการคอนโทรลตรงเท่าที่การแปรไปของสัญญาณคอนโทรลอยู่ในแบนด์วิธของลูป

ตัวเซ็นเซอร์ตำแหน่งอาจเป็นพวกที่ให้สัญญาณเอาต์พุทที่ต่อเนื่อง เช่น โปเทนทิโอมิเตอร์ ซึ่งระบบการคอนโทรลแบบนี้จะเป็นไปอย่างต่อเนื่องหรือเป็นระบบคอนโทรลแบบอนาลอก ระบบการคอนโทรลตำแหน่งแบบอนาลอกมีความละเอียดในการคอนโทรลตำแหน่งได้ดีเยี่ยมซึ่งเป็นคุณสมบัติที่เหมาะสมในการคอนโทรลตำแหน่ง อย่างไรก็ตาม สัญญาณของตำแหน่งที่เปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่องจะถูกจำกัดให้อยู่ในช่วงตำแหน่งช่วงหนึ่งเท่านั้น และการลิมิตนี้จะเป็นตัวจำกัดการเคลื่อนที่

ตัวเซ็นเซอร์ตำแหน่งแบบอื่นได้แก่เซ็นเซอร์แบบดิจิตอลคือ พวงเอ็นโคเดอร์สำหรับตำแหน่งของเพลา พวงเอ็นโคเดอร์แบบนี้มีช่วงการทำงานของตำแหน่งว่ามีขีดจำกัด อย่างไรก็ตามเซ็นเซอร์พวกนี้มีข้อเสียในเรื่องของความละเอียดของการคอนโทรลตำแหน่งอยู่ในค่าที่กำหนดคนนอกจากนั้นสัญญาณของตำแหน่งจะอยู่ในลักษณะของสัญญาณดิจิตอลซึ่งสัญญาณนี้จะต้องป้อนเข้า D-A คอนเวอร์เตอร์ ก่อนเพื่อแปลงไปเป็นสัญญาณตำแหน่งแบบอนาลอก

มีหลักความจริงอยู่ว่า เราไม่สามารถจะคอนโทรลตำแหน่งเอาต์พุทของระบบให้เที่ยงตรงได้มากกว่าความเที่ยงตรงที่วัดได้จากตัวเซ็นเซอร์ ปัญหาหลักในการออกแบบการคอนโทรลตำแหน่งคือ การทำให้ระบบมีความเสถียรภาพภายใต้การขยายที่เหมาะสม และมีแบนด์วิธของ ลูปอย่างเพียงพอ ดังนั้นเราจะได้นั้นถึงปัญหาของเสถียรภาพและหลักการออกแบบต่อไประบบการคอนโทรลแบบป้อนกลับโดยทั่วไปมีจุดมุ่งหมายหลักคือ ต้องการให้ระบบมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเที่ยงตรงที่สภาวะคงที่ (steady-state accuracy) เป็นที่น่าพอใจ ดังนั้นระบบจึงไม่นิยมที่จะให้มีการลดอัตราขยายลงเพื่อให้ระบบมีเสถียรภาพ ถ้าอัตราขยายที่ต้องการเพื่อความเที่ยงตรงทำให้ระบบมีเสถียรภาพหรือผลตอบสนองมีแอมป์ที่เลว เมื่อนั้นระบบจะต้องได้รับการเปลี่ยนแปลง (มีการชดเชย) ในวิถีทางที่จะให้ผลตอบสนองตามที่ต้องการโดยไม่ทำให้ความเที่ยงตรง ด้อยลงไป

2.1 การวิเคราะห์ระบบเซอร์โวที่ใช้งานในการคอนโทรลตำแหน่งหมุนของเพลาดิสก์มอเตอร์

ระบบเซอร์โวที่ใช้งานสำหรับคอนโทรลตำแหน่งหมุนของเพลาดิสก์มอเตอร์ ซึ่งอาจนำไปใช้งานเป็นสตริบชาร์ทเรคคอร์ดเดอร์ (strip chart recorder) หรืออาจนำไปใช้สำหรับคอนโทรลตำแหน่งของหุ่นยนต์ (robot arm) ก็ได้ ระบบเซอร์โวที่จะอธิบายต่อไปนี้มี

ไดอะแกรมวงจรดังรูปที่ 2.1 ซึ่งระบบเซอร์โวที่ประกอบด้วยลูปรูการคอนโทรลตำแหน่ง ลูปรูการคอนโทรลความเร็วรอบ และลูปรูการคอนโทรลทอร์ค ก่อนที่จะอธิบายถึงการวิเคราะห์ระบบเซอร์โวต่อไปขอทบทวนถึงความหมายของระบบเซอร์โวกันก่อน ระบบเซอร์โวคือระบบการคอนโทรลเครื่องจักรกลที่ไปขับโหลดให้มีการเคลื่อนไหวในลักษณะที่เป็นไดนามิกของตำแหน่งความเร็วรอบ และแรงบิด (ทอร์ค) เป็นต้น ระบบเซอร์โวจะต้องตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรอินพุท $r(t)$ หรือต่อการเปลี่ยนแปลงของโหลด ดังนั้นการวิเคราะห์ระบบเซอร์โวโดยทั่วไปเราจะต้องพิจารณาคุณสมบัติการทำงานของระบบอยู่ 2 ประการ คือคุณสมบัติไดนามิก และคุณสมบัติสแตติก (คงที่) ของระบบ

2.2 คุณสมบัติไดนามิกของระบบเซอร์โวมอเตอร์

คุณสมบัติไดนามิกของระบบเซอร์โวมอเตอร์ หมายถึงผลตอบสนองของระบบต่อการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรอินพุท (set point) หรือผลตอบสนองของระบบต่อการเปลี่ยนแปลงโหลด (external disturbance) ผลตอบสนองของระบบเซอร์โวต่อการเปลี่ยนแปลงของสแตปอินพุทมีลักษณะ เป็นไดนามิกแบ่งออกได้เป็น 3 ลักษณะดังแสดงในรูปที่ 2.2

ก. ผลตอบสนองของระบบจะมีการเปลี่ยนแปลงลดลงเป็นไซเคิล เมื่อแอมป์ปิ้งแฟคเตอร์ (ξ) ของระบบมีค่าน้อยกว่าหนึ่ง ($\xi < 1$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข. ผลตอบสนองของระบบจะมีการเปลี่ยนแปลงลดลงเป็นวิกฤต เมื่อแค้นปี่ิ่ง แพคเตอร์ (ξ) ของระบบมีค่าเท่ากับหนึ่ง ($\xi = 1$)

ค. ผลตอบสนองของระบบจะมีการเปลี่ยนแปลงลดลงอย่างช้าๆ เมื่อแค้นปี่ิ่ง แพคเตอร์ (ξ) ของระบบมีค่ามากกว่าหนึ่ง ($\xi > 1$)

2.2.1 แพคเตอร์ที่เป็นตัวกำหนดคุณสมบัติไดนามิกของระบบเซอร์โว ได้แก่ อัตราการขยายลูป (loop gain) - ค่าสูงจะเป็นผลให้ผลตอบสนองของระบบลดลงเป็น ไซเกิล

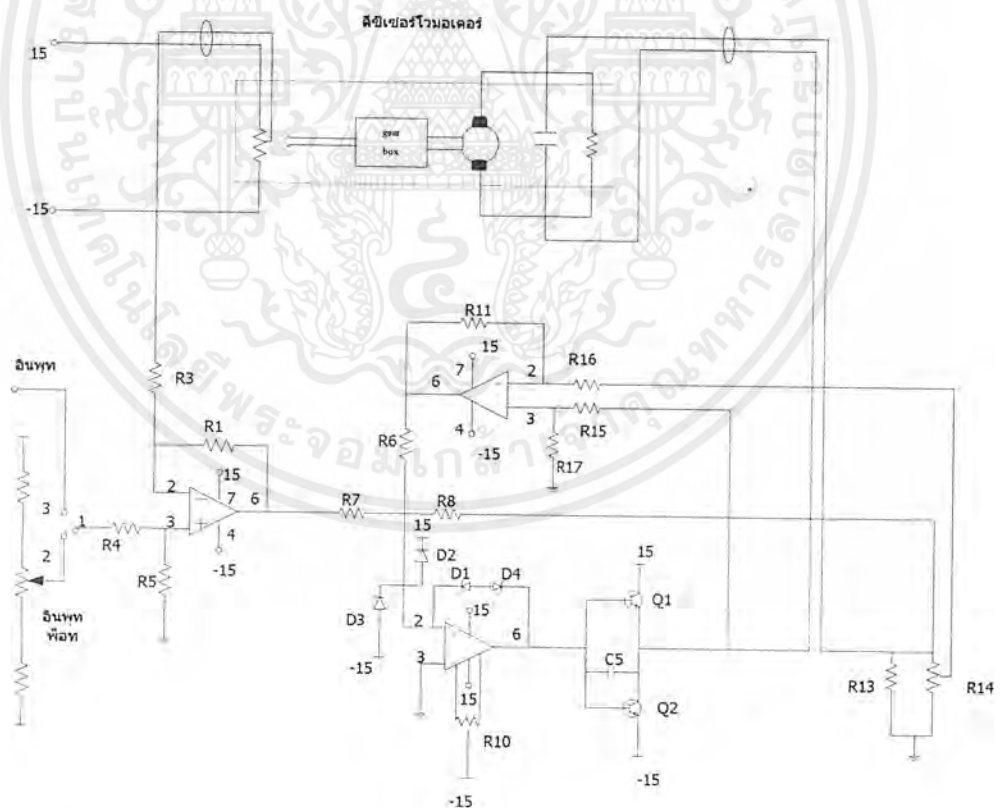
- ค่าปานกลางจะเป็นผลให้ผลตอบสนองของระบบลดลงเป็นวิกฤต

- ค่าต่ำจะเป็นผลให้ผลตอบสนองลดลงอย่างช้าๆ

อัตราขยายลูปป้อนกลับ

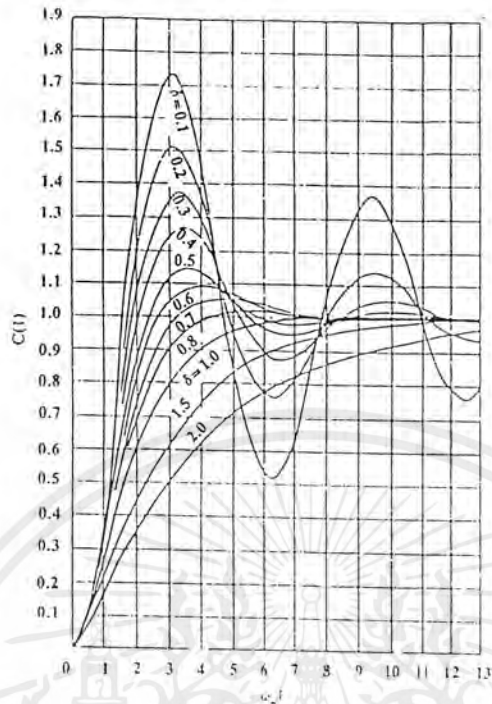
- ค่าสูงจะเป็นผลให้ผลตอบสนองของระบบลดลงอย่าง

ช้าๆ



รูปที่ 2.1 ไดอะแกรมวงจรของระบบเซอร์โวที่ใช้ในการคอนโทรลตำแหน่งหมุนของ เฟลาดีซี มอเตอร์ และใช้เซอร์โวแอมป์ไฟเออร์เป็นแบบไบโพลาร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 ผลตอบสนองของระบบเซอร์โวต่อการเปลี่ยนแปลงของสเตปอินพุท (step input)

- ความเร็ว - ค่าปานกลางจะเป็นผลให้ผลตอบสนองของระบบเป็นวิกฤต
- ค่าต่ำจะเป็นผลให้ผลตอบสนองของระบบลดลงเป็นไซเคิล
- ฟริคชั่นและแรงเฉื่อย - ค่าสูงจะเป็นผลให้ผลตอบสนองของระบบลดลงอย่างช้าๆ
- ค่าปานกลางจะเป็นผลให้ผลตอบสนองของระบบลดลงเป็นวิกฤต
- ค่าต่ำจะเป็นผลให้ผลตอบสนองของระบบลดลงเป็นไซเคิล
- ผลการป้อนกลับทอร์ค - จะทำให้ผลตอบสนองของระบบเป็นอิสระต่อโหลดทอร์ค

2.3 คุณสมบัติสแตติคของระบบเซอร์โว

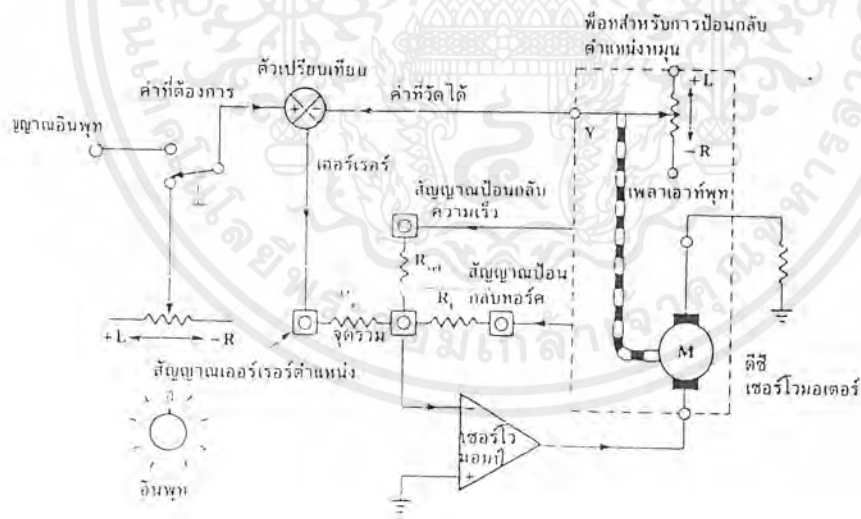
คุณสมบัติสแตติคของระบบเซอร์โว คือคุณสมบัติของระบบเมื่อผลตอบสนองของระบบเข้าสู่สถานะคงที่ (stead state) แล้ว ซึ่งแสดงอยู่ในรูปของเออร์เรอร์ที่สถานะคงที่หรือความแตกต่างระหว่างตัวแปรอินพุท $r(t)$ และตัวแปรอินพุท $c(t)$ เมื่อเวลาเข้าใกล้อนันต์ ($t \rightarrow \infty$) หมายถึงความเที่ยงตรงของระบบแฟคเตอร์ที่เป็นตัวกำหนดเออร์เรอร์ที่สถานะคงที่ ได้แก่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- อัตราขยายรูป - เมื่อมีค่าสูง เออร์เรอร์มีค่าน้อย (หมายความว่าระบบมีความเที่ยงตรงดี)
- ค่าปานกลาง เออร์เรอร์ค่าปานกลาง (หมายความว่าระบบมีความเที่ยงตรงพอใช้ได้)
- ค่าต่ำเออร์เรอร์มีค่ามาก (หมายความว่าระบบมีความเที่ยงตรงไม่ดี)

2.4 บล็อกไดอะแกรมและทรานเฟอร์ฟังก์ชันของระบบเซอร์โว

ระบบเซอร์โวในรูปที่ 2.3 ประกอบด้วยอุปกรณ์คอนโทรลตำแหน่ง การคอนโทรลความเร็วรอบ และอุปกรณ์คอนโทรลทอร์คจากไดอะแกรมวงจรของรูปที่ 2.1 เราไม่สามารถมองเห็นอุปกรณ์คอนโทรลทั้ง 3 อุปกรณ์ได้เด่นชัด เพื่อความสะดวกในการวิเคราะห์ระบบเขียนรูปที่ 2.1 ให้ง่ายขึ้นเป็นบล็อกไดอะแกรมได้ดังแสดงในรูปที่ 2.3



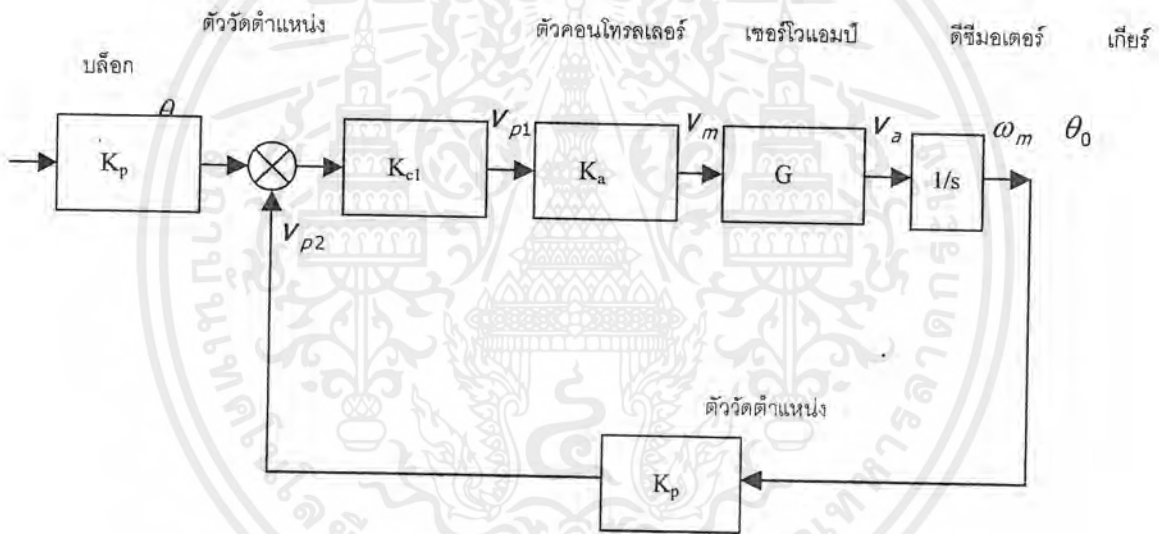
รูปที่ 2.3 บล็อกไดอะแกรมของระบบเซอร์โวที่ทำให้ง่ายขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์ระบบเซอร์โวจากรูปที่ 2.3 เพื่อให้เราเข้าใจการทำงานของระบบได้ดียิ่งขึ้น เราจะแยกการวิเคราะห์ออกเป็น 3 ลูปคือ ลูปคอนโทรลตำแหน่งหมุน ลูปการคอนโทรลความเร็ว และลูปการคอนโทรลทอร์ก หลังจากนั้นเราจะวิเคราะห์ทั้งระบบที่ประกอบด้วย 3 ลูป โดยจะพิจารณาถึงคุณสมบัติไดนามิกและคุณสมบัติสถิตของระบบหลัก

2.5 บล็อกไดอะแกรมของลูปคอนโทรลตำแหน่ง

จากรูปที่ 2.3 เราสามารถแยกเป็นบล็อกไดอะแกรมของลูปคอนโทรลตำแหน่งหมุนได้ดังแสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 บล็อกไดอะแกรมลูปการคอนโทรลตำแหน่งหมุน

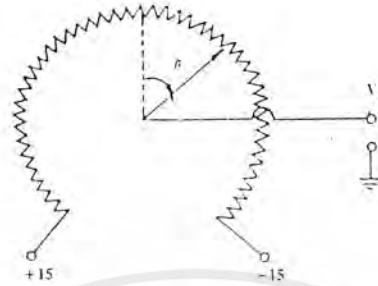
ส่วนประกอบของลูปการคอนโทรลตำแหน่งหมุน

1. ตัววัดตำแหน่ง (K_p)
2. ตัวคอนโทรลเลอร์ (K_{c1})
3. เพาเวอร์แอมพลิไฟเออร์ (K_a)
4. ดีซีเซอร์โวมอเตอร์ (G)
5. เกียร์บล็อก ($1/s$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.1 บล็อกไดอะแกรมของตัววัดตำแหน่ง

เราใช้พ็อตเป็นตัววัดตำแหน่งหมุนแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 พ็อตตัววัดตำแหน่ง

จากรูปที่ 2.5 เราหาค่า V_p ได้เป็นสัดส่วน θ ดังนี้

$$V_p = \frac{2V}{360} \cdot \theta \quad 2-1$$

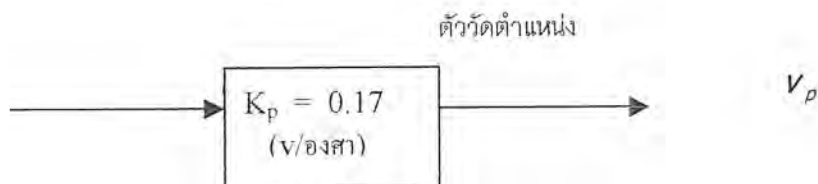
$$V_p = \frac{2 \times 15}{360} \theta$$

$$V_p = 0.17 \times \theta \quad \text{โวลต์ / องศา} \quad 2-2$$

$$V_p = K_p \cdot \theta \quad 2-2$$

เมื่อ $K_p = 0.17$ โวลต์ / องศา

จากสมการ (2-2) เราสามารถเขียนเป็นบล็อกไดอะแกรมของตัววัดตำแหน่งได้ดังนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2 บล็อกไดอะแกรมตัวคอนโทรลเลอร์ (หรือเรียกว่าเออร์เรอร์ชั้นนัล)

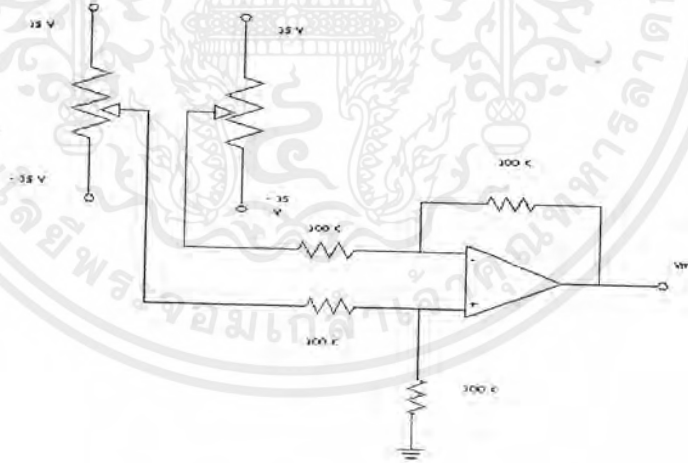
ตัวคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ในระบบเซอร์โวนี้เป็นตัวคอนโทรลเลอร์แบบง่ายๆ ที่เรียกว่าตัวคอนโทรลเลอร์แบบปรับพอร์ชันแนล (proportional) คือมันจะให้สัญญาณเอาท์พุท V_m เป็นสัดส่วนสัญญาณเออร์เรอร์แสดงได้ดังในรูปที่ 2.6

จากรูปที่ 2.6 เราหาค่า V_m ได้ดังนี้

$$V_m = V_{p1} - V_{p2} = K_p \theta_{in} - K_p \theta_0$$

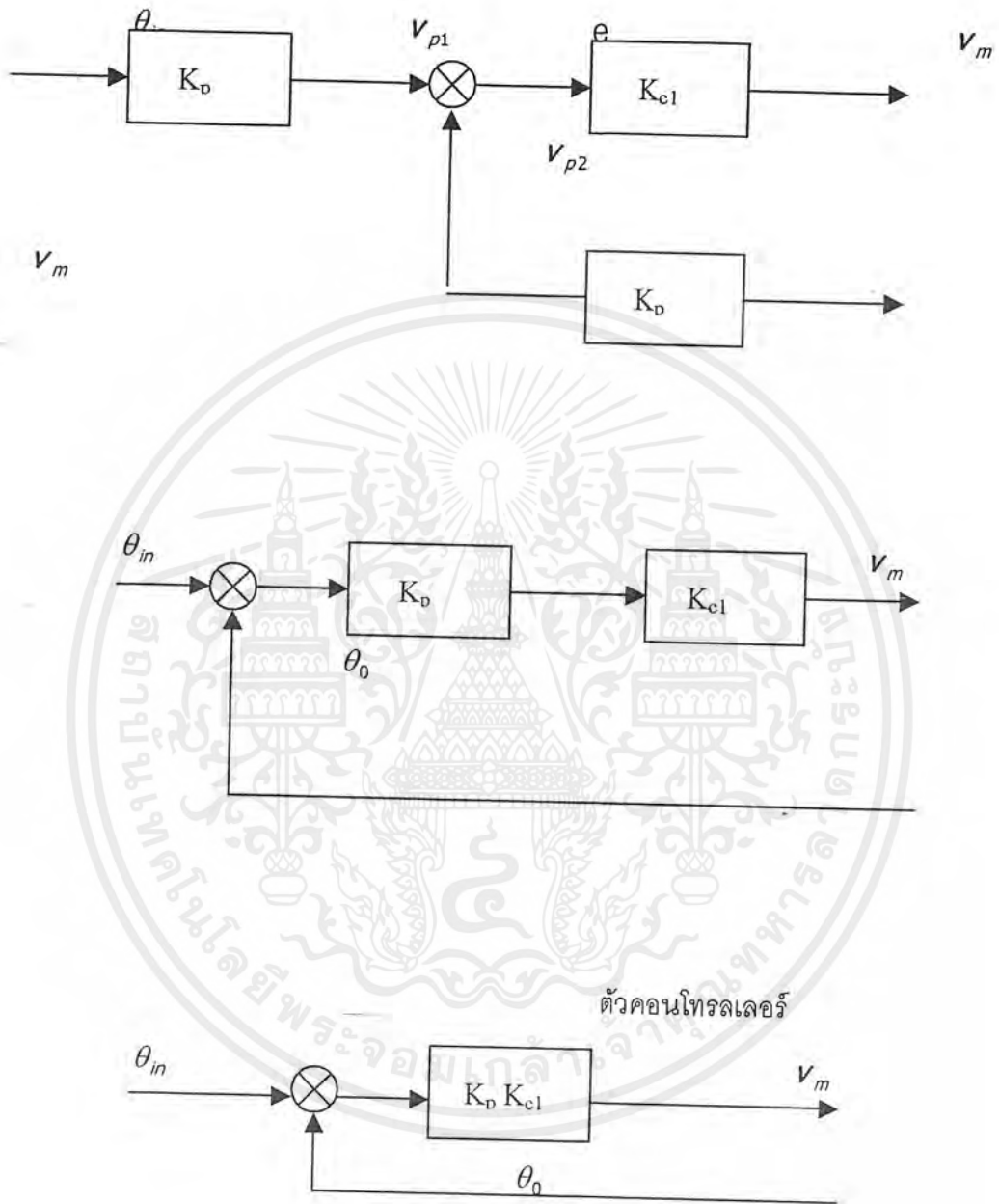
$$V_m = K_p (\theta_{in} - \theta_0)$$

จากสมการ 2-3 เราสามารถเขียนบล็อกไดอะแกรมของตัวคอนโทรลเลอร์ได้ดังนี้เมื่อ K_{c1} คือปรับพอร์ชันแนลเกนหรืออัตราขยายของตัวคอนโทรลเลอร์ซึ่งเราปรับค่าได้ด้วยการปรับค่าความต้านทาน R_c จากบล็อกไดอะแกรมนี้เราเขียนทำให้ง่ายขึ้นอีกดังนี้



รูปที่ 2.6 วงจรของตัวคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

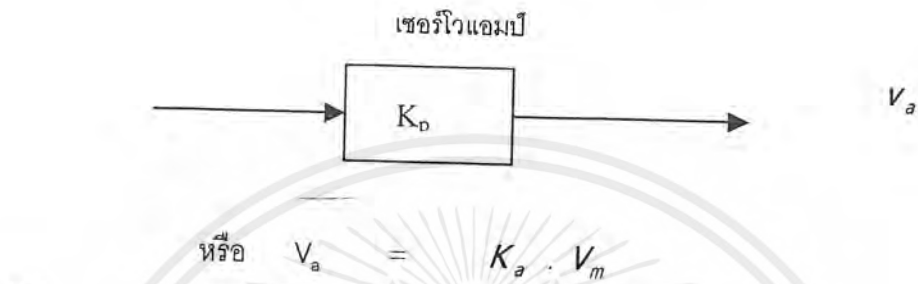


ในกรณีสมการที่ 1-3 $K_{c1} = 1$ แต่ระบบเซอร์โวจริงๆ แล้วเราสามารถปรับให้ K_c มีค่าใดๆตามที่เราต้องการภายใต้ขีดจำกัดเสถียรภาพของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.3 บล็อกไดอะแกรมของเพาเวอร์แอมพลิฟายเออร์

เพาเวอร์แอมป์หรือเซอร์โวแอมป์ในที่นี้เป็นแอมพลิฟายเออร์แบบไบโพลาร์ (หมายถึง แอมพลิฟายเออร์ที่ต้องใช้เพาเวอร์ซัพพลายทั้งขั้วบวกและขั้วลบ) เรากำหนดให้เซอร์โวแอมป์นี้มี อัตราการขยายเท่ากับ K_a ดังนั้นเราสามารถเขียนบล็อกไดอะแกรมของเซอร์โวแอมป์นี้ได้ดังนี้

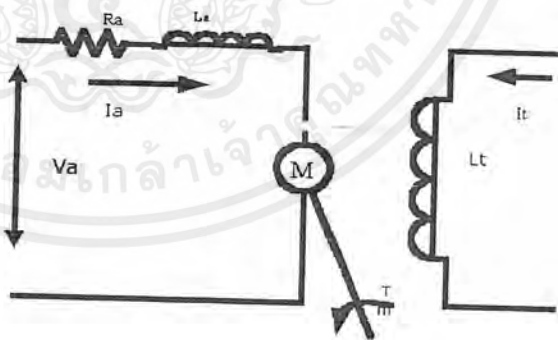


2-4

เมื่อ K_a เป็นโวก์เตจเกนของเซอร์โวแอมป์มีหน่วยเป็น V/V

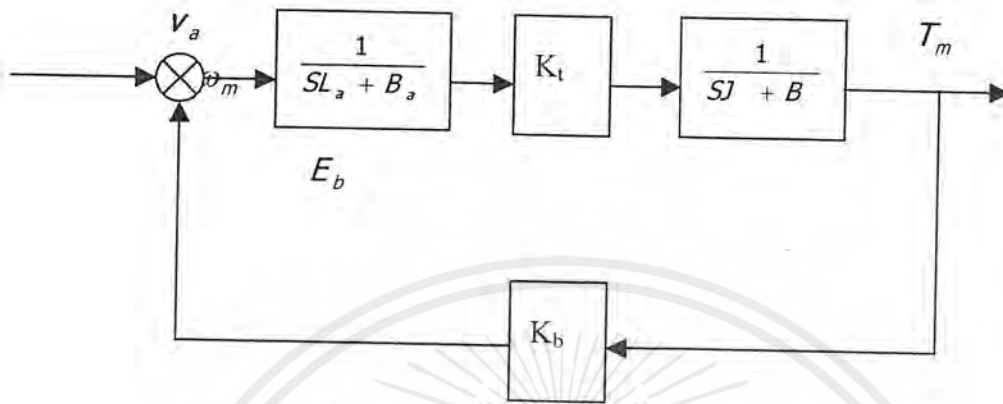
2.5.4 บล็อกไดอะแกรมของดีซีเซอร์โวมอเตอร์

ดีซีเซอร์โวมอเตอร์ที่ใช้ในระบบนี้เป็นแบบอาร์เมเจอร์คอนโทรลดังแสดงในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 วงจรสมมูลย์ของดีซีเซอร์โว

จากรูปที่ 2.7 เราสามารถเขียนบล็อกไดอะแกรมของดีซีเซอร์โวแบบอาร์มาเจอร์คอนโทรลได้ดังนี้



จากบล็อกไดอะแกรมเราสามารถหาความสัมพันธ์ระหว่าง ω_m / V_a ได้ดังนี้

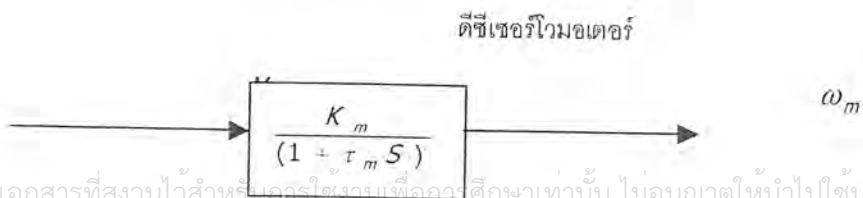
$$G = \omega_m / V_a = \frac{(K_t / (BR_a + K_t K_b))}{(1 + S[R_a J / (BR_a + K_t K_b)])}$$

$$\omega_m / V_a = \frac{K_m}{1 + S t_m} \tag{2-5}$$

เมื่อ $K_m = \frac{K_t}{(BR_a + K_t K_b)}$
 $t_m = \frac{R_a J}{(BR_a + K_t K_b)}$

และ $K_t = 0.737 K_b$

จากสมการ 2-5 เราสามารถเขียนเป็นบล็อกไดอะแกรมของดีซีเซอร์โวมอเตอร์ได้ดังนี้



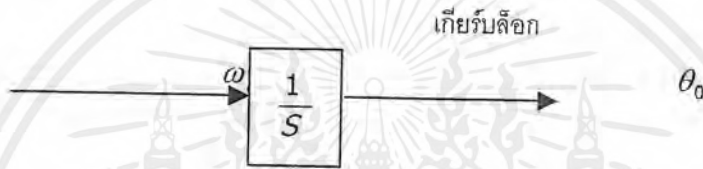
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.5 บล็อกไดอะแกรมของเกียร์บล็อก

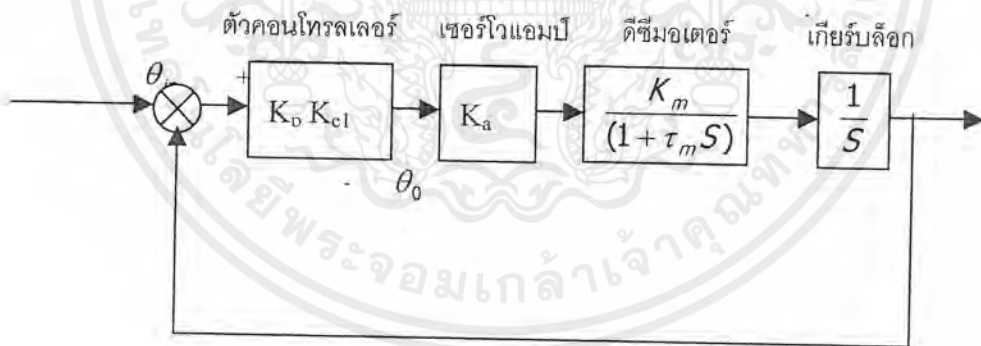
เกียร์บล็อกทำหน้าที่ลดความเร็วของเพลามอเตอร์ด้วยอัตราส่วนที่คงที่ เช่น 1:30 (คือเกียร์บล็อกจะทำหน้าที่ลดความเร็วลงไป 30 เท่า) ดังนั้นเกียร์บล็อกทำหน้าที่เหมือนกับการอินทิเกรตความเร็วรอบ (ω_m)

$$\theta_0 = \int_0^t \omega_m dt \tag{2-6}$$

จากสมการที่ 2-6 เราสามารถเขียนบล็อกไดอะแกรมของเกียร์บล็อกได้เป็น



2.5.6 การวิเคราะห์หาลูปคอนโทรลตำแหน่งหมุนจากบล็อกไดอะแกรมของทรานเฟอร์ฟังก์ชัน



รูปที่ 2.8 บล็อกไดอะแกรมแสดงทรานเฟอร์ฟังก์ชันแต่ละส่วนของลูป คอนโทรลตำแหน่งหมุน

จากรูปที่ 2.8 เราหาทรานเฟอร์ฟังก์ชันของลูปคอนโทรลตำแหน่งหมุน $\frac{\theta_0}{\theta_{in}}$ ได้เป็น

$$\frac{\theta_0}{\theta_{in}} = \frac{K_p K_{c1} K_a K_m}{(I_m S^2 + S + K_p K_{c1} K_a K_m)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{\theta_0}{\theta_m} = (K/t_m) / (S^2 + (1/t_m)S + (K/t_m)) \quad (2-7)$$

เมื่อ $K = K_p K_{c1} K_a K_m$

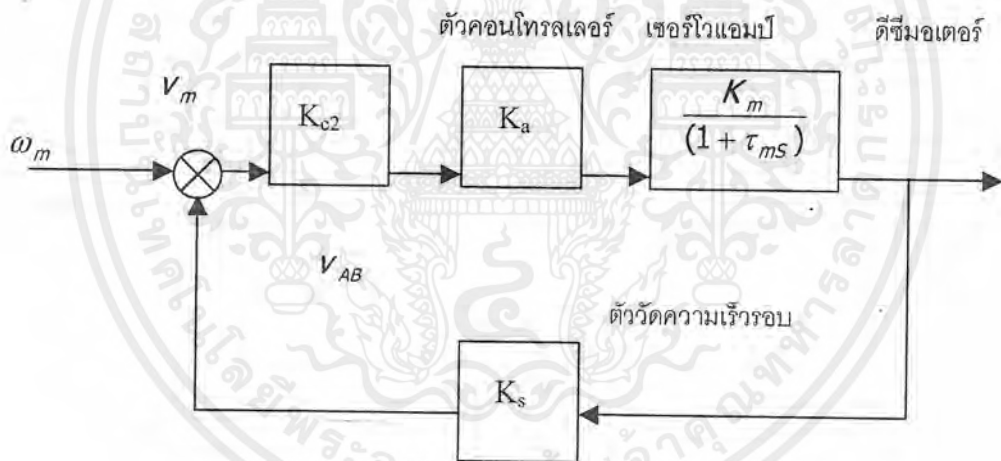
จากทรานเฟอร์ฟังก์ชันในสมการที่ 2-7 เราสามารถวิเคราะห์หา ω_n เพื่อใช้พิจารณาแบนด์วิดท์ของลูป และแอดัมปิงแฟคเตอร์ ξ เพื่อใช้หาผลตอบสนองของลูป จากสมการที่ 2-7 เราสามารถหา ω_n และ ξ ได้ดังนี้

$$\omega_n^2 = (K/t_m)$$

$$\xi = 2\sqrt{1/K/t_m}$$

2.6 บล็อกไดอะแกรมของลูปคอนโทรลความเร็วรอบ

จากรูปที่ 2.3 เราสามารถแยกเขียนเป็นบล็อกไดอะแกรมของลูปคอนโทรลความเร็วรอบได้ดังแสดงในรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 บล็อกไดอะแกรมของลูปคอนโทรลความเร็วรอบ

ส่วนประกอบของลูปคอนโทรลความเร็วรอบ

1. ตัวคอนโทรลเลอร์ (K_{c2})
2. เซอร์โวแอมป์ (K_a)
3. ดีซีมอเตอร์ (G)
4. ตัววัดความเร็วรอบ (K_s)

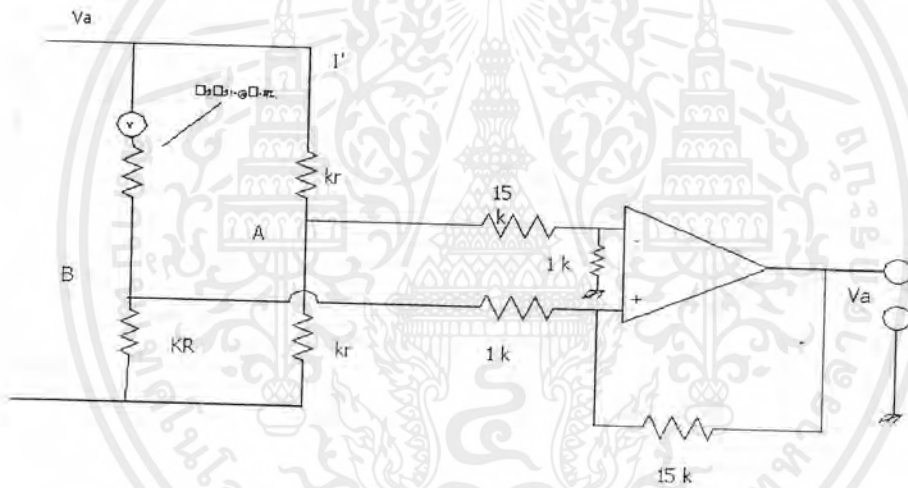
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนประกอบหมายเลข 1, 2 และ 3 เราได้พิจารณาทรานเฟอร์ฟังก์ชันของส่วนประกอบเหล่านั้นได้ในตอนวิเคราะห์หุ้ลูปคอนโทรลตำแหน่งหมุน ส่วนประกอบหมายเลข 4 เราจะต้องพิจารณาทรานเฟอร์ฟังก์ชันของมันต่อไป

บล็อกไดอะแกรมของตัววัดความเร็วรอบ

$$V_a = V + IR(1 + k)$$

$$I' = (V + IR(1 + k)) / r(1 + k)$$



รูปที่ 1.10 วงจรการวัดความเร็วรอบ

$$V_A = (Vk / (1 + k)) + k I R$$

$$V_B = k I R$$

$$V_{AB} = (Vk / (1 + K)) + k I R - k I R$$

$$V_{AB} = Vk / (1 + K)$$

$$V = K_b \omega_m$$

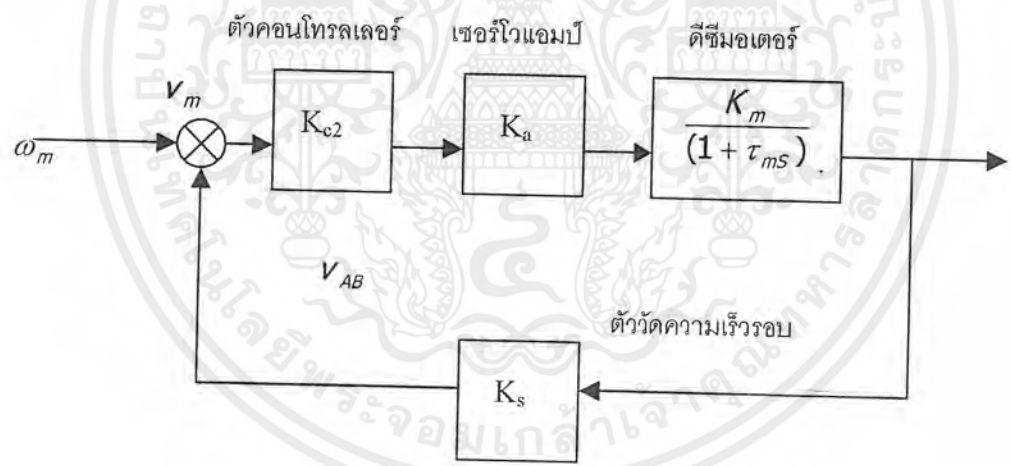
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
 V_{AB} &= (k K_h / (1+k)) \cdot \omega_m \\
 V_{AB} &= K_s \cdot \omega_m \\
 \text{เมื่อ} \quad K_s &= k K_h / (1+k)
 \end{aligned}
 \tag{2-10}$$

จากสมการที่ 1-10 เราสามารถเขียนบล็อกไดอะแกรมของตัววัดความเร็วรอบได้ดังนี้



2.6.1 การวิเคราะห์ลูปคอนโทรลความเร็วรอบจากบล็อกไดอะแกรมของทรานเฟอร์ฟังก์ชัน



รูปที่ 1.11 บล็อกไดอะแกรมของลูปคอนโทรลความเร็วรอบ

จากรูปที่ 1.11 เราหาทรานเฟอร์ฟังก์ชันของลูปคอนโทรลความเร็วรอบ ω_m / V_m ได้เป็น

$$\begin{aligned}
 \omega_m / V_m &= K_{c2} K_a K_m / (t_m S + (K_{c1} K_a K_m K_s + 1)) \\
 \omega_m / V_m &= K' / (t_m S + (K K_s + 1)) \quad \text{เมื่อ} \quad K' = K_{c2} K_a K_m
 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\omega_m / V_m = (K' / (K' K_s + 1)) / (1 + (t_m / (K' K_s + 1)) S) \quad 2-11$$

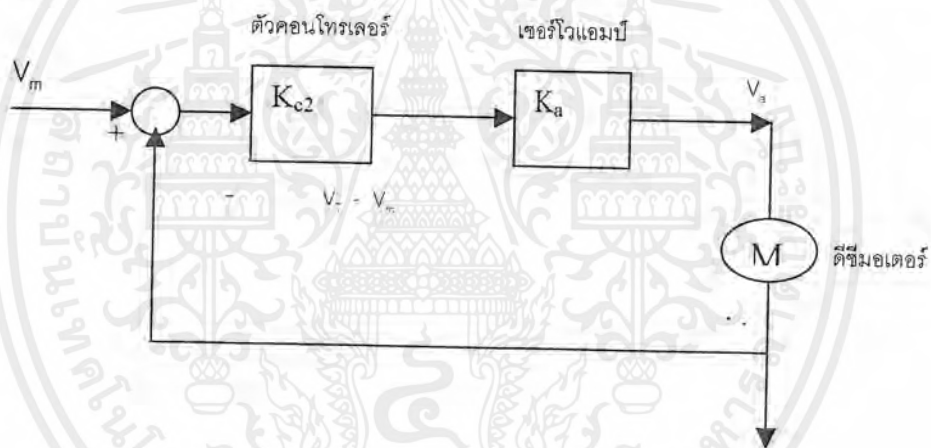
$$\omega_m(t) = [K' / (K' K_s + 1)] - e^{-t / (t_m / (K' K_s + 1))} \quad 2-12$$

สมการที่ 1-12 แสดงถึงผลตอบสนองของระบบต่อสเตปอินพุทเมื่อลูปคอนโทรลความเร็วมีความเร็วคงที่

$$\omega_m |_{s \rightarrow 0} = K' / (K' K_s + 1) \quad \text{ประมาณ } 1 / K_s \quad 2-13$$

2.7 บล็อกไดอะแกรมของลูปคอนโทรลทอร์ค

จากรูปที่ 2.3 เราสามารถแยกเป็นบล็อกไดอะแกรมของลูปคอนโทรลทอร์คได้แสดงในรูปที่ 2.12



รูปที่ 1.12 บล็อกไดอะแกรมของลูปคอนโทรลทอร์ค

ส่วนประกอบของลูปคอนโทรลทอร์ค

1. ตัวคอนโทรลเลอร์ (K_{c2})
2. เซอร์โวแอมป์ (K_a)
3. ดีซีมอเตอร์ (G)
4. ตัววัดทอร์ค (K_T)

ในลูปคอนโทรลทอร์คนี้เราพิจารณาบล็อกไดอะแกรมเฉพาะตัววัดทอร์คเท่านั้นเพราะบล็อกไดอะแกรมของส่วนประกอบอื่น ๆ เราได้พิจารณาแล้วในตอนต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.1 บล็อกไดอะแกรมของตัววัดทอร์ก

จากรูปที่ 1.12 เราหาทอร์กของมอเตอร์ได้เป็น

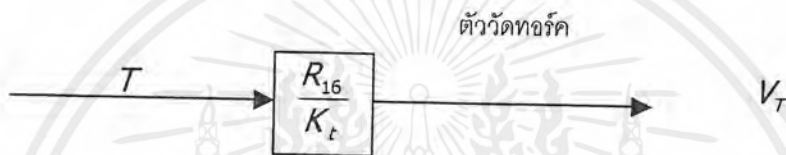
$$T = K_t I_a \quad 2-14$$

$$V_T = I_a R_{16} = (R_{16} / K_t) \cdot T \quad 2-15$$

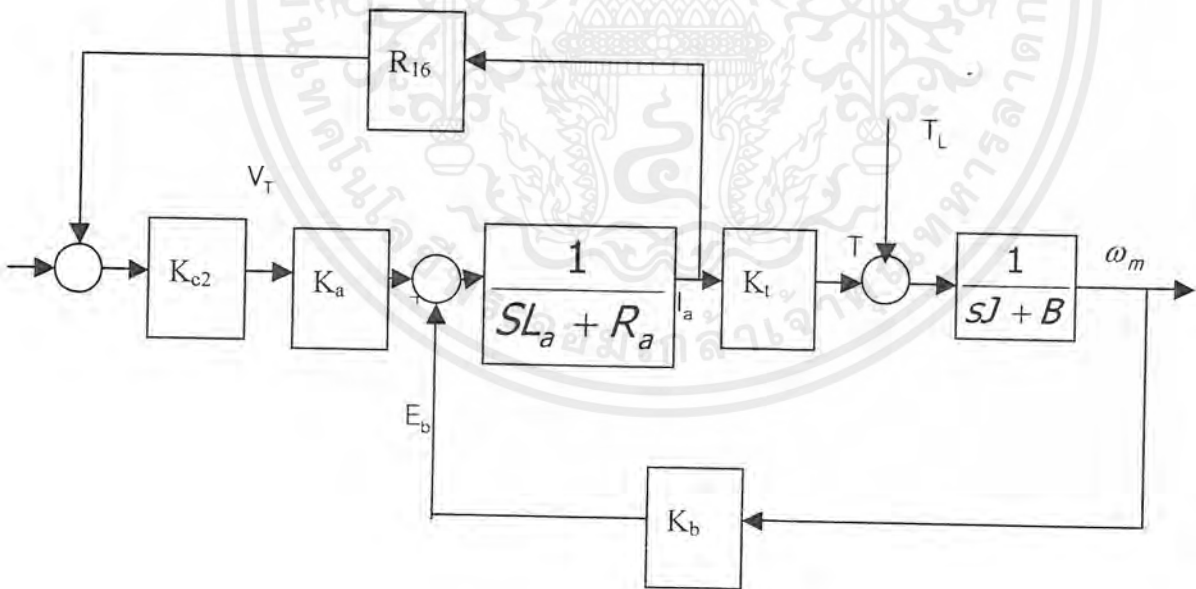
$$V_T = K_T \cdot T \quad 2-16$$

เมื่อ $K_T = R_{16} / K_t$

จากสมการที่ 2-16 เราสามารถเขียนบล็อกไดอะแกรมของตัววัดทอร์กได้ดังนี้



2.7.2 การวิเคราะห์หาลูปคอนโทรลทอร์กจากบล็อกไดอะแกรมของทรานเฟอ์ฟังก์ชัน



รูปที่ 2.13 บล็อกไดอะแกรมของลูปคอนโทรลทอร์ก

จากรูปที่ 2.13 เราหาทรานเฟอ์ฟังก์ชันของลูปคอนโทรลทอร์ก ω_m / V_m ได้เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\omega_m / V_m = K' / (1 + S(t_m + (K'R_{16}J / K_f) + (BK' R_{16} / K_f))) \quad 2-17$$

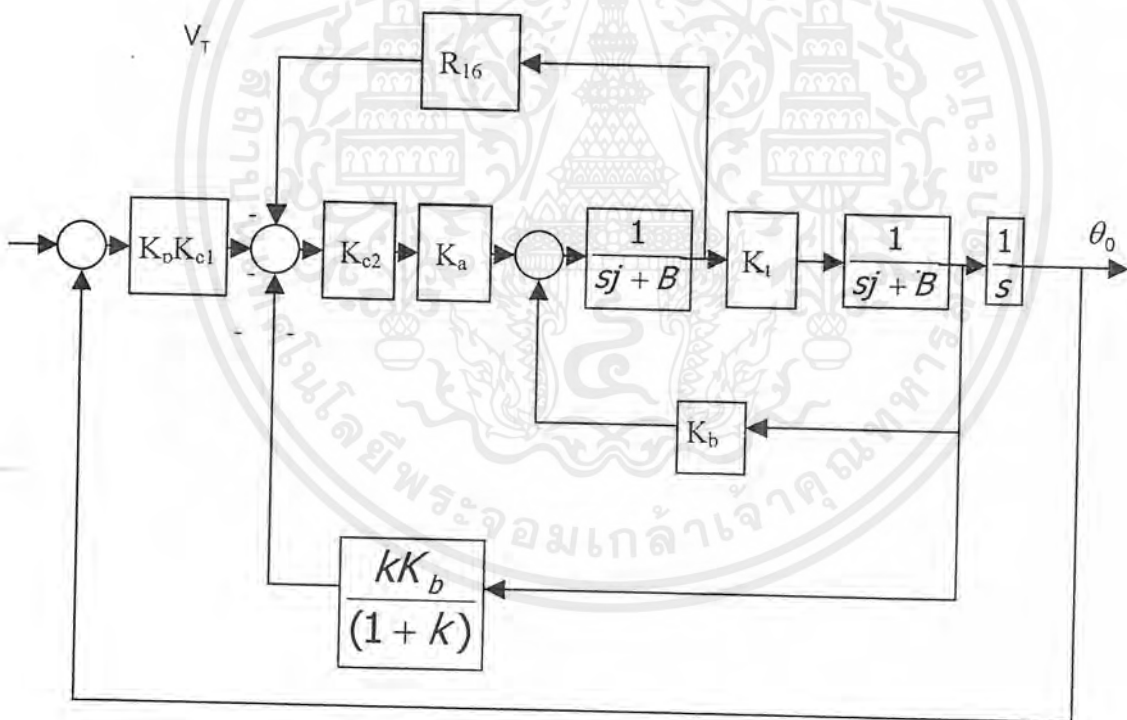
$$\omega_m = K' V_m / (S(t_m + (K'R_{16}J / K_f) + (1 + (BK' R_{16} / K_f)))) \quad 2-18$$

$$\omega_m / t \rightarrow \infty = K' V_m / (1 + (BK' R_{16} / K_f)) \quad 2-19$$

จากสมการที่ 2-19 เราจะเห็นได้ว่าความเร็วรอบของมอเตอร์เมื่อเข้าสู่สถานะคงที่จะไม่ขึ้นอยู่กับโหลด

2.8 ระบบเซอร์โวที่สมบูรณ์

ระบบเซอร์โวที่ได้ออกแบบเป็นระบบคอนโทรลตำแหน่งหมุนที่ประกอบด้วยลูปคอนโทรลความเร็วรอบ และลูปคอนโทรลทอร์คแสดงได้ดังในรูปที่ 2.14



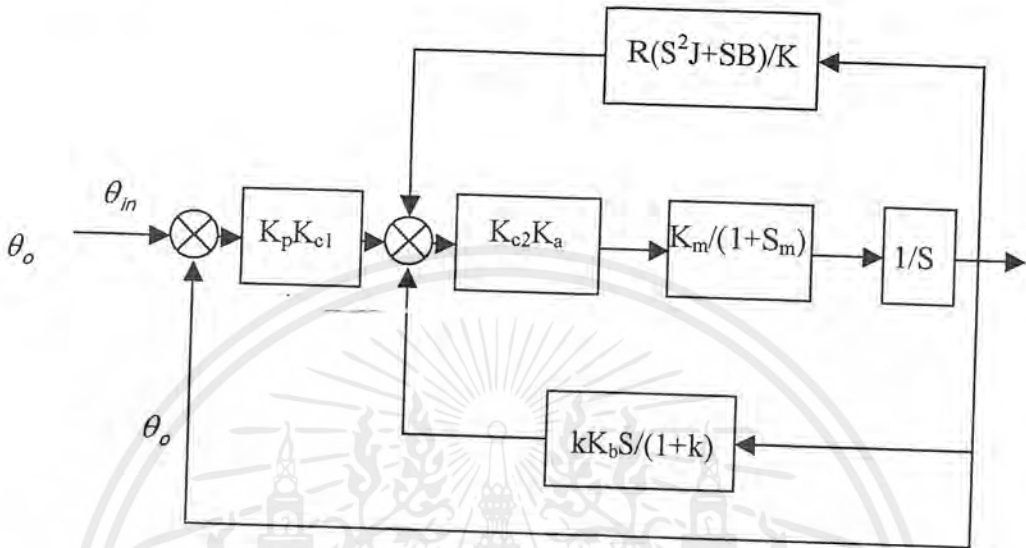
รูปที่ 2.14 บล็อกไดอะแกรมของระบบเซอร์โวที่ประกอบด้วยลูปการป้อนกลับของตำแหน่งลูปการป้อนกลับของความเร็วและลูปการป้อนกลับของกระแส

เราสามารถทำบล็อกไดอะแกรมในรูปที่ 2.14 ให้ง่ายขึ้นได้ดังแสดงในรูปที่ 2.15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.1 ระบบเซอร์โวที่มีแต่ลูปคอนโทรลตำแหน่งเพียงลูปเดียว

ระบบเซอร์โวรูปที่ 2.15 เมื่อเราคิดแต่ลูปคอนโทรลตำแหน่งเพียงลูปเดียวเราจะหาทรานเฟอร์ฟังก์ชันของระบบได้เป็น



รูปที่ 2.15 บล็อกไดอะแกรมของระบบเซอร์โวเพื่อการคอนโทรลตำแหน่งหมุน

$$V_o / \theta_{in} = K_{c2} K_{c1} K_p K_m K_a / (t_m S^2 + S + K_{c2} K_{c1} K_p K_m K_a) \quad 2-20$$

$$\theta_o / \theta_{in} = (K / t_m) / (S^2 + S/t_m + (K/t_m)) \quad 2-21$$

เมื่อ
$$K = K_{c2} K_{c1} K_p K_m K_a$$

จากสมการ 2-21 เราจะหาพารามิเตอร์ที่แสดงถึงคุณสมบัติไดนามิกของระบบได้คือ

$$\omega_n = \sqrt{K/t_m} \text{ เป็นตัวกำหนดความเร็วในการตอบสนองของระบบ}$$

$$\xi = 1/(2\sqrt{K/t_m}) \text{ เป็นตัวกำหนดเสถียรภาพของระบบ}$$

2.8.2 ระบบเซอร์โวที่ประกอบด้วยลูปคอนโทรลตำแหน่งและลูปคอนโทรลความเร็วรอบ

ระบบเซอร์โวในรูปที่ 2.15 เมื่อประกอบด้วยลูปคอนโทรลตำแหน่งและลูปคอนโทรลความเร็วรอบเราสามารถจะหาทรานเฟอร์ฟังก์ชันของระบบดังกล่าวได้เป็น

$$\theta_o / \theta_{in} = (K/t_m) / (S^2 + (1/t_m(1 + K'K''K_a)) S + (K/t_m)) \quad 2-22$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{เมื่อ } K'' = k / (1 + k)$$

$$K' = K_a K_{c2} K_m$$

$$K = K_{c2} K_{c1} K_p K_m K_a$$

จากสมการที่ 1-23 เราจะหาพารามิเตอร์ที่แสดงถึงคุณสมบัติไดนามิกของระบบได้เป็น

$$\omega_n = \sqrt{K / T_m} \text{ มีค่าคงเดิมระบบมีความเร็วในการตอบสนองคงเดิม}$$

$\xi = (1 + K' K'' K_p) / 2 \sqrt{K T_m}$ มีค่าเพิ่มขึ้นแสดงว่าผลตอบสนองของระบบดีขึ้น และมีเสถียรภาพดีขึ้นด้วย

สรุปการวิเคราะห์คุณสมบัติไดนามิกของระบบเซอร์โวที่มีจุดประสงค์สำหรับการคอนโทรลตำแหน่งได้ดังนี้

- (ก) เมื่อระบบมีลูปลคอนโทรลเพียงลูปลเดียว
- ความเร็วในการตอบสนองของระบบยังไม่ดีพอ
 - เสถียรภาพของระบบอยู่ในขั้นที่ไม่ดีนัก
- (ข) เมื่อระบบประกอบด้วยลูปลคอนโทรลตำแหน่งและลูปลคอนโทรลความเร็วรอบ
- ความเร็วในการตอบสนองของระบบยังคงเดิม
 - เสถียรภาพของระบบดีขึ้น
- (ค) เมื่อระบบประกอบด้วยลูปลคอนโทรลตำแหน่งและลูปลคอนโทรลทอร์ค
- ความเร็วในการตอบสนองของระบบดีขึ้น
 - เสถียรภาพของระบบไม่ดีขึ้น
- (ง) เมื่อระบบประกอบด้วยลูปลคอนโทรลตำแหน่ง ลูปลการคอนโทรลความเร็วรอบ และลูปลการคอนโทรลทอร์ค
- ความเร็วในการตอบสนองของระบบดีขึ้น
 - เสถียรภาพของระบบดีขึ้นอย่างมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.3 คุณสมบัติสแตติคหรือผลที่ล้าวดตอบสนองของระบบเมื่อเข้าสู่สถานะคงที่

ระบบเซอร์โวตามรูปที่ 1.15 เราจะเห็นได้ว่าตัวคอนโทรลเลอร์ในระบบนี้เป็นแบบ P-คอนโทรลเลอร์ดังนั้นผลตอบสนองของระบบต่อสเตปอินพุทเมื่อเข้าสู่สถานะคงที่แล้วจะต้องเกิดค่าออฟเซ็ทอย่างแน่นอน เราต้องพยายามปรับอัตราขยายของระบบ ($K = K_c K_i K_p K_m K_a$)

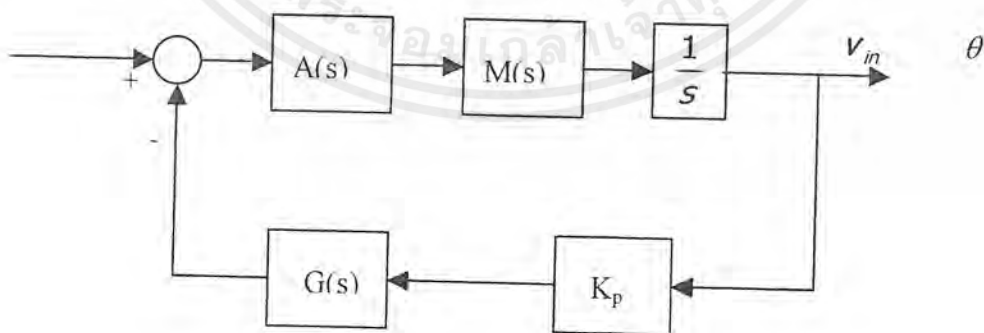
ให้มีค่าเหมาะสมเพื่อลดค่าออฟเซ็ทแต่ก็ต้องไม่ให้มากเกินไปซึ่งอาจจะทำให้ระบบออสซิลเลทได้หรือไม่เช่นนั้นเราจะต้องใช้ตัวคอนโทรลเลอร์ที่เป็น PI หรือ PID คอนโทรลเลอร์จึงจะสามารถแก้ปัญหาออฟเซ็ทได้

2.9 ระบบคอนโทรลตำแหน่งแบบไม่มีการป้อนกลับความเร็วรอบด้วยทาโคมิเตอร์

ระบบการบังคับบางแบบไม่มีการป้อนกลับแบบทาโคมิเตอร์ เนื่องจากเพื่อต้องการประหยัดหรือลิมิตขนาด ในกรณีเหล่านี้ปัญหาเกี่ยวกับเสถียรภาพจะเกิดขึ้นอย่างหนักซึ่งยังผลให้ได้ระบบที่มีแบนด์วิดท์ต่ำมาก ระบบการบังคับตำแหน่งที่ไม่มีการป้อนกลับด้วยทาโคมิเตอร์แสดงได้ด้วยบล็อกไดอะแกรมดังในรูป 1.16 ทราเนเฟอร์ฟังก์ชันที่เป็นแบบเปิดดูในกรณีนี้เท่ากับ

$$L(s) = \frac{A(s)M(s)K_p G(s)}{s} \quad 2-25$$

เพื่อที่แก้ไขเสถียรภาพของลูปเราต้องลดการล้าหลังของเฟสของ $L(s)$ ลงให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ ซึ่งกระทำได้หลายหนทางด้วยกัน



รูปที่ 2.16 ระบบการบังคับตำแหน่งที่ไม่มีการป้อนกลับด้วยทาโคมิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9.1 ใช้โวลต์เตจแอมป์ไฟในระบบ

ในระบบการบังคับตำแหน่งจะนิยมใช้โวลต์เตจแอมป์ไฟมากกว่าที่จะใช้แอมป์ไฟกระแสเพราะว่าการรวมทรานเฟอร์ฟังก์ชันของแอมป์ไฟกระแสกับตัวมอเตอร์จะทำให้ได้โพลที่จุดกำเนิด โพลนี้เมื่อนำไปรวมกับจุดกำเนิดเนื่องจากผลของการอินทิเกรชันของความเร็วซึ่งมีแนวโน้มทำให้ระบบไม่เสถียรภาพ

2.9.2 ใช้การป้อนกระแสบวกกลับในระบบ

วิธีการป้อนกลับกระแสบวกกลับอาจจะให้ผลเช่นเดียวกับการป้อนกลับของความเร็ว อย่างไรก็ตามวิธีการต้องใช้การวิเคราะห์หอย่างระมัดระวัง การเบี่ยงเบนไปจากค่าที่ต้องการมีผลเป็นส่วนกลับกับเสถียรภาพของระบบ

2.9.3 ใช้วงจรถดเซย์เข้าในระบบ

การเพิ่มวงจรถดเซย์เข้าในลูปลสามารถแก้ไขเสถียรภาพของระบบได้อย่างมากวงจรถดเซย์ที่ใช้กันส่วนมากคือการชดเซย์แบบ lag-lead และการชดเซย์แบบ lead-lag การชดเซย์แบบ lag-lead กระทำได้ง่ายและผลการชดเซย์จะทำให้ผลตอบสนองของระบบช้าลงไปส่วนการชดเซย์แบบ lead-lag จะเป็นการเพิ่มแบนด์วิดท์ของระบบแต่จะต้องให้ความระมัดระวังในการวิเคราะห์ระบบในการกำหนดตำแหน่งซีโรและโพล

2.10 การชดเซย์ในระบบคอนโทรลตำแหน่ง

ในระบบการบังคับแบบป้อนกลับโดยทั่วไปมักต้องการคุณสมบัติของระบบที่มีลักษณะดังต่อไปนี้

1. ให้ความเที่ยงตรงที่สภาวะคงที่ได้ดีเยี่ยม
2. ให้ผลตอบสนองได้รวดเร็ว
3. มีการเรีคกูเลทที่ดีคือสามารถต้นการรบกวนที่มีต่อระบบได้ดีซึ่งจะทำให้มีความผิดพลาดเพียงเล็กน้อย

4. ระบบจะต้องมีเสถียรภาพและให้ผลตอบสนองชั่วขณะที่เป็นการเต็มป้ลงได้ดี

หลักการออกแบบดังที่ได้กล่าวมาแล้วในเบื้องต้นนั้น ปกติระบบจะมีพารามิเตอร์เพียงตัวเดียวที่ปรับค่าได้ คือ อัตราการยายของระบบ ดังนั้นจึงเป็นไปได้ที่จะให้ระบบมีคุณสมบัติครบถ้วนตามข้อ (1) (2) (3) และ (4) โดยการปรับค่าพารามิเตอร์เพียงตัวเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อให้ระบบมีคุณลักษณะเป็นไปตาม (3) ข้อแรกระบบจะต้องมีอัตราการขยายสูงแต่คุณลักษณะตามข้อ (4) ระบบจะต้องมีการขยายต่ำ ดังนั้นคุณสมบัติที่ระบบต้องการจึงไม่เป็นที่สอดคล้องกันจึงจำเป็นต้องมีการเปลี่ยนระบบ โดยการชดเชยเพิ่มส่วนประกอบเข้าไปในระบบเพื่อให้ระบบสามารถปรับค่าพารามิเตอร์ตัวอื่นๆ ได้เพิ่มขึ้น และเพื่อให้การชดเชยมีประสิทธิภาพจะต้องเลือกให้การปรับค่าพารามิเตอร์เป็นไปโดยสอดคล้องกับคุณสมบัติที่ระบบต้องการซึ่งจะได้กล่าวต่อไปถึงข้อกำหนดพื้นฐานในการเลือกและออกแบบการชดเชย

ระบบต้องการการชดเชยเมื่ออัตราการขยายทำให้ระบบไม่เสถียรภาพหรือมีโอเวอร์ชูทสูง ดังนั้นจุดมุ่งหมายของการชดเชยในทางคณิตศาสตร์ คือต้องการเลื่อนค่ารากของสมการคุณสมบัตินี้ของระบบไปทางด้านซ้ายของ s-plane ให้ค่ารากนั้นอยู่ในตำแหน่งที่ทำให้ผลตอบสนองชั่วคราวของระบบมีค่าที่เหมาะสม วิธีการดังกล่าวกระทำได้โดยเทคนิคการรูทโลกส์ซึ่งเทคนิคการเขียนทางรูทโลกส์สามารถกระทำได้ง่ายและการชดเชยจะทำให้ทางเดินของรูทโลกส์เปลี่ยนแปลงซึ่งเราจำเป็นต้องเขียนรูปทางเดินของรูทโลกส์ใหม่โดยต้องให้สอดคล้องกับข้อกำหนด 4 ข้อต่อไปนี้

1. เส้นทางเดินของ loci ผ่านส่วนของ s-plane ซึ่งมีรากที่เราต้องการ
2. ค่าอัตราการขยายที่เราต้องการจะเป็นตัวกำหนดของค่ารากให้อยู่ในตำแหน่งที่เราต้องการต้องสอดคล้องกับข้อกำหนดของความเที่ยงตรง
3. เมื่อมีการชดเชยจะเป็นการเพิ่มโพลและซีโรตัวใหม่ โพลและซีโรที่เราเพิ่มขึ้นใหม่นี้จะต้องอยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสมเพื่อเขียนรูปรูทโลกส์ขึ้นมาใหม่และต้องสอดคล้องกับอัตราการขยายที่ต้องการ
4. เมื่อมีการชดเชยก็จะเป็นการเปลี่ยนตำแหน่งของโพลหรือซีโรของระบบเดิมโครงสร้างโพล-ซีโรอันใหม่จะต้องทำให้ทางเดินของรูทโลกส์ที่เหมาะสมและต้องสอดคล้องกับข้อกำหนดของอัตราการขยายด้วย

เรามักจะใช้เทคนิคคลองผิดลองถูกกันเป็นส่วนมากซึ่งสังเกตได้ว่าอัตราการขยายของระบบมักจะเป็นตัวที่ปรับค่าได้แต่ก็เป็นเพียงทำให้ค่ารากเคลื่อนไปตามทางเดินของรูทโลกส์เท่านั้น และทางเดินของรูทโลกส์เองก็จะเป็นตัวกำหนดว่าการปรับค่าอัตราการขยายจะมีประสิทธิภาพเท่าไร ตามปกติแล้วการชดเชยของระบบอาจวิเคราะห์ได้ด้วยเทคนิคของโบลพล็อต เนื่องจากระบบจะอยู่ที่ขีดจำกัดของเสถียรภาพเมื่อเฟสมารจินของอัตราการขยายเป็นศูนย์ (แต่ระบบจะมีเสถียรภาพเมื่อเฟสมารจินและมาจินของอัตราการขยายเป็นบวกและผลตอบสนองจะดัมป์ลงด้วยดีเมื่อมารจินมีค่าเป็นบวก) ดังนั้นจุดมุ่งหมายของการชดเชยคือต้องการให้เฟสมารจินและมารจินของอัตราการขยายมีค่ามากโดยที่ไม่ทำให้ความเที่ยงตรงที่สภาวะสงบนิ่งลดน้อยลง (เราไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถจะหาเฟสแมริจิ้นและแมริจิ้นของอัตราขยายได้ถ้าหากทราบเฟอริฟังก์ชันแบบลูปเปิดมีโพลอยู่ในครึ่งขวาของ s-plane ในกรณีดังกล่าวถือได้เป็นกรณีพิเศษซึ่งเราจะไม่พิจารณาในที่นี้) ตามปกติการเปลี่ยนแปลงในระบบทำให้รูปร่างของทั้งแมกนิจูดและเฟสเปลี่ยนไปด้วย การชดเชยของระบบสามารถกระทำได้ 2 วิธีดังต่อไปนี้

1. หาทางที่จะชดเชยหรือเปลี่ยนรูปร่างของเส้นโค้งที่แสดงของมมูมของเฟสซึ่งอยู่ในพื้นที่ของจุดตัดระหว่างเส้นโค้งแมกนิจูดเปลี่ยนแปลงไปน้อยที่สุด

2. หาทางที่จะชดเชยหรือเปลี่ยนแปลงรูปร่างของเส้นโค้งของแมกนิจูดโดยพยายามให้จุดตัดของแกนแมกนิจูดตัดกับความถี่เลื่อนไปยังค่าที่ทำให้เฟสแมริจิ้นของระบบที่ยังไม่ชดเชยมีค่าที่เหมาะสม การชดเชยลักษณะนี้จะต้องทำให้เส้นโค้งแมกนิจูดถึงเฟสที่จุดตัดใหม่ของแมกนิจูดกับความถี่มีการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด

ทั้งสองวิธีที่ได้กล่าวมาแล้วสมมติว่า อัตราขยายที่ความถี่ต่ำ (ซึ่งเป็นตัวกำหนดความเที่ยงตรง) คงสภาพอยู่ที่ค่าที่เหมาะสม

วิธีการชดเชยแบ่งออกได้เป็น 2 แบบคือ การชดเชยแบบคาสเคด (cascade) และการชดเชยแบบป้อนกลับ

2.10.1 การชดเชยแบบคาสเคด

วงจรที่ใช้ชดเชยแบบนี้มักจะเป็นวงจรพหุฟิลเตอร์ ปกติใช้ R-C ค่าต่าง ๆ ต่อรวมอยู่กับแอมพลิไฟเออร์ซึ่งคาสเคดอยู่กับส่วนของฟอร์เวิร์ดและมีทรานเฟอริฟังก์ชันอยู่ในฟอร์ม

$$G_c = K_c \left(\frac{s+z}{s+p} \right) \quad 2-26$$

ซึ่งคุณอยู่กับทรานเฟอริฟังก์ชันของระบบที่ยังไม่ได้ชดเชยนี้ทำให้ได้ซีโรที่ $-z$ และโพลที่ $-p$ (หรือสอดคล้องกับความถี่ที่แมกนิจูดหักเห (corner frequency) ของโพลพล็อต) ปัญหาการออกแบบเราต้องเลือกค่าของ K_c , z และ p ที่จะทำมีผลตอบสนองไดนามิกที่ยอมรับ

2.10.2 การชดเชยแบบป้อนกลับ

ในระบบถ้าหากเราวัดค่าอาร์เมเจอร์โวลเตจของมอเตอร์ได้ สัญญาณดังกล่าวเป็นเสมือนความเร็วเอาท์พุทของมอเตอร์ซึ่งสามารถใช้เป็นสัญญาณสำหรับป้อนกลับของระบบเสมือนกับสัญญาณชดเชย การป้อนกลับนี้อาจกระทำได้โดยตรงหรืออาจฟิลเตอร์หรือขยายเสีย

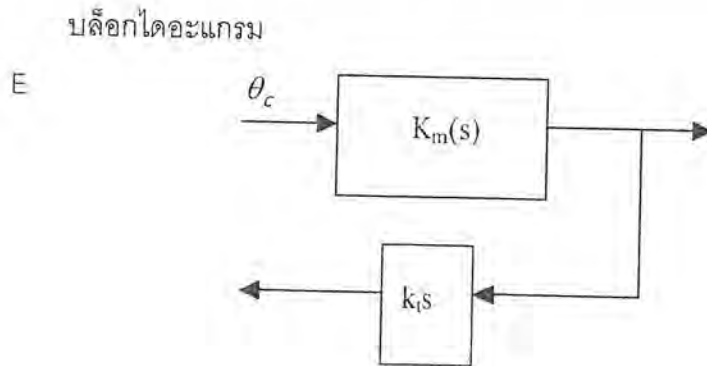
ก่อนจึงป้อนเข้าระบบ จุดที่สำคัญนี้จะป้อนเข้าในระบบกระทำได้ตามใจชอบโดยยึดหลักของความสะดวกและกระทำได้ง่าย จุดมุ่งหมายของการชดเชยแบบป้อนกลับ ก็มีความคล้ายคลึงกับการชดเชยแบบคาคเคท แต่ผลของการชดเชยที่ทำให้ทรานเฟอร์ฟังก์ชันเปลี่ยนแปลง มองเห็นได้ไม่ชัดเจนเหมือนกับการคาคเคทแบบสมการ 2-26

การชดเชยแบบป้อนกลับในทางปฏิบัติกระทำได้หลายลักษณะ ในกรณีการขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้าที่เป็นการบังคับความเร็วหรือการบังคับตำแหน่ง การชดเชยแบบป้อนกลับกระทำได้ดังแสดงในรูป 2.17 ซึ่งแสดงถึงวงจรรวมและไดอะแกรมของทรานเฟอร์ฟังก์ชัน

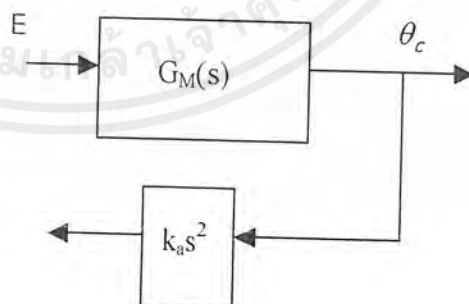
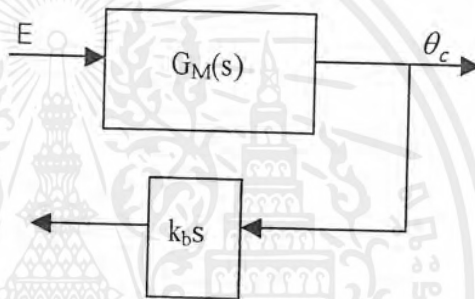
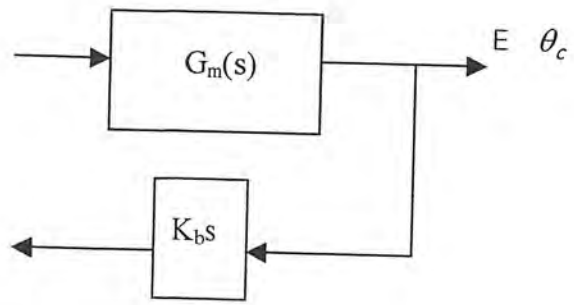
ตัวอย่างการชดเชยแบบคาคเคท

เครื่องมือขนาดเล็กของระบบเซอร์โวแสดงในไดอะแกรมของรูป 2.18 (ก) ระบบมีเสถียรภาพแต่โอเวอร์ชูตสูง ดังนั้นจึงต้องใช้การชดเชยแบบคาคเคทบล็อกไดอะแกรมของระบบหลังการชดเชยแล้วแสดงในรูป 2.18 (ข) เราจะเลือกค่า z , p และ K_c เพื่อให้อัตราการแฉ้มที่มีค่า $\zeta = 0.5$ และอัตราขยายมีค่าอยู่ที่ $K_v = \frac{10001}{10} = 100$ จากโพลไดอะแกรมรูปที่ 1.19 ของระบบที่ยังไม่ได้ชดเชยมีเฟสมารจิน 18° และประเมนค่า ζ ได้เท่ากับ 0.5 แต่ตามข้อกำหนดต้องการให้เฟสมารจินเท่ากับ 50° ในปัญหานี้เราแก้ไขได้โดยการเปลี่ยนรูปร่างของเส้นโค้งของมุมเฟสใหม่โดยกำหนดตำแหน่งซีโรและโพลของตัวชดเชยเพื่อให้จุดตัดของแมกนิจูดของระบบที่ยังไม่ได้ชดเชยอยู่ระหว่างตำแหน่งทั้งสองซึ่งมีซีโรอยู่ทางด้านความถี่ต่ำการกำหนดตำแหน่งของซีโรและโพลในวิธีปฏิบัติจริง ๆ อาจต้องอาศัยวิธีการลองผิดลองถูกเพื่อให้ได้ผลตามที่ต้องการ เฟสมารจินที่ได้เท่ากับ 66° ซึ่งมากกว่าที่ต้องการ เราสังเกตได้ว่าแมกนิจูดที่อยู่ในความถี่ต่ำจะไม่เปลี่ยนแปลงโดยให้ K_c เท่ากับ p/z เพื่อให้ได้ K_v คงที่อยู่ที่ 100

ปัญหาเดียวกันนี้สามารถแก้ปัญหโดยวิธีของรูดโรกัส รูดโรกัสของระบบที่ยังไม่ได้ชดเชยแสดงในรูปที่ 2.20 ทรานเฟอร์ฟังก์ชันที่มีการชดเชยแล้วได้เท่ากับ

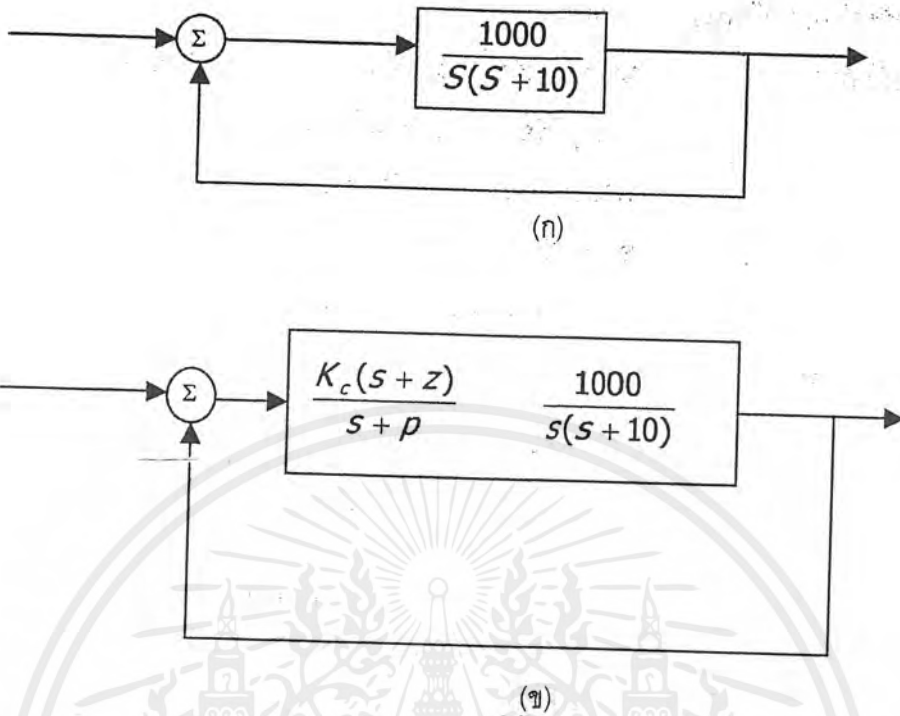


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

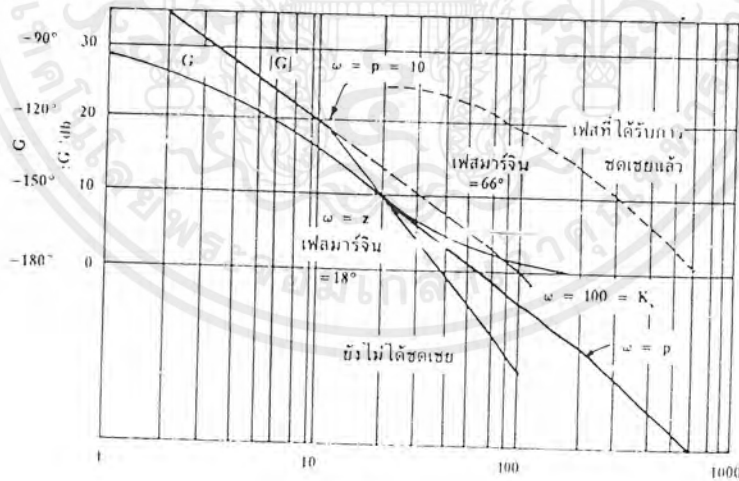


รูปที่ 2.17 วงจรขดเคเบแบบป้อนกลับแบบต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



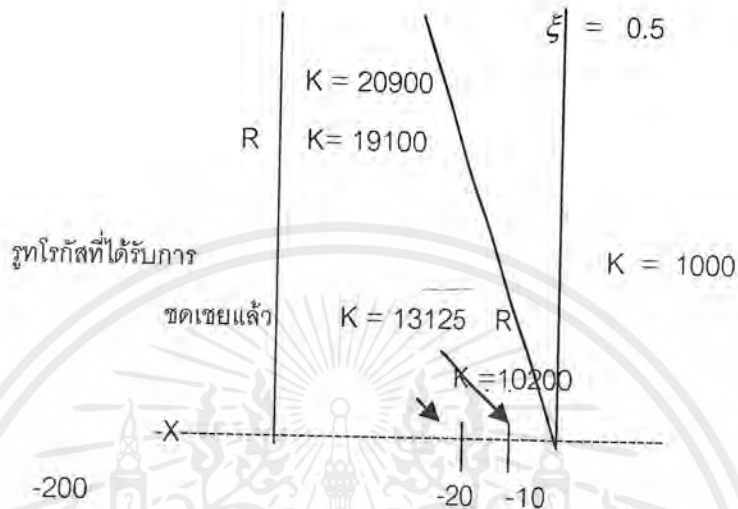
รูปที่ 2.18 (ก) ระบบที่ยังไม่ได้ชดเชย (ข) ระบบที่ชดเชยแล้ว



รูปที่ 2.19 แสดงถึงโพลพล็อตของระบบในรูป 2.18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$G_c(s) = \frac{20000(s + 20)}{s(s + 10)(s + 20)} \quad 2-27$$



รูปที่ 2.20 แสดงถึงทางเดินของรูทโวกส์ของระบบในรูป 2.18

แสดงค่ารากที่จุดซึ่งอัตราขยายของรูทโวกส์เท่ากับ 20000 จุดของอัตราขยายต่าง ๆ อยู่บนทางเดินของรูทโวกส์เป็นเสมือนตำแหน่งของราก เราจะเห็นได้ว่า $\zeta > 0.5$ ตามความคาดหมายนอกจากนี้ค่ารากที่เป็นจริง อยู่ที่ $S \approx -22.5$ อย่างไรก็ตามที่โรที่จุด

$S = -20$ เป็นทรานเฟอร์ฟังก์ชันแบบลูปปิดและเท่ากับเป็นทรานเฟอร์ฟังก์ชันแบบเปิดลูปด้วย และเราคำนวณค่าของผลตอบสนองของซีโรชั่วขณะจะเป็นตัวลดค่ารากที่เป็นจริง (real root) ให้มีค่าน้อยลงอย่างมาก

ตัวอย่างการชดเชยแบบป้อนกลับ

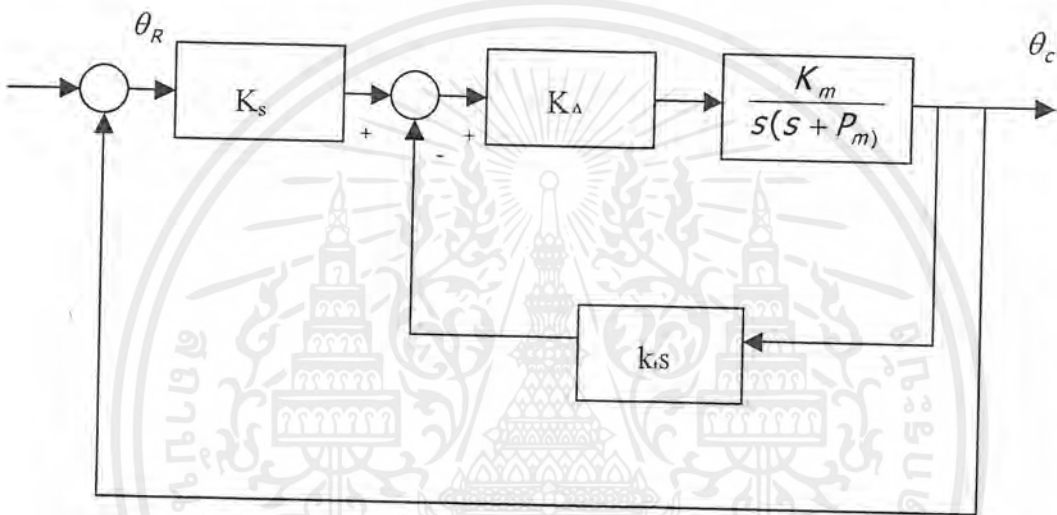
ทรานเฟอร์ฟังก์ชันของตัวชดเชยแบบคาดเคทสามารถเอาคู่กับลูปทรานเฟอร์ฟังก์ชันซึ่งทรานเฟอร์ฟังก์ชันในลักษณะนี้เหมาะสมกับการวิเคราะห์แบบโบทพล็อต เมื่อการชดเชยเป็นแบบป้อนกลับของรูทโวกส์จะให้การวิเคราะห์คุณสมบัติและการตัดสินใจได้สะดวกกว่า แม้ว่าจะไม่ค่อยสะดวกนักสำหรับการคำนวณตัวเลข

ตัวอย่างที่ 1

พิจารณาถึงเครื่องมือเซอร์โวสำหรับการบังคับตำแหน่งที่มีการแฉกที่ผลตอบสนองด้วยการป้อนกลับด้วยทาโคมิเตอร์ ตัวอย่างใช้มอเตอร์แบบ 2 เฟสและคาโคมิเตอร์และใช้ขวงโคเป็นตัววัดตำแหน่งดังแสดงในรูปที่ 1.21

ทราบเฟอ์ฟังก์ชันของระบบที่ยังไม่ได้ชดเชยเท่ากับ

$$G(s) = \frac{K_s K_a K_m}{S(S+P_m)} \tag{2-28}$$



รูปที่ 2.21 บล็อกไดอะแกรม

หลังจากชดเชยแล้วรูปของทาโคมิเตอร์สามารถลดเป็นบล็อกสมมูลยี่ได้คือ

$$\begin{aligned} G_{cq} &= \frac{G}{1+GH} = \frac{K_a K_m / S(S+P_m)}{1 + K_a K_m K_t S / S(S+P_m)} \\ &= \frac{K_a K_m}{S^2 + P_m S + K_a K_m K_t S} \\ &= \frac{K_a K_m}{S(S + P_m + K_a K_m K_t)} \end{aligned} \tag{2-29}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการข้างบนจะเห็นได้ว่าผลการป้อนกลับด้วยทาโคมิเตอร์ทำให้เกิดผลการเปลี่ยนแปลงของทรานเฟอร์ฟังก์ชันในส่วนของฟอร์เวิร์ดในกรณีนี้การเปลี่ยนแปลงที่เห็นได้ชัดคือค่าของโพลคือโพลจะเคลื่อนไปอยู่ทางซ้ายมากขึ้น

ในการออกแบบระบบลำดับที่สองนี้ ถ้าหากเราสามารถประเมินตำแหน่งที่เหมาะสมของโพลสมมูลย์ได้เราก็สามารถคำนวณหาค่า K_t ที่ต้องการได้จากสมการโดยง่าย อีกวิธีหนึ่งที่เราเลือกใช้ได้โดยการพล็อตทรูทโรกัสคือการกระจายสมการออกเพื่อหาสมการคุณสมบัติของระบบซึ่งหาได้เป็น

$$S^2 + (P_m + K_a K_m K_t)S + K_a K_m K_s = 0 \quad 2-30$$

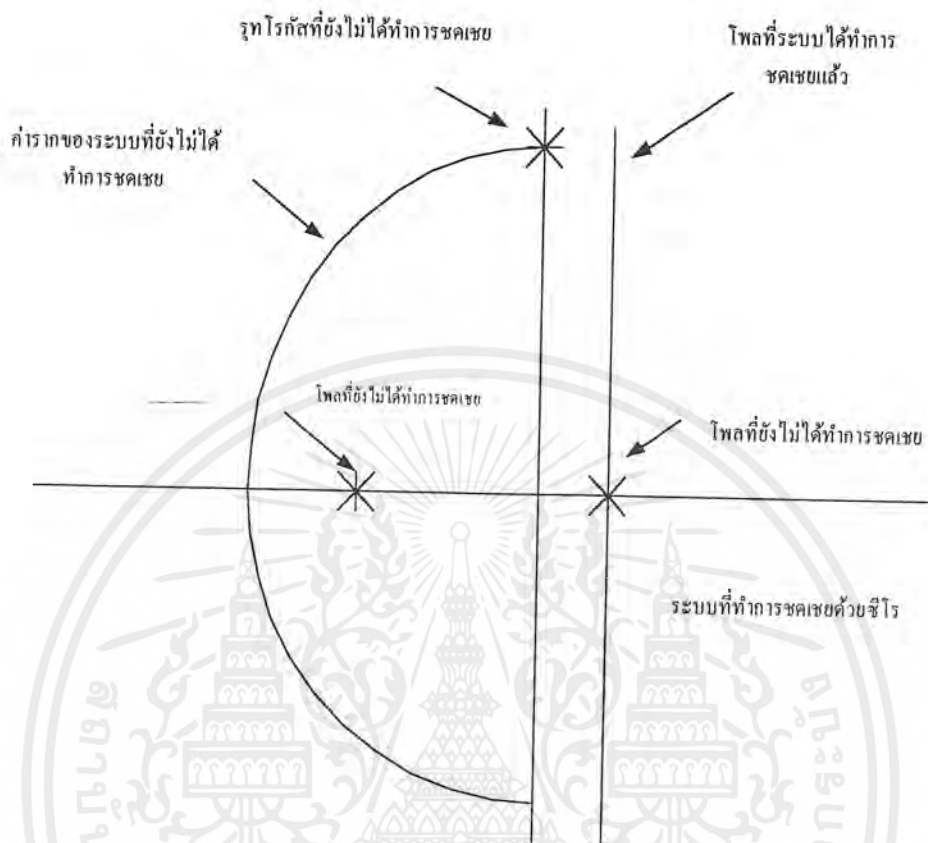
สมการนี้สามารถจัดฟอร์มใหม่ได้

$$\frac{K_t K_a K_m S}{S^2 + P_m S + K_a K_m K_t} + 1 = 0 \quad 2-31$$

เราสังเกตได้ว่าส่วนของสมการข้างบนคือสมการคุณสมบัติของระบบที่ยังไม่ได้ขัดเขยและแยกแพคเตอร์ได้เป็น

$$\frac{K_a K_m K_t S}{(S + r_1)(S + r_2)} = -1 \quad 2-32$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.22 แสดงถึงรูทโวกัสของระบบการชดเชยแบบป้อนกลับ

เมื่อ r_1 และ r_2 คือรากของสมการคุณสมบัตินิพจน์ของระบบที่ยังไม่ได้ชดเชย ต่อจากนั้นเราสามารถจะทำการวิเคราะห์ระบบเทคนิคของรูทโวกัสตามขั้นตอนต่อไปนี้

1. วาดรูปรูทโวกัสของระบบที่ยังไม่ได้ชดเชยและหาค่าราก
2. เปรียบเทียบรูทโวกัสของระบบที่ชดเชยแล้วโดยหาค่ารากที่หาได้ในข้อ (1)

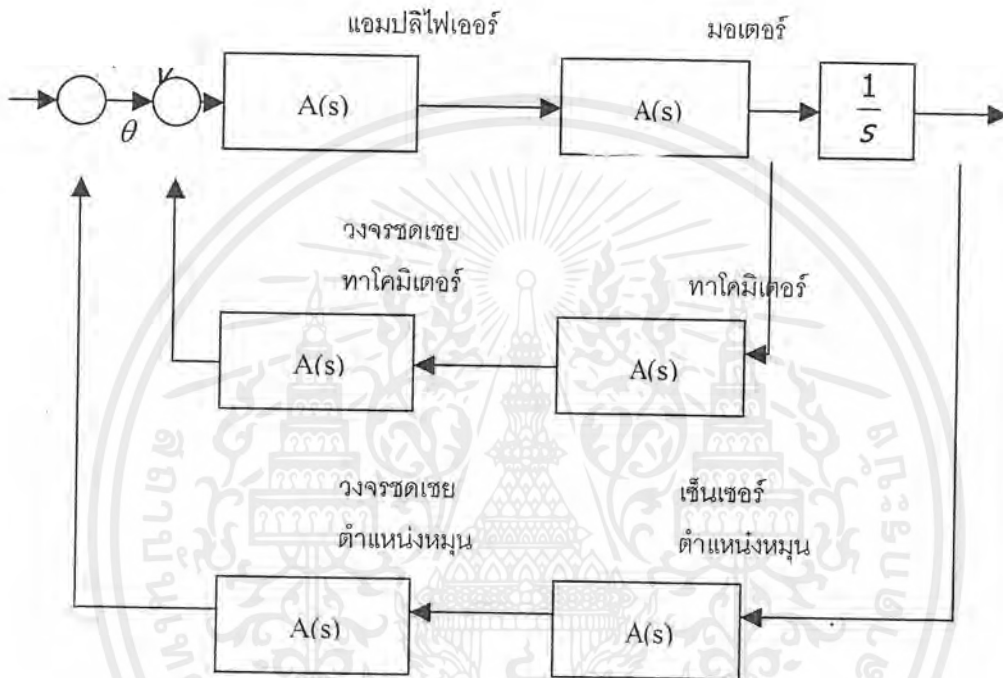
และเพิ่มซีโรเข้าที่จุดกำเนิดตามความต้องการของสมการ

ผลการวิเคราะห์ดังกล่าวแสดงในรูป 2.22 จากรูปรูทโวกัสเราจะเห็นได้ว่าอัตราการขยายของทาโคมิเตอร์สามารถปรับค่าเพื่อให้ได้ ζ ตามที่ต้องการโดยให้ระบบมีผลตอบสนองเป็นโอเวอร์แดมพ์ (มีรากเป็นค่าจริงทั้งหมด) ถ้าเราต้องการ นอกจากนั้นเรายังจะเห็นได้ว่าเมื่อ $\zeta < 1.0$ รูทโวกัสจะเป็นวงกลมที่มีศูนย์กลางอยู่ที่จุดกำเนิด ดังนั้นความถี่ ω_n จะไม่เปลี่ยนแปลงโดยการป้อนกลับด้วยความเร็ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างที่ 2

พิจารณาถึงระบบการบังคับตำแหน่งแบบมีการป้อนกลับด้วยทาโคมิเตอร์แสดงโดยบล็อกไดอะแกรมในรูปที่ 2.23



รูปที่ 2.23 บล็อกไดอะแกรมแสดงถึงระบบการบังคับตำแหน่งแบบมีการป้อนกลับด้วยทาโคมิเตอร์

เมื่อ $A(s)$: ทรานเฟอร์ฟังก์ชันของแอมพลิไฟ

$M(s)$: ทรานเฟอร์ฟังก์ชันของมอเตอร์

K_0 : อัตราขยายของทาโคมิเตอร์

$F(s)$: ทรานเฟอร์ฟังก์ชันของวงจรถดเชยตัวทาโคมิเตอร์

$1/S$: แทนความสัมพันธ์ของโครงสร้างระหว่างความเร็วของเพลามอเตอร์และตำแหน่งของเพลามอเตอร์

K_p : อัตราการขยายของตัวเซ็นเซอร์ตำแหน่งของเพลามอเตอร์

$G(s)$: ทรานเฟอร์ฟังก์ชันของการชดเชยตำแหน่งของเพลามอเตอร์เพื่อที่จะเคราะห์

รูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทรานเฟอร์ฟังก์ชันของลูปภายในแสดงได้โดย

$$H(s) = \frac{\Omega(s)}{E(s)} = \frac{A(s)M(s)}{1 + A(s)M(s)K_g F(s)} \quad 2-33$$

ทรานเฟอร์ฟังก์ชันแบบปิดรูปได้เป็น

$$\frac{\theta(s)}{V_{in}(s)} = \frac{H(s) \frac{1}{s}}{1 + \frac{1}{s} K_p H(s) G(s)} \quad 2-34$$

ทรานเฟอร์ฟังก์ชันแบบลูปปิด $L(s)$ กำหนดได้โดย

$$L(s) = \frac{K_p H(s) G(s)}{s} \quad 2-35$$

พิจารณาสมการ 2-35 เราได้พบสามมีโพลอยู่ที่จุดกำเนิดซึ่งเป็นสาเหตุให้เฟสล่าหลังไป 90° การล่าหลังไปของเฟสนี้คือเหตุผลที่แสดงให้เห็นว่าทำไมการทำให้ลูปการบังคับตำแหน่งมีเสถียรภาพได้มากกว่าลูปการบังคับความเร็ว เพื่อที่จะเพิ่มเฟสมาร์จินให้มากขึ้นในการแก้ไขสถานะภาพของเสถียรภาพให้ดีขึ้นเราต้องลดการล่าหลังของเฟสในสมการ 1-35 ให้น้อยลงมากที่สุดเท่าที่จะทำได้ หนทางหนึ่งที่จะทำได้ตามจุดประสงค์นี้คือการใช้การชดเชยแบบ lead-lag ที่มีทรานเฟอร์ฟังก์ชัน $G(s)$ ดังนี้

$$G(s) = \frac{1 + s/a}{1 + s/b} \quad a < b \quad 2-36$$

เราจะเลือกพารามิเตอร์ a และ b เพื่อให้ได้เฟสนำไปตามที่ต้องการในช่วงพิสัยความถี่วิกฤต $H(s)$ ซึ่งกระทำได้โดยการเพิ่มอัตราขยายของลูปภายใน ผลการเพิ่มดังกล่าวกระทำได้โดยการเพิ่มวงจร lag network ซึ่งมีทรานเฟอร์ฟังก์ชัน $F(s)$ ดังนี้

$$F(s) = \frac{1}{1 + s/C}$$

เมื่อ C คือค่าคงที่ซึ่งเป็นบวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่ออัตราการขยายของลูปภายในมีค่ามาก $A(s) M(s) K_g F(s) = 1$ สมการ 2-33 มีค่าโดยประมาณเป็น

$$H(s) = \frac{1}{K_g F(s)} \quad 2-38$$

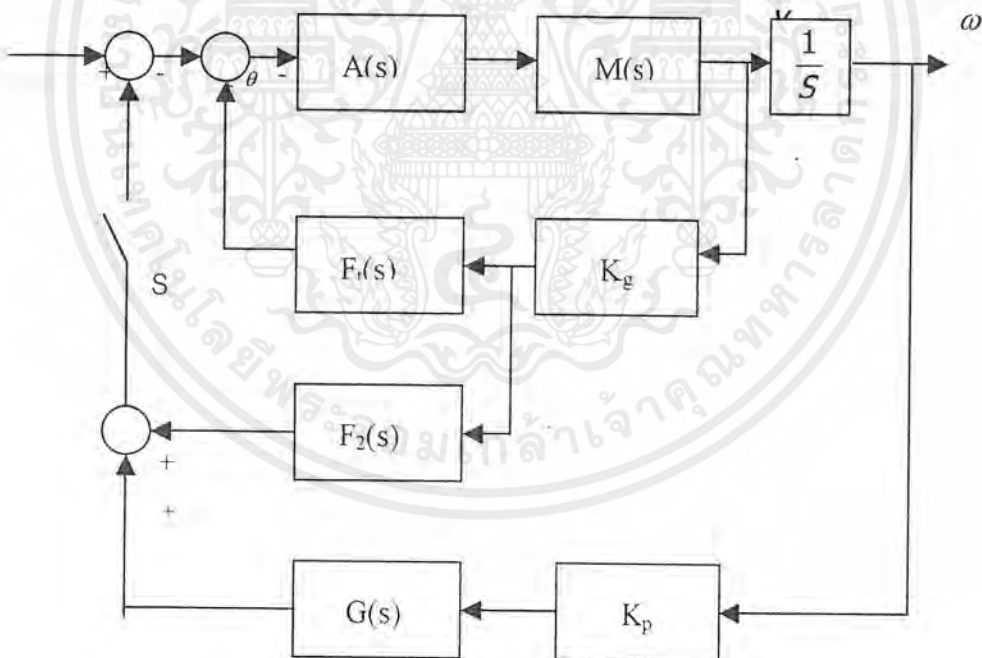
รวมสมการ 2-38 กับสมการ 2-37 ได้เป็น

$$H(s) = \frac{1 + S/C}{K_g} \quad 2-39$$

ดังนั้น $H(s)$ ซึ่งมีค่าสมการข้างบนจะทำให้เกิดเฟสนำและเกิดเฟสล้า

ถ้าระบบทำงานเป็นเสมือนระบบการบังคับความเร็วในลักษณะที่ทำงานได้หลายโหมดวงจร lag-network ในลูปภายในและการเพิ่มอัตราขยายสามารถให้ผลเป็นส่วนกลับดังผลตอบสนองของลูปความเร็ว ดังนั้นเราสามารถใช่วงจรชดเชยแบบต่าง ๆ สำหรับลูปความเร็วที่มีการทำงานได้เป็น 2 โหมด ระบบดังกล่าวสามารถแสดงได้ด้วยบล็อกไดอะแกรมในรูปที่ 1.24 เราออกแบบชดเชย $F(s)$ สำหรับการทำงานแบบการบังคับความเร็วและผลบวกของ

$F_1(s) + F_2(s)$ ใช้สำหรับลูปการชดเชยภายในสำหรับการทำงานของการบังคับตำแหน่ง



รูปที่ 2.24 ระบบการบังคับทำงานแบบมัลติโหมดเมื่อสวิตช์ปิดระบบจะทำงานเป็นเสมือนระบบการบังคับตำแหน่ง เมื่อสวิตช์ S เปิดระบบจะทำงานเป็นแบบการบังคับความเร็ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.11 การทำงานของดีซีมอเตอร์

ดีซีมอเตอร์เป็นทรานสดิวเซอร์แรงบิดซึ่งมีการออกแบบให้มีคุณลักษณะพิเศษคือแรงบิดของเพลาดีซีมอเตอร์จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับกระแสอาร์มาเจอร์ แรงบิดของเพลาดีซีมอเตอร์จะได้จากผลระหว่างสนามแม่เหล็กและขดลวดตัวนำ หลักการนี้แสดงได้ในรูป 2.25 ในที่นี้กระแสไหลในขดลวดตัวนำจะสร้างฟิลด์ที่ประกอบด้วยเส้นแรงแม่เหล็ก ϕ และขดลวดตัวนำเหล่านั้นอยู่ห่างจากการหมุนเท่ากับ r ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดของเพลากับกระแสเท่ากับ

$$T = K.I\phi \quad 2-40$$

เมื่อ T คือ แรงบิดของเพลามีหน่วยเป็นนิวตัน-เมตร
 ϕ คือ เส้นแรงแม่เหล็กมีหน่วยเป็นเวเบอร์
 I คือ กระแสมีหน่วยเป็นแอมแปร์
 และ K คือ ตัวคงที่ ดังนั้นแรงบิดของเพลาก็จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับผลคูณของเส้นแรงแม่เหล็กและกระแสเมื่อขดลวดตัวนำเคลื่อนที่ในสนามแม่เหล็กก็จะทำให้เกิดโวลต์เตจตกคร่อมตัวมันเองโวลต์เตจนี้จะเป็นสัดส่วนกับความเร็วของเพลามอเตอร์และด้านการไหลของกระแส ความสัมพันธ์ระหว่างโวลต์เตจย้อนกลับนี้และความเร็วของเพลามอเตอร์คือ

$$E = K\phi\omega \quad 2-41$$

2.12 การแยกประเภทของดีซีมอเตอร์

ดีซีมอเตอร์สามารถแบ่งออกได้เป็นหลายประเภทขึ้นอยู่กับลักษณะวิธีการสร้างสนามแม่เหล็กของดีซีมอเตอร์และขึ้นอยู่กับพื้นฐานการออกแบบโครงสร้างของอาร์มาเจอร์ การแบ่งประเภทตามลักษณะการจ่ายสนามแม่เหล็กแยกออกได้เป็น 2 แบบคือ

1. ดีซีมอเตอร์แบบปรับเส้นแม่เหล็กแรงได้
2. ดีซีมอเตอร์แบบเส้นแม่เหล็กคงที่

ถ้าเราจะพิจารณาแยกประเภทตามลักษณะการออกแบบโครงสร้างอาร์มาเจอร์สามารถแยกออกได้เป็น 3 แบบคือ

1. ดีซีมอเตอร์แบบอาร์มาเจอร์เป็นแกนเหล็ก
2. ดีซีมอเตอร์แบบอาร์มาเจอร์ที่มีขดลวดพันอยู่บนพื้นผิว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ดีซีมอเตอร์แบบอาร์มาเจอร์เป็นขดลวดหมุน

นอกจากนี้ยังมีดีซีมอเตอร์ชนิดพิเศษอีกแบบหนึ่งคือแบบไม่มีแปรงถ่าน (brushless dc motor) ซึ่งมีหลักการทางเทคโนโลยีเหมือนดีซีมอเตอร์ชนิดมีแปรงถ่านยกเว้น การคือมีมิวเทชั้ นกระทำโดยเทคนิคทางอิเล็กทรอนิกส์แทนที่จะกระทำโดยวิธีทางเชิงกล

2.12.1 ดีซีมอเตอร์แบบปรับเส้นแรงแม่เหล็กได้

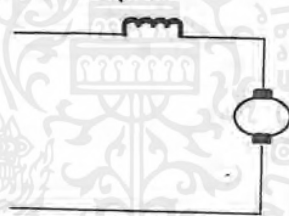
ดีซีมอเตอร์แบบปรับเส้นแรงแม่เหล็กได้ยังแบ่งได้เป็น 2 แบบคือ

ก) แบบขดลวดสนามแม่เหล็กต่ออนุกรมกับขดลวดอาร์มาเจอร์

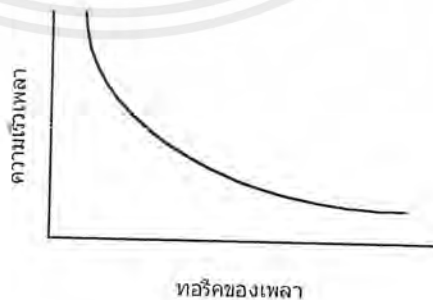
ข) แบบขดลวดสนามแม่เหล็กแยกกระตุ้น

ตัวอย่างของมอเตอร์แบบขดลวดสนามแม่เหล็กต่ออนุกรมแสดงดังรูป 2.26 มอเตอร์แบบนี้จะมีเส้นแรงแม่เหล็กเป็นสัดส่วนกับกระแส ดังนั้นเส้นแรงแม่เหล็กของสนามแม่เหล็กจึงสามารถปรับค่าได้ และเราจะได้ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วและแรงบิดเป็นนอนลิเนียร์ดังแสดงในรูปที่ 2.27

ขดลวดสนามอนุกรม



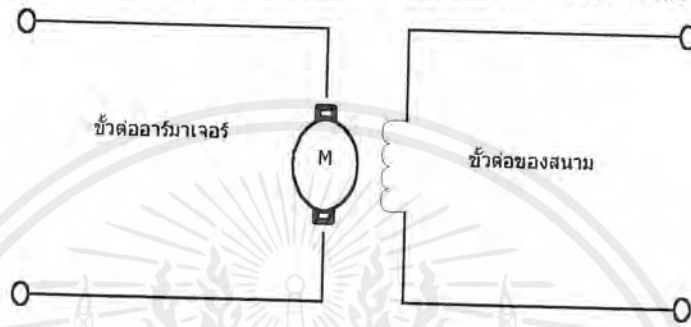
รูปที่ 2.26 ดีซีมอเตอร์แบบอาร์มาเจอร์ต่ออนุกรมกับขดลวดสนามแม่เหล็ก



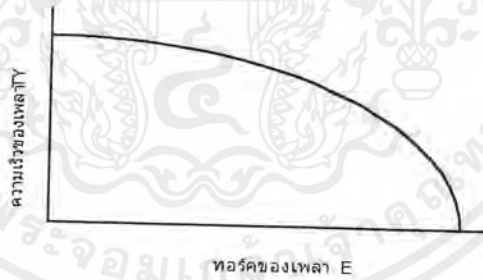
รูปที่ 2.27 คุณสมบัติระหว่างความเร็วและแรงบิดของของดีซีมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างของมอเตอร์แบบขดลวดสนามแม่เหล็กแยกกระตุ้นแสดงในรูป 2.28 ดีซีมอเตอร์แบบนี้มักนิยมเรียกกันว่ามอเตอร์ชานาน (shunt motor) มอเตอร์แบบนี้สามารถปรับเส้นแรงแม่เหล็กได้อย่างอิสระต่อกระแสของอาร์มาเจอร์ ยังผลให้สามารถควบคุมพารามิเตอร์ของมอเตอร์ให้มีค่าคงที่ได้ตลอดช่วงพิสัยที่กว้าง มอเตอร์นี้มักใช้งานในกรณีระบบบังคับการเคลื่อนที่ต้องการแรงบิดสูง ในรูป 2.29 แสดงถึงคุณสมบัติระหว่างแรงบิดกับความเร็วของชั้นท์มอเตอร์ภายใต้ภาวะการกระตุ้นสนามแม่เหล็กคงที่และอาร์มาเจอร์โวลต์เตจคงที่



รูปที่ 2.28 ดีซีมอเตอร์แบบแยกปรับสนามแม่เหล็กได้



รูปที่ 2.29 แสดงคุณสมบัติระหว่างความเร็วและแรงบิดของชั้นท์มอเตอร์ภายใต้ภาวะอาร์มาเจอร์โวลต์เตจคงที่และสนามแม่เหล็กคงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

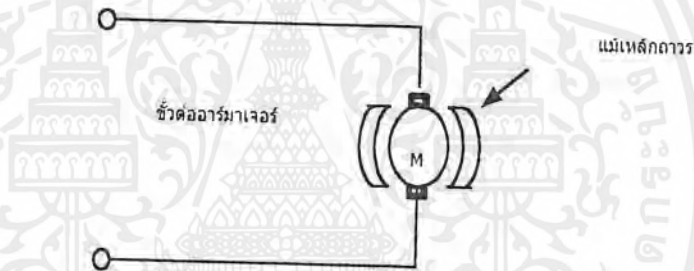
2.12.2 ดีซีมอเตอร์แบบเส้นแรงแม่เหล็กคงที่

ระบบการกระตุ้นฟลักซ์ของมอเตอร์โดยทั่วไปในปัจจุบันมักเป็นแบบแม่เหล็กถาวร ดังแสดงดังรูปที่ 2.30 ในระบบที่เส้นแรงฟลักซ์มีค่าคงที่ดังนั้น อัตราส่วนระหว่างกระแสอาร์มาเจอร์และแรงบิดจะมีค่าคงที่ ดังสมการ (2-40) เขียนให้ง่ายขึ้นได้เป็น

$$T = K_t I \quad (2-42)$$

และสมการ (2-41) ได้เป็น

$$E = K_e \omega \quad (2-43)$$



รูปที่ 2.30 ดีซีมอเตอร์แบบฟลักซ์เป็นแม่เหล็กถาวร

ระบบนี้จะให้ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสอาร์มาเจอร์ แรงบิดและความเร็วอยู่ในลักษณะลิเนียร์ สมการทางไฟฟ้าของดีซีมอเตอร์แบบนี้เขียนได้เป็น

$$V = K_e \omega + L \frac{di}{dt} + Ri$$

เมื่อ V คือโวลต์เตจที่ป้อนให้กับมอเตอร์

K_e คือค่าคงที่ของโวลต์เตจย้อนกลับ

L คืออินดักแตนซ์ของอาร์มาเจอร์

R คือความต้านทานที่ขั้วมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการไดนามิกของมอเตอร์คือ

$$T_g = J \frac{d\omega}{dt} + B\omega + T_f + T_L$$

เมื่อ T_g คือแรงบิดที่กำหนดโดยมอเตอร์

J คือผลรวมของโมเมนต์ของแรงเฉื่อยของมอเตอร์และโหลด

B คือสัมประสิทธิ์ของวิสกอสแดมป์

T_f คือแรงบิดเสียดทานภายใน

T_L คือแรงบิดโหลด

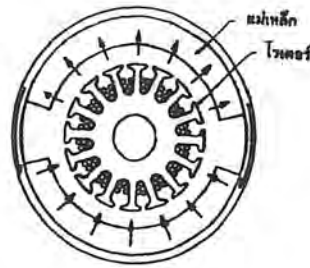
สมการต่างๆของมอเตอร์แบบแยกกระตุ้นฟิลด์จะเหมือนกับแบบกระตุ้นฟิลด์คงที่ อย่างไรก็ตามข้อดีของมอเตอร์แบบฟิลด์แม่เหล็กถาวรซึ่งเหนือกว่ามอเตอร์แบบมีโครงสร้างของฟิลด์ด้วยการพันของขดลวดคือ ไม่มีกำลังสูญเสียในฟิลด์ มีประสิทธิภาพสูงกว่าและมีขนาดเล็กกว่าเมื่อเทียบกับมอเตอร์ที่มีขนาดแรงม้าเท่ากันนอกจากนั้นความล้มพันธ์เชิงเส้นในสมการ 2-40 ยังให้ค่าของกระแสอาร์เมเจอร์สูงกว่าดีซีมอเตอร์แบบฟิลด์ขดลวด การประยุกต์ใช้งานเหมาะสำหรับระบบที่ต้องการแรงบิดสูง

2.12.3 ดีซีมอเตอร์แบบอาร์เมเจอร์ที่เป็นแกนเหล็ก

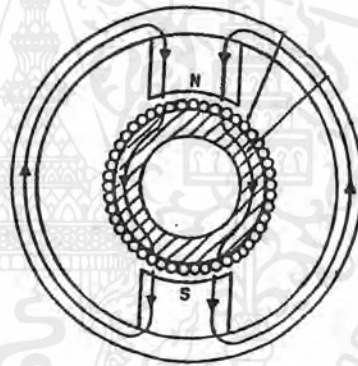
โครงสร้างของมอเตอร์และสเตเตอร์ของมอเตอร์แบบแกนเหล็กแสดงในรูปที่ 2.31 โครงสร้างของมอเตอร์แบบนี้มีโมเมนต์ของแรงเฉื่อยสูงที่สุดและมีค่าอินดักแตนซ์ของโรเตอร์สูงที่สุดด้วยดังนั้นมอเตอร์จึงมีปริมาณการจุกความร้อนได้สูง และจะสามารถทนโอเวอร์โหลดได้ในระยะเวลาที่ยาวนานโดยไม่ทำให้มอเตอร์เสียหาย

2.12.4 ดีซีมอเตอร์แบบอาร์เมเจอร์มีขดลวดพันอยู่บนพื้นผิว

ในรูปที่ 2.32 แสดงถึงการออกแบบโรเตอร์ที่มีขดลวดพันอยู่บนพื้นผิว โดยไม่มีสล๊อททำให้อินดักแตนซ์ของโรเตอร์ต่ำกว่าแบบแกนเหล็ก ข้อเสียคือ ทำให้ขนาดของมอเตอร์แบบนี้ใหญ่ขึ้นและทำให้มีราคาที่แพงกว่าแบบแกนเหล็ก



รูปที่ 2.31 แสดงรูปหน้าตัดของดีซีมอเตอร์แบบอาร์เมเจอร์เป็นแกนเหล็กส่วนฟิลด์เป็นแม่เหล็ก



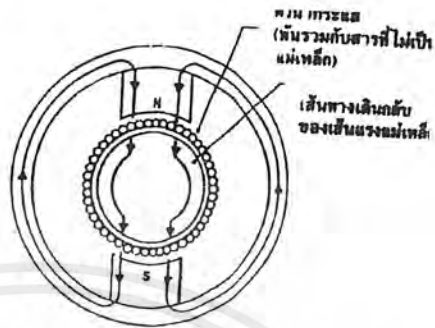
รูปที่ 2.32 แสดงรูปหน้าตัดของดีซีมอเตอร์แบบมีขดลวดบนพื้นผิวและฟิลด์เป็นแม่เหล็กถาวร

2.12.5 ดีซีมอเตอร์เป็นแบบอาร์เมเจอร์เป็นขดลวดหมุน

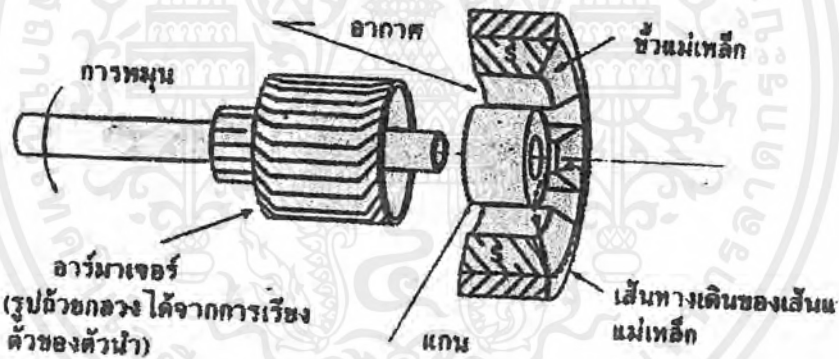
มอเตอร์แบบขดลวดหมุนนี้ได้ออกแบบเพื่อให้มีโมเมนต์ของแรงเฉื่อยน้อยมากดังแสดงในรูปที่ 2.33 และรูปหน้าตัดซึ่งมองด้านข้างของมอเตอร์ดังกล่าวไว้ในรูปที่ 2.34 และรูปลักษณะโครงสร้างภายนอกและโครงสร้างแม่เหล็กของมอเตอร์แบบที่มีช่องว่างอากาศ (air-gap) ระหว่างแม่เหล็กมากกว่ามอเตอร์ทั้งสองแบบที่กล่าวมาแล้ว ดังนั้นจำเป็นต้องออกแบบให้โครงสร้างของแม่เหล็กให้ใหญ่ขึ้นเพื่อให้ช่องว่างของอากาศระหว่างเส้นแรงแม่เหล็กที่เท่ากันกับของมอเตอร์ทั้งสองแบบดังกล่าว ดังนั้นราคาของมอเตอร์แบบนี้จึงมีราคาสูง นอกจากนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงสร้างของโรเตอร์มีความจุความร้อนต่ำมากถ้าหากเกิดโอเวอร์โหลดก็จะทำให้มอเตอร์เสียได้ง่ายและโรเตอร์ลักษณะนี้จะมีค่าอินดักแตนซ์ต่ำมากคือน้อยกว่า 10 ไมโครเฮนรี่



รูปที่ 2.33 หน้าตัดของดีซีมอเตอร์แบบมีโรเตอร์เป็นขดลวดเคลื่อนที่และฟิลด์เป็นแม่เหล็กถาวร

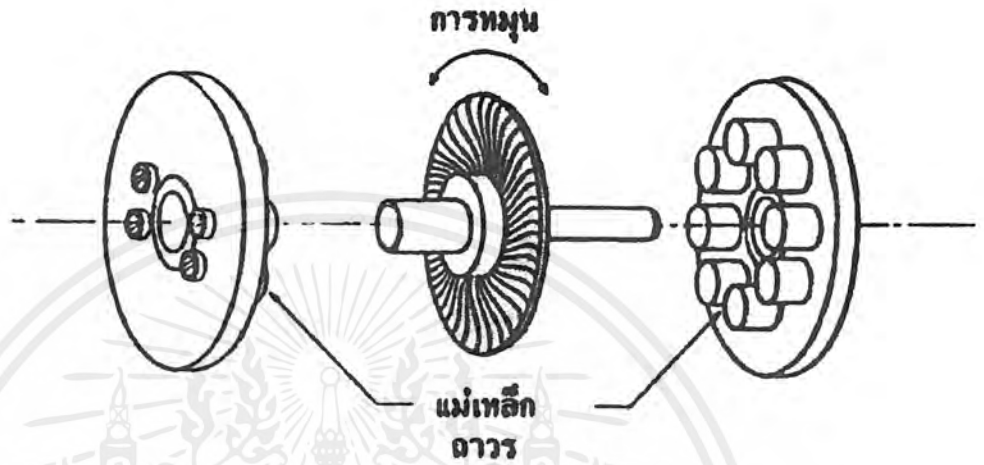


รูปที่ 2.34 แสดงถึงรูปหน้าตัดซึ่งมองด้านข้างดีซีมอเตอร์แบบมีโรเตอร์เป็นแบบขดลวดหมุน

ในรูปที่ 2.35 แสดงถึงมอเตอร์แบบขดลวดเคลื่อนที่อีกลักษณะหนึ่งซึ่งมีโครงสร้างของอาร์มาเจอร์เป็นรูปร่างจานซึ่งทำขึ้นจากขดลวดตัวนำซ้อนกันหลาย ๆ ชั้นซึ่งเรามักจะเรียกกันว่า printed motor ตัวอย่างอีกอันหนึ่งของมอเตอร์แบบขดลวดเคลื่อนที่ (หมุน) ซึ่งเป็นมอเตอร์ขนาด 7 แรงม้าซึ่งสามารถประยุกต์ใช้งานเครื่องมือกลได้ดีสามารถให้แรงบิดได้สูงถึง 100 ft-lb และฟิลล์ของกระแสได้ถึง 800 แอมป์ ในปัจจุบันดีซีมอเตอร์แบบโรเตอร์เป็นขดลวดหมุนนี้ให้คุณสมบัติการทำงานที่ดีเยี่ยมเหมาะสำหรับเป็นตัวขับเคลื่อนในระบบการบังคับตำแหน่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และยังให้อัตราส่วนระหว่างแรงบิดและแรงเฉื่อยได้สูงและมีค่าอินดักแตนซ์ต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับมอเตอร์แบบอื่น ๆ นอกจากนั้นความสามารถในการเพิ่มอัตราเร่งยังกระทำได้สูง 10^6 เรเดียน / วินาที²



รูปที่ 2.35 แสดงถึงดีซีมอเตอร์แบบโรเตอร์เป็นขดลวดหมุนมีรูปร่างเป็นจาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การสร้างและการออกแบบ

3.1 การคอนโทรลตำแหน่งหมุนของเพลาดิซีมอเตอร์

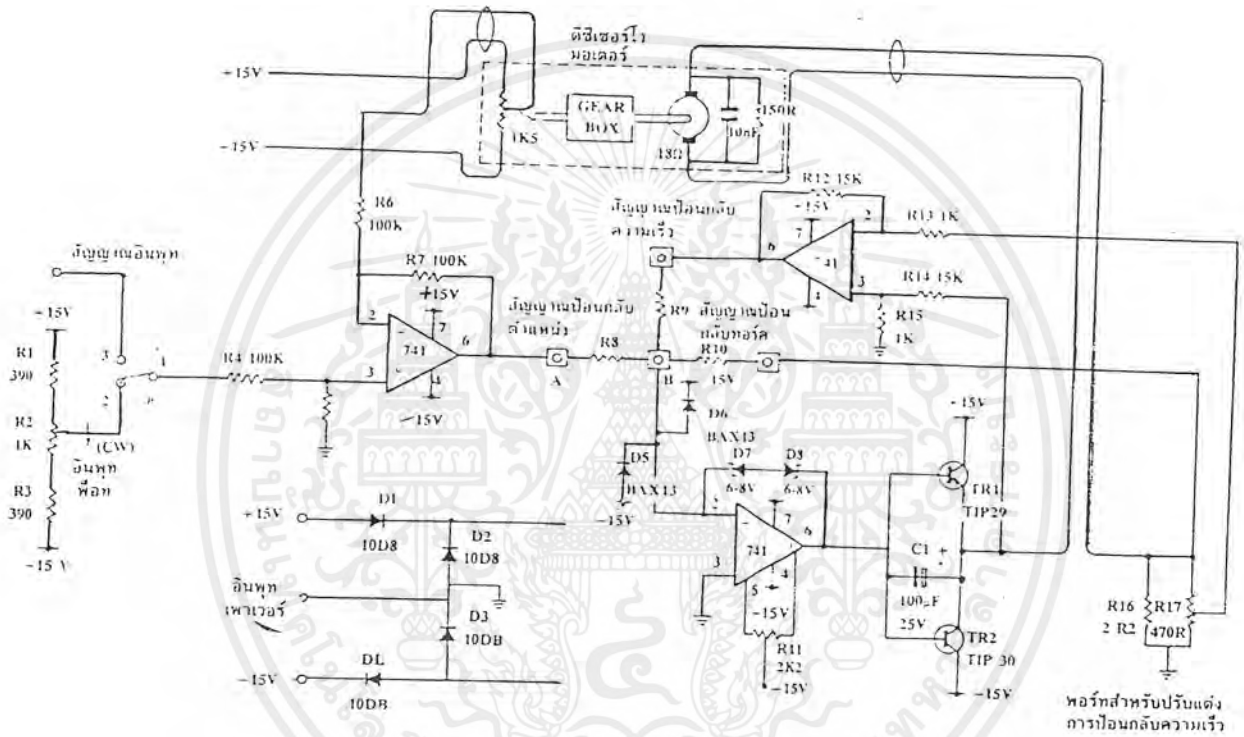
IC1ทำหน้าที่เปรียบเทียบแรงดันจากVRที่ตำแหน่งของมอเตอร์กับVRของตัวควบคุม ซึ่งผลการเปรียบเทียบที่ได้ถ้าแรงดันที่มอเตอร์มีค่าน้อยกว่าแรงดันที่ตัวควบคุม เอาท์พุทของ IC1จะมีค่าเป็นบวก ซึ่งค่าเอาท์พุทนี้จะถูกส่งต่อไปยัง IC2 ทำให้เอาท์พุทที่ขา 6 ของ IC2 มีค่าเป็นบวกไปด้วย ซึ่งค่าบวกที่ได้นี้จะถูกนำไปป้อนให้กับภาคขับมอเตอร์ TIP30 ทำงานกระแสจึงไหลจากกราวด์ไปยังลบ กระแสจึงไหลเข้ามายังภาคขับทำให้มอเตอร์หมุนมาทางซ้าย มอเตอร์จะหมุนและปรับVRที่มอเตอร์ให้เปลี่ยนจนมีค่าเท่ากับVRที่ตัวควบคุม ทำให้แรงดันที่ได้จากการเปรียบเทียบของ IC1 มีค่าเป็น 0 ค่า 0 ที่ได้นี้ถูกส่งไปยัง IC2 IC2 จะทำการเปรียบเทียบระหว่างค่า 0 กับกราวด์ ซึ่งมีค่าเท่ากันดังนั้นมอเตอร์จึงหยุดหมุน

ถ้าค่าแรงดันVRที่มอเตอร์มากกว่าแรงดันVRที่ตัวควบคุม เมื่อ IC1 ทำการเปรียบเทียบ จะได้แรงดันไฟลบ แล้วส่งต่อไปยัง IC2 ซึ่งจะทำการเปรียบเทียบกับกราวด์ทำให้ได้ค่าลบที่เอาท์พุทไปป้อนให้กับภาคขับมอเตอร์ จะทำให้ TIP29 ทำงานและกระแสจะไหลจากบวกไปกราวด์ กระแสจะไหลออกจากภาคขับ ทำให้มอเตอร์หมุนไปทางขวาและทำการปรับVRที่มอเตอร์ให้มีค่าเท่ากับแรงดันที่VRตัวควบคุม จึงทำให้ค่าที่ได้จากการเปรียบเทียบของ IC1 มีค่าเป็น 0 ทำให้มอเตอร์หยุดหมุน

สำหรับในกรณีที่เอาท์พุทของ IC1 มีค่าเป็น 0 D5, D6 จะทำให้ค่าอินพุทของ IC2 มีค่าเป็น 0 จริงๆ R11 ในวงจรจะเป็นตัวปรับค่า OFFSET ของ IC2 ทำให้วงจรมีเสถียรภาพมากขึ้น R8, R9, R10 ต่อร่วมกับ IC2 เป็น NEGATIVE SUMMING AMPLIFIER และในการควบคุมแรงบิดจะใช้ 2R2 ในการจำกัดกระแส ซึ่งต่ออนุกรมกับมอเตอร์แล้วทำการป้อนกลับ เมื่อมอเตอร์มีโหลดหนักมากจะกินกระแสมากตามไปด้วย ทำให้แรงดันตกคร่อม 2R2 มีค่ามาก ทำให้มีแรงดันป้อนกลับมาก แรงดันป้อนกลับจะทำให้ IC2 มีแรงดันเอาท์พุทมากขึ้น และไปทำให้ภาคขับให้กระแสมากขึ้นด้วย ทำให้มอเตอร์ยังคงมีแรงบิดเพิ่มขึ้น

IC3 ทำหน้าที่วัดแรงดันตกคร่อมที่เอาท์พุทของภาคขับเทียบกับแรงดันที่ R17 ซึ่งจากการเปรียบเทียบจะได้แรงดันค่าหนึ่ง ในกรณีที่มิมีโหลดทำให้มอเตอร์หมุนช้า แรงดันที่ R17 จะมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับเอาท์พุทของภาคขับอีกครั้ง ทำให้เอาท์พุทที่ได้ของ

IC3 มีค่าเปลี่ยนแปลงไป ค่าที่ได้ส่งไปยัง IC2 เอาท์พุทของ IC2 เปลี่ยนแปลงไป จึงทำให้ กระแสที่ไปขับมอเตอร์เปลี่ยนแปลงไปด้วย ซึ่งเกี่ยวเนื่องกับการควบคุมความเร็วของมอเตอร์

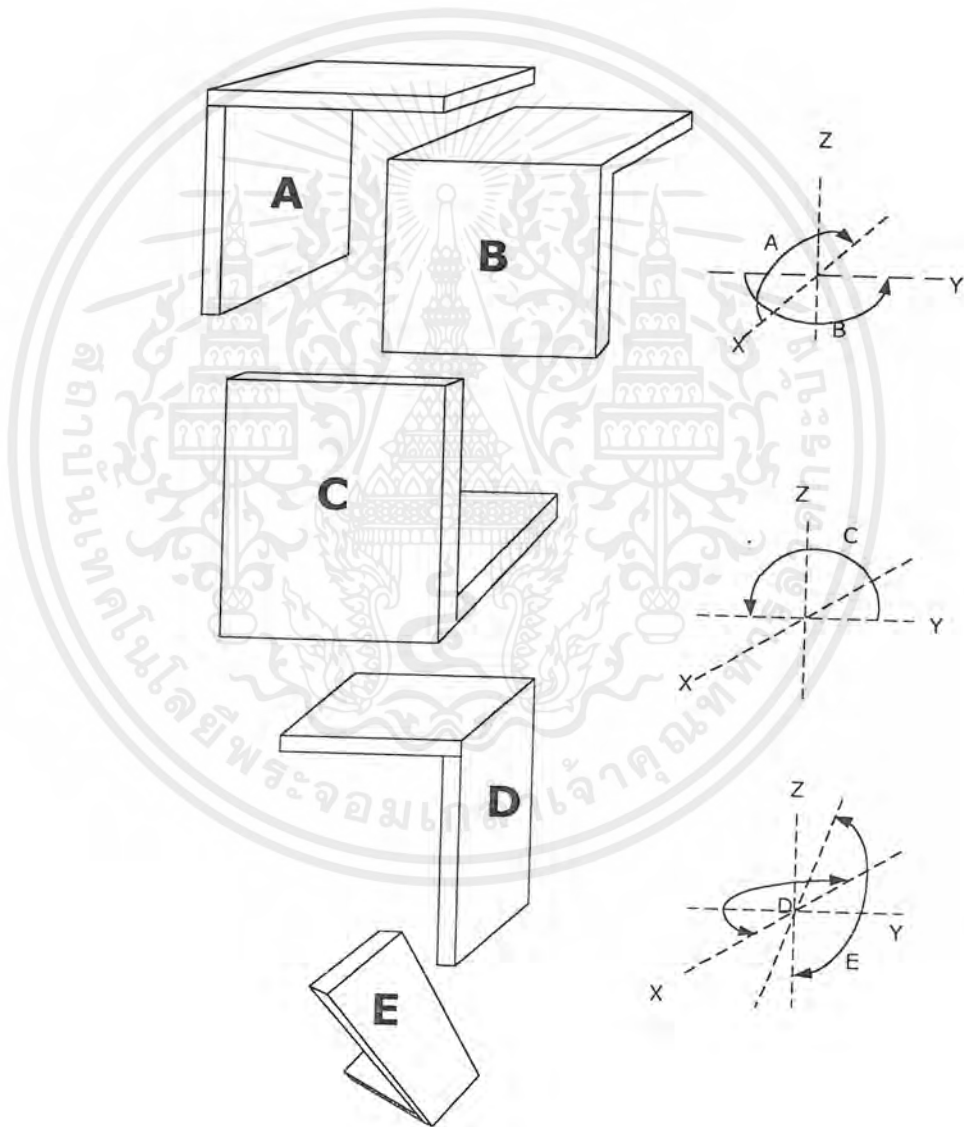


รูปที่ 3.1 วงจรที่ใช้ในการคอนโทรลตำแหน่งหมุนของเพลาดรัมมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 แนวคิดการออกแบบแขนกล

ในการออกแบบแขนกล ผู้ออกแบบได้มีความต้องการที่จะทำให้แขนกลมีความสามารถในการเคลื่อนไหวได้ใกล้เคียงแขนมนุษย์มากที่สุด ดังนั้นผู้ออกแบบจึงได้แยกการออกแบบออกเป็นห้าส่วน คือ A,B,C,D และ E ดังแสดงในรูปที่ 3.2

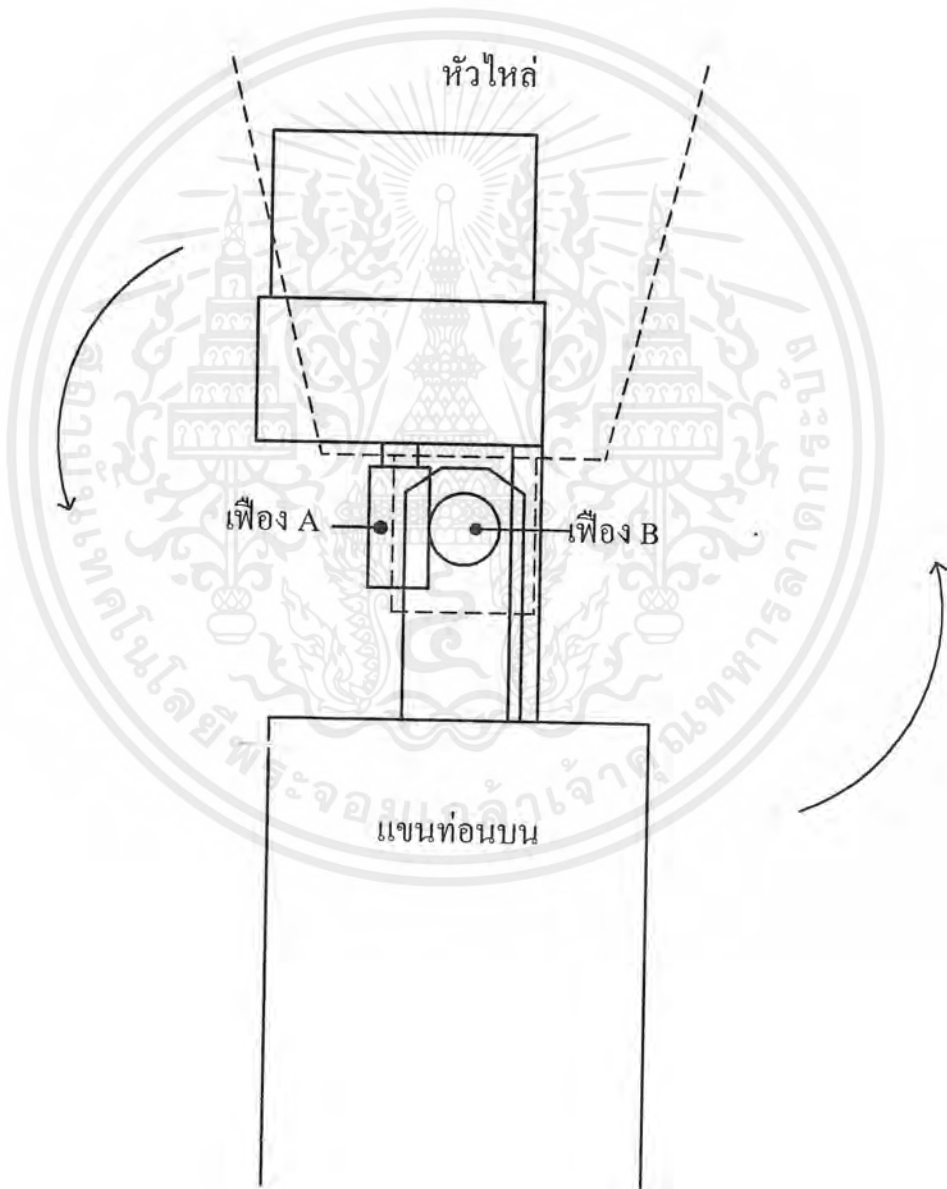


รูปที่ 3.2 แนวคิดการออกแบบแขนกล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

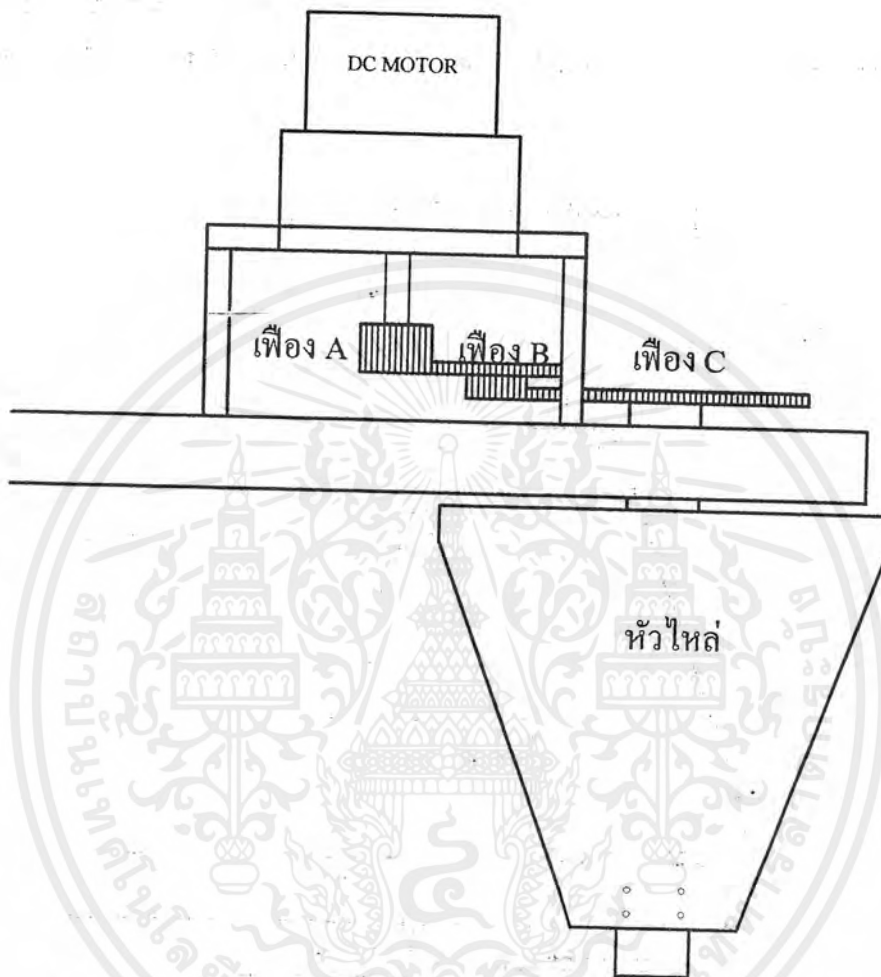
3.2.1 ออกแบบการยกแขนกลไปด้านหน้า (ส่วน A)

ส่วน A จากรูปที่ 3.2 คือส่วนที่เป็นหัวไหล่ รับภาระในการยกแขนขึ้นด้านหน้า โดยสามารถยกแขนทำมุมกับลำตัวได้ 120 องศา เนื่องจากแขนกลมีน้ำหนักมากพอสมควรการวางมอเตอร์จึงไม่ให้มอเตอร์อยู่กับที่ เพราะถ้ามอเตอร์อยู่กับที่จะทำให้รับน้ำหนักมาก ทำให้ต้องใช้มอเตอร์ตัวใหญ่เป็นผลให้น้ำหนักเพิ่มขึ้น เพื่อแก้ปัญหานี้จึงไม่ให้มอเตอร์อยู่กับที่ ให้มอเตอร์อยู่ตรงข้ามกับแขนกลเพื่อถ่วงน้ำหนักดังรูปที่ 3.3 โดยให้เฟือง B เป็นจุดหมุน



รูปที่ 3.3 แสดงการวางมอเตอร์โดยใช้หลักโมเมนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

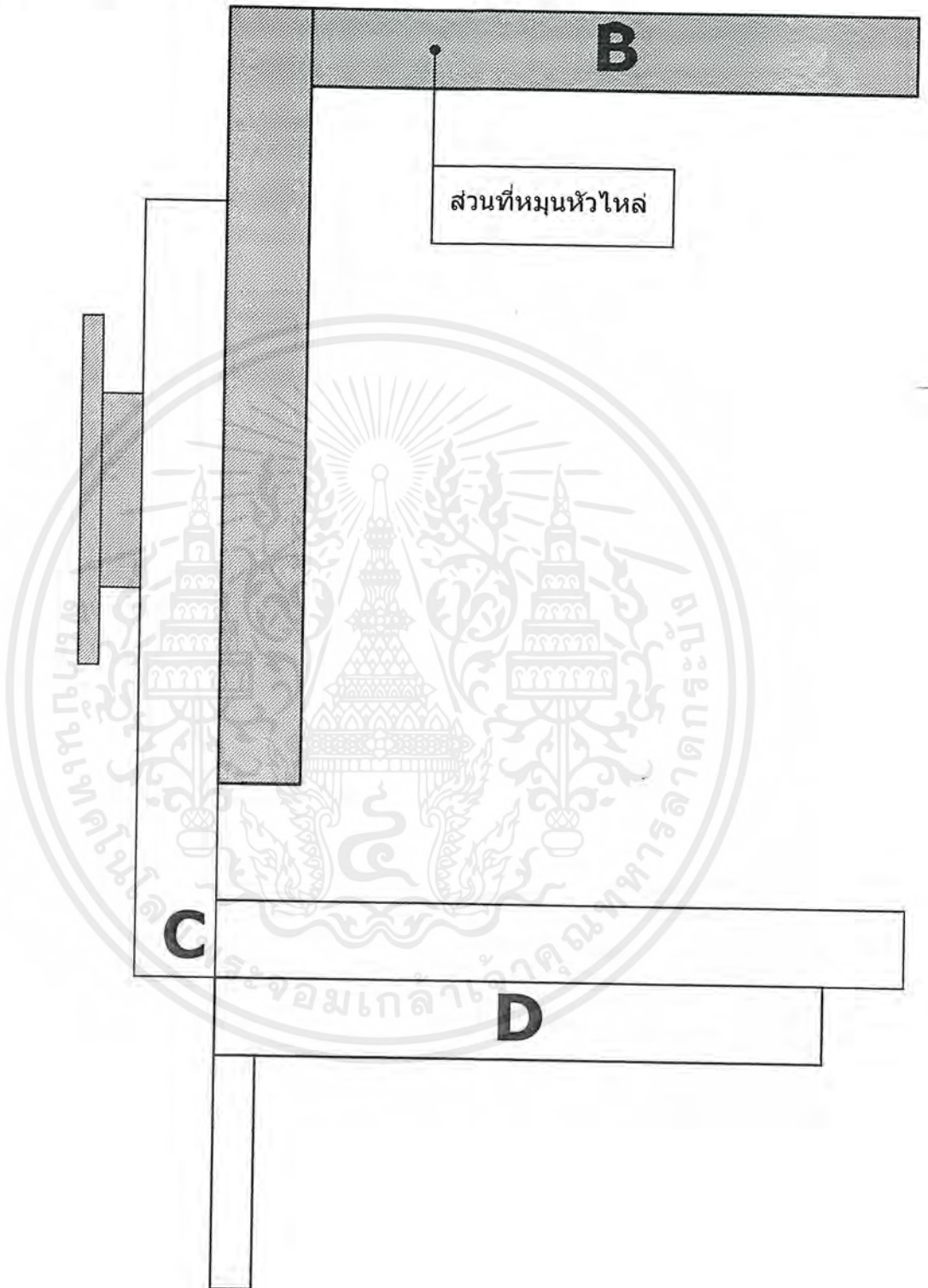


รูปที่ 3.4 ตำแหน่งการวางมอเตอร์หัวโม่

รูปที่ 3.4 เป็นส่วนที่ทำให้แขนหมุนไปด้านซ้ายหรือขวา ตามเซ็นเซอร์ที่สามารถวัดได้จากแขนของเราที่ทำหน้าที่เป็นมัลติเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

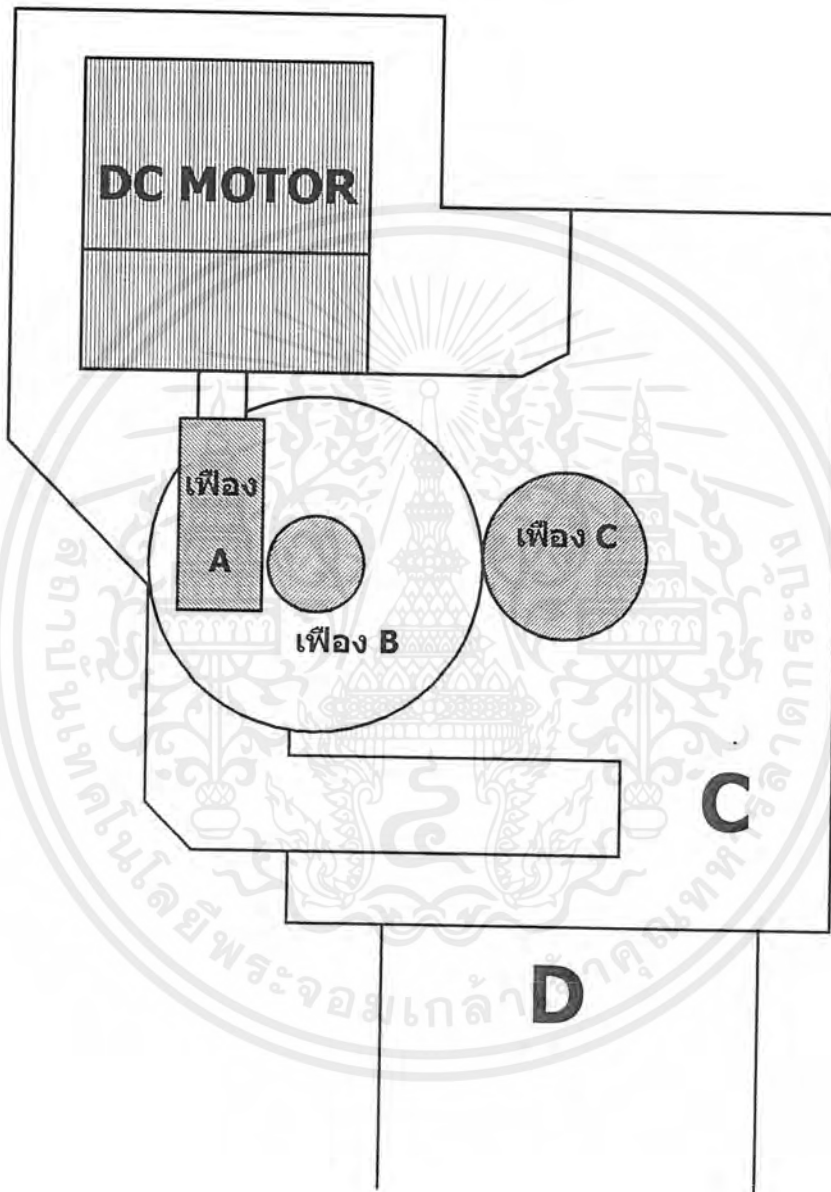
3.3.2 ออกแบบการยกแขนกลไปด้านข้าง (ส่วน C)



รูปที่ 3.5 แสดงการเชื่อมกันระหว่างส่วน B , C และ D มองจากด้านหน้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังแสดงในรูปที่ 3.5 เป็นการต่อเชื่อมกันระหว่างส่วน B กับ ส่วน C ซึ่งเป็นส่วนที่ใช้ในการยกแขนกลไปด้านข้าง และรูปที่ 3.6 แสดงการวางตำแหน่งมอเตอร์และเฟืองโดยมีหลักการเดียวกันกับการวางมอเตอร์ในส่วน A มีเฟือง C เป็นจุดหมุน

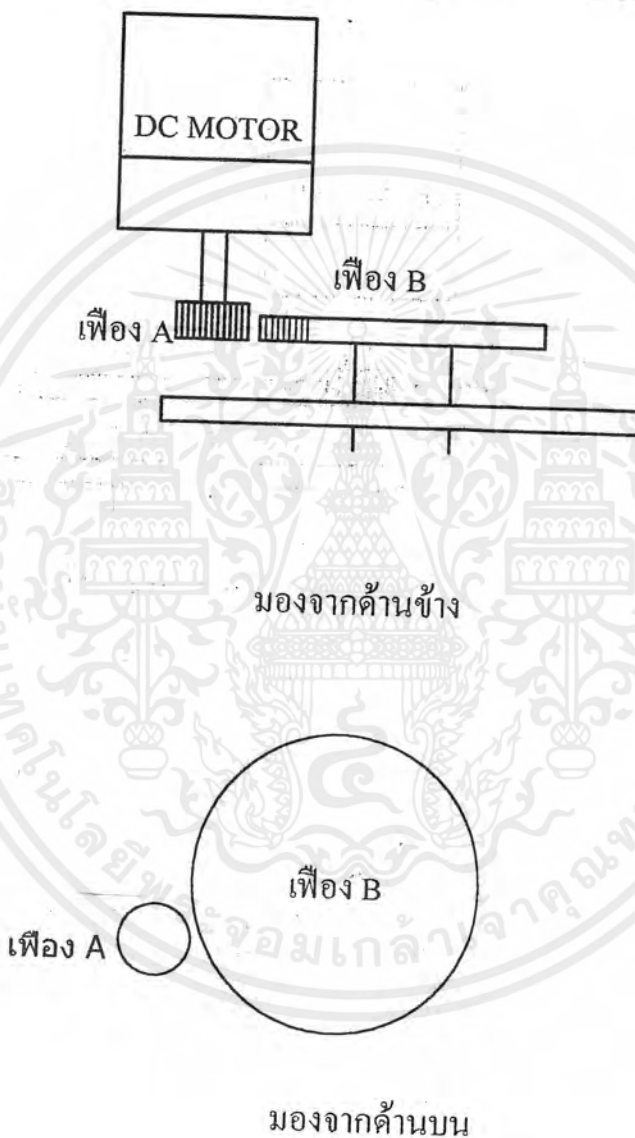


รูปที่ 3.6 แสดงการเชื่อมกันระหว่างส่วน B , C และ D มองจากด้านข้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

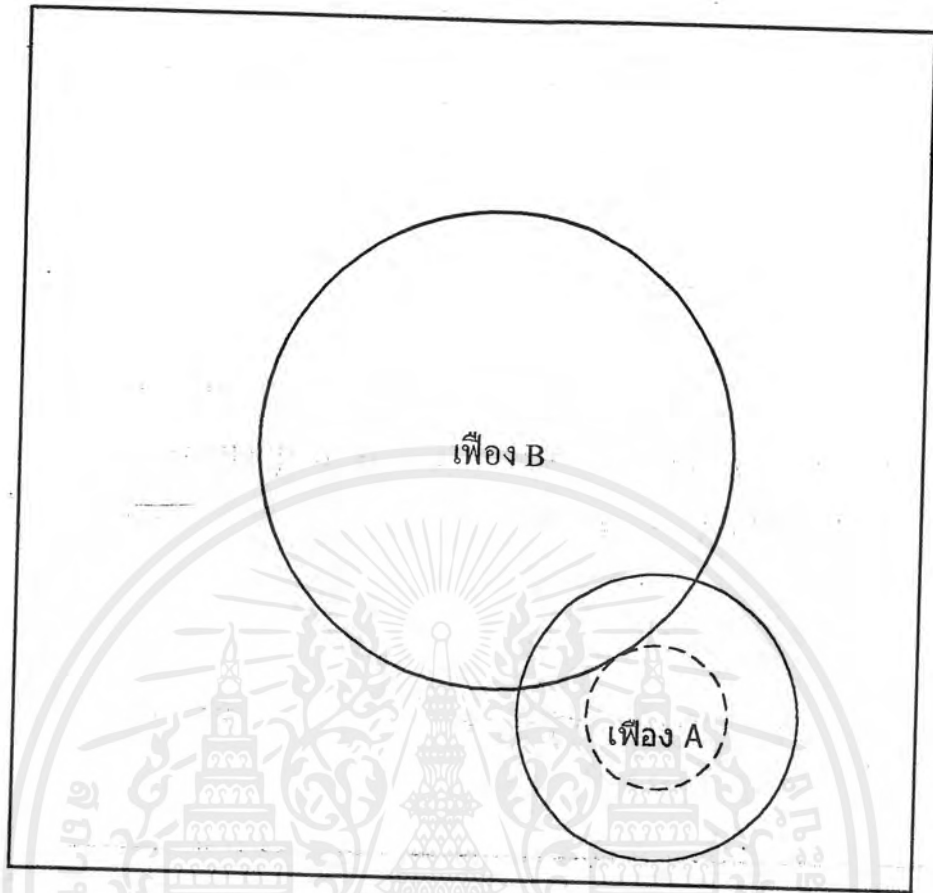
3.3.3 ออกแบบการหมุนแขนส่วนบน (D) มุมจากแนวนอน 0.0.0

การหมุนแขนส่วนนี้จะหมุนได้ 105 องศา โดยหมุนเข้าหาตัว 90 องศาและหมุนออก 15 องศา การวางตำแหน่งมอเตอร์และเฟืองแสดงดังรูปที่ 3.7 ลักษณะการวางมอเตอร์และเฟืองแบบนี้ก็เพื่อที่จะให้แขนกลมีขนาดเล็ก



รูปที่ 3.7 การวางตำแหน่งมอเตอร์และเฟืองเพื่อหมุนแขนส่วนบน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

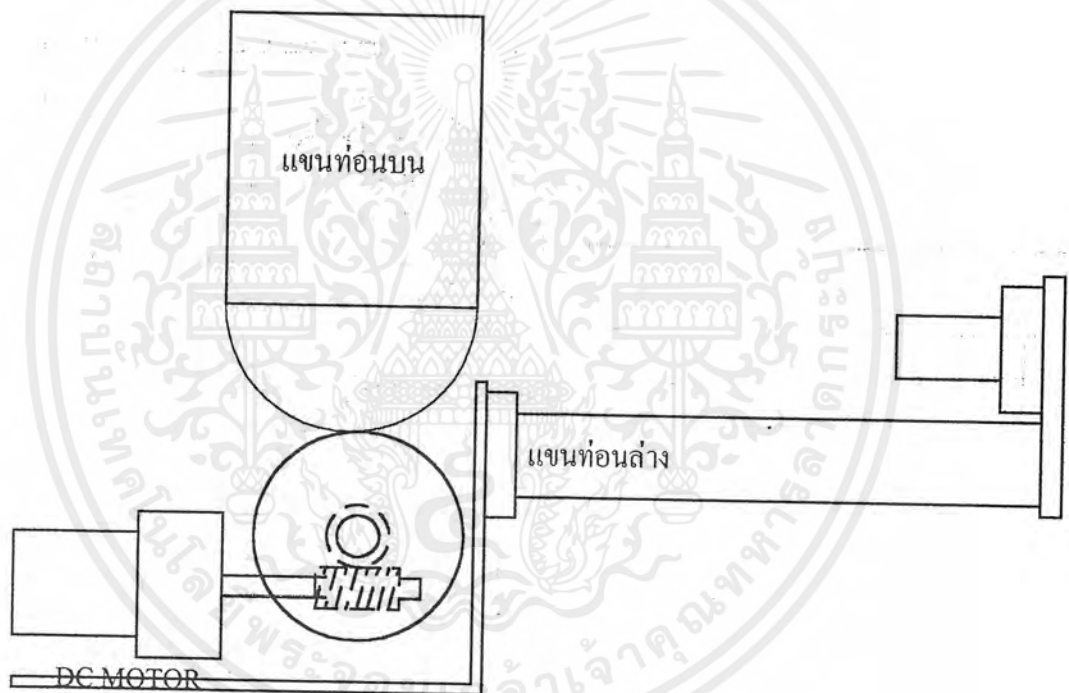


รูปที่ 3.8 การวางตำแหน่งมอเตอร์และเฟืองเพื่อหมุนแขนส่วนบน(ด้านบน)

เฟือง A ทำหน้าที่เป็นเฟืองขับโดยมีดีดี่เชื่อมอเตอร์ทดเฟืองเป็นตัวขับ
เฟือง B เป็นเฟืองตาม ติดกับแขนท่อนบนเมื่อเฟือง B หมุนจะทำให้แขนหมุนตาม

3.3.4 ออกแบบการยกข้อศอก (ส่วน E)

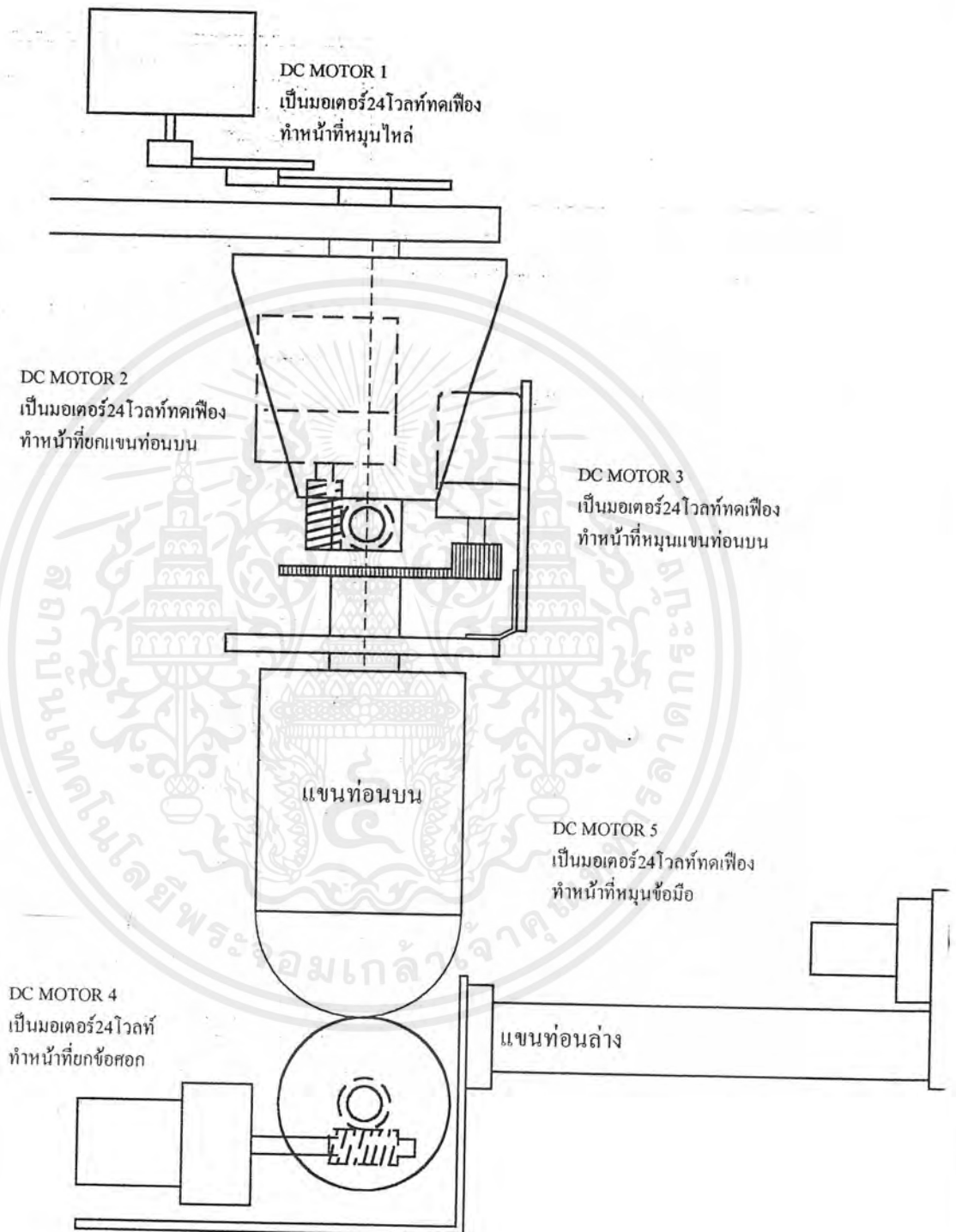
หลักการออกแบบการยกข้อศอกหรือการยกแขนท่อนล่างมีหลักเหมือนกันกับการยกไหล โดยการให้หลักการโมเมนต์เพื่อลดขนาดของมอเตอร์และลดน้ำหนักของแขนกลลงดังแสดงในรูปที่ 3.9



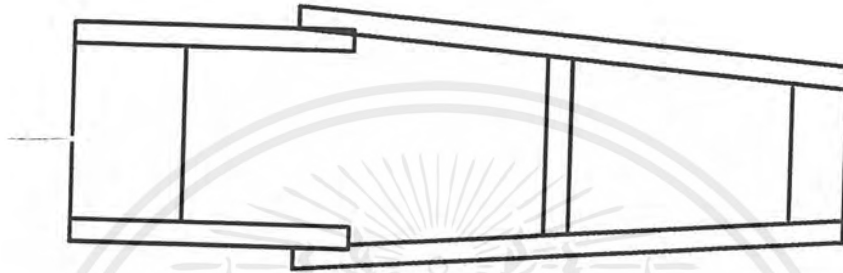
รูปที่ 3.9 ออกแบบการยกข้อศอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

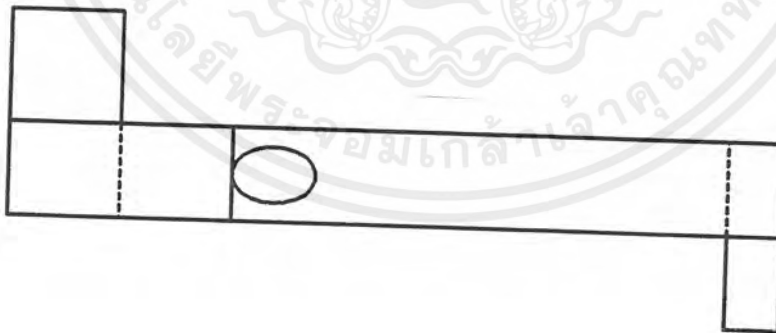
โครงสร้างแขนกลเมื่อประกอบทุกส่วนเข้าด้วยกัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

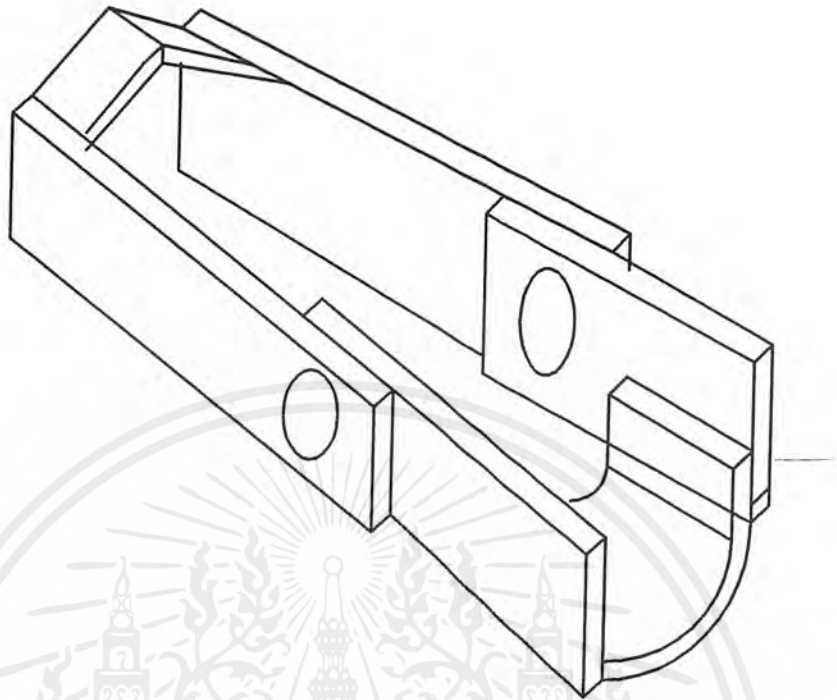


รูปที่ 3.10 ชุดควบคุมที่แขนมองจากด้านบน



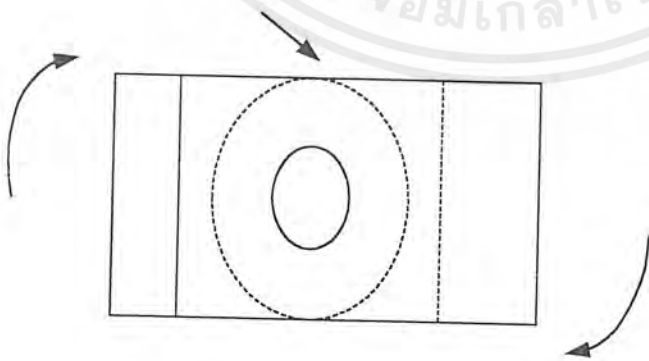
รูปที่ 3.11 ชุดควบคุมที่แขนมองจากด้านข้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.12 ชุดควบคุมที่แขนแบบสามมิติ .

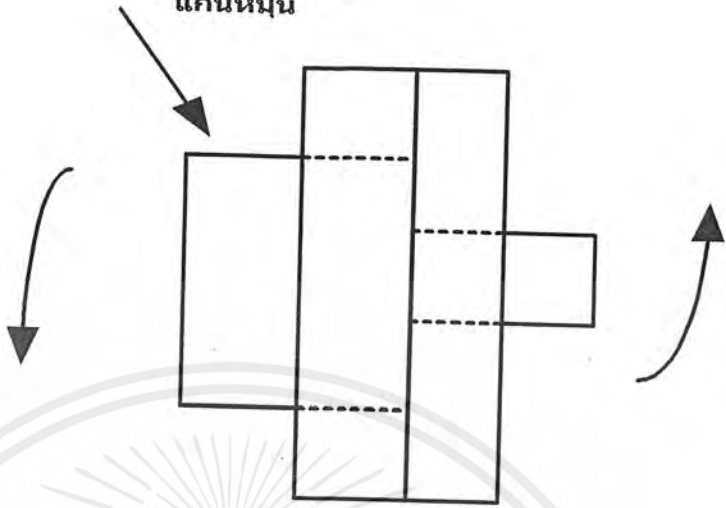
ใช้ VR เป็นแกนหมุน



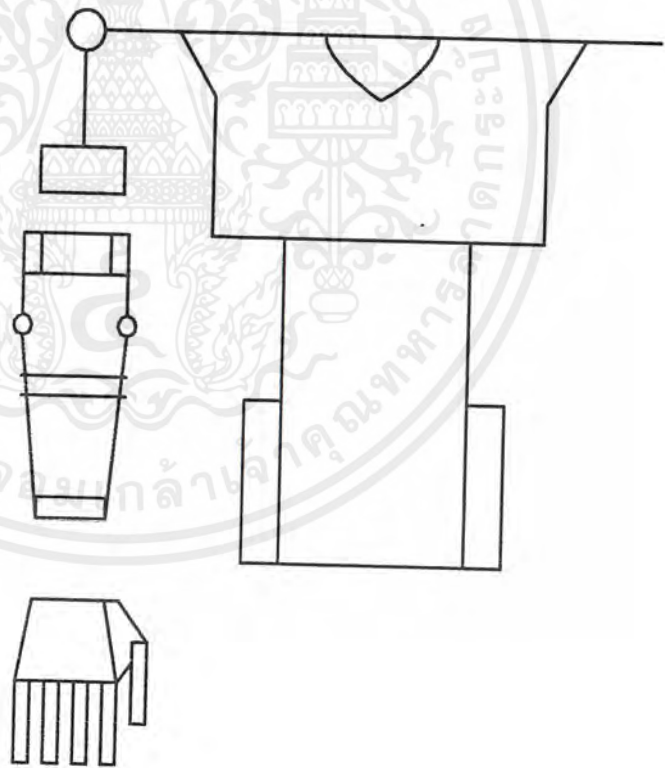
รูปที่ 3.13 แสดงลักษณะการหมุน (ด้านข้าง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

VR
ปรับค่าใช้เป็น
แกนหมุน



รูปที่ 3.14 แสดงลักษณะการหมุน (ด้านหน้า)



รูปที่ 3.15 ชุดควบคุมแขนกลมองจากด้านหน้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

โครงการนี้เป็น การนำเอาวงจรควบคุมตำแหน่งมาควบคุมมอเตอร์ ให้เคลื่อนที่ไปในตำแหน่งที่เราต้องการ โดยที่มอเตอร์นี้เป็นตัวที่นำไปควบคุมการเคลื่อนที่ของนิ้วมือและข้อต่อต่างๆในส่วนของแขน ซึ่งในการควบคุมนี้จะแยกอิสระต่อกันในแต่ละส่วน สามารถแบ่งโครงสร้างเป็นส่วนประกอบต่างๆดังนี้

4.1 ส่วนของนิ้วมือ

เป็นการใช้อุปกรณ์ที่สามารถหาได้ง่ายซึ่งประกอบไปด้วยวัสดุต่างที่สำคัญคือ อลูมิเนียมแผ่นบาง แผ่นไม้อัด ยาง เส้นเอ็นและมอเตอร์หดรอบขนาดเล็ก ซึ่งวัสดุอุปกรณ์ที่กล่าวมานี้นำมาผ่านการคิดและออกแบบจนได้ส่วนของมือขึ้นมา แต่ยังคงมีปัญหาขึ้นบางประการคือ เรื่องแรกคือมอเตอร์ที่นำมาใช้ยังไม่มี ความทนทานเพียงพอ และเรื่องที่สองคือการใช้ยางเนื่องจากยางมีการใช้งานที่ไม่ยาวนานและยากต่อการคำนวณ

4.2 ส่วนของอุปกรณ์ควบคุมมือและแขน

อุปกรณ์ที่ใช้ทำชุดควบคุมที่มือและแขนส่วนประกอบที่สำคัญคือ

- ถุงมือผ้าที่หาซื้อได้ตามร้านค้าทั่วไป
- ไม้อัดแผ่นเรียบ
- VR ปรับค่าได้ ค่าความต้านทาน 100 กิโลโอห์ม
- นี้อตตัวเล็ก ๆ ขนาดความยาว 1 เซนติเมตร
- พลาสติกแข็ง ความหนา 0.5 เซนติเมตร
- พลาสติกอ่อน ความหนา 0.1 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งอุปกรณ์ต่างที่ได้กล่าวมานี้ได้นำมาผ่านการออกแบบ เพื่อให้ได้มาซึ่งชุดควบคุมที่สามารถทำงานได้ตามวัตถุประสงค์ แต่ก็เกิดปัญหาขึ้นบ้างที่ชิ้นส่วนบางจุดเพราะในการประกอบชุดควบคุมไม่มีเครื่องมือที่ทันสมัยพอ

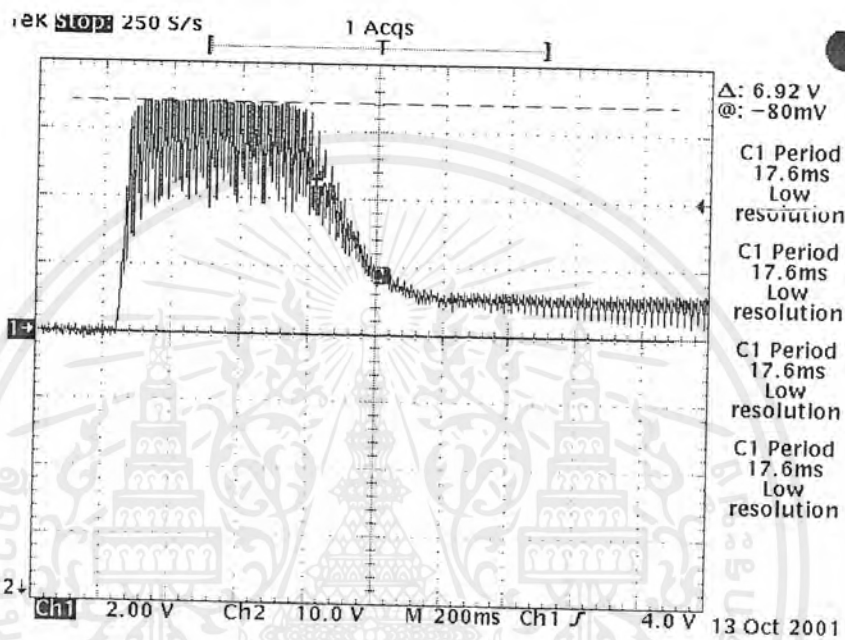
4.3 ส่วนประกอบของแขนหุ่นยนต์

- ดีซีมอเตอร์
- ไม้อัดแผ่นเรียบ หน้า 0.5 เซนติเมตร
- ท่อ PVC ขนาดต่าง
- VR 100 กิโลโกรัม
- น็อตขนาดต่าง
- พลาสติกแข็ง หน้า 0.5 เซนติเมตร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลอง



รูปที่ 4.1 สภาพการทำงานทางด้านเอาร์ทพุทในแรงดันซีกบวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

ปัญหาและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปโครงการ

แขนกลที่สร้างขึ้นมีลักษณะเป็นข้อต่อที่สามารถให้เคลื่อนที่ตามลักษณะการเคลื่อนที่ของแขนคนมากที่สุด ในการหมุนข้อต่อแต่ละข้อจะใช้มอเตอร์เป็นตัวหมุนในทุกๆ ส่วนของแขนกล การทำงานของมอเตอร์นั้นจะถูกควบคุมโดยใช้คนสวมชุดควบคุม ซึ่งชุดควบคุมได้ออกแบบ และได้กล่าวไว้ในบทที่ 3 การทำงานของแขนกลจะมีอิสระต่อกัน คือใช้วงจรควบคุมหนึ่งวงจรต่อมอเตอร์หนึ่งตัวในการเคลื่อนที่

5.2 ปัญหาในการทำโครงการ

5.2.1 ปัญหาในการสร้างแขนกล

- ผู้จัดทำขาดความรู้ทางด้านเครื่องกลจึงไม่สามารถแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นได้โดยง่าย
- ขบวนการเลือกและจัดหาวัสดุที่นำมาสร้างหุ่นยนต์ใช้เวลานานเกินควร
- วัสดุอุปกรณ์บางอย่างที่ตรงกับความต้องการหายาก เช่น มอเตอร์

5.2.2 ปัญหาในการควบคุม

- ในการควบคุมดีซีเซอร์โวมอเตอร์ให้มีเสถียรภาพเป็นไปได้ค่อนข้างยาก เช่นความร้อนที่เกิดขึ้นกับมอเตอร์จะทำให้เกิดผลกับเสถียรภาพโดยตรง
- ควบคุมตำแหน่งของแขนกลอาจเกิดการผิดพลาดได้เนื่องด้วยมอเตอร์มีสภาพเก่ามาก

แล้ว

5.3 ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะนี้จัดทำขึ้นเพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนา แขนกลให้มีความสามารถในการทำงานได้ดีขึ้น โดยจะนำเสนอเป็นข้อๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ควรใช้มอเตอร์ที่มีเฟืองทดที่มีความทนทานมากกว่านี้ เพื่อจะได้รับแรงได้มากขึ้น
- ใช้วัสดุที่ทำให้มีความทนทานและมีน้ำหนักเบา
- ในการสร้างควรมีเครื่องมือที่ทันสมัยมากกว่านี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- 1.โยธิน เปรมปราณีรัตน์ " ระบบเซอริโว และ อิเล็กทรอนิกส์คอนโทรลมอเตอร์ " ;
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

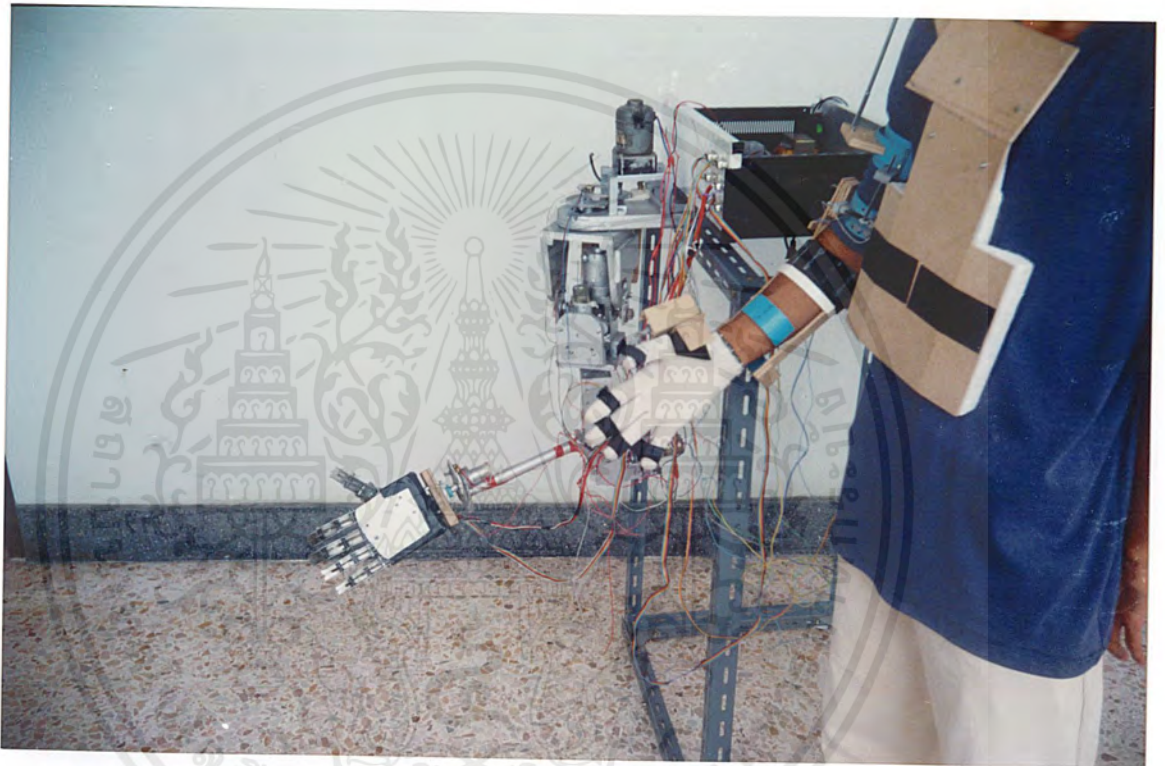


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

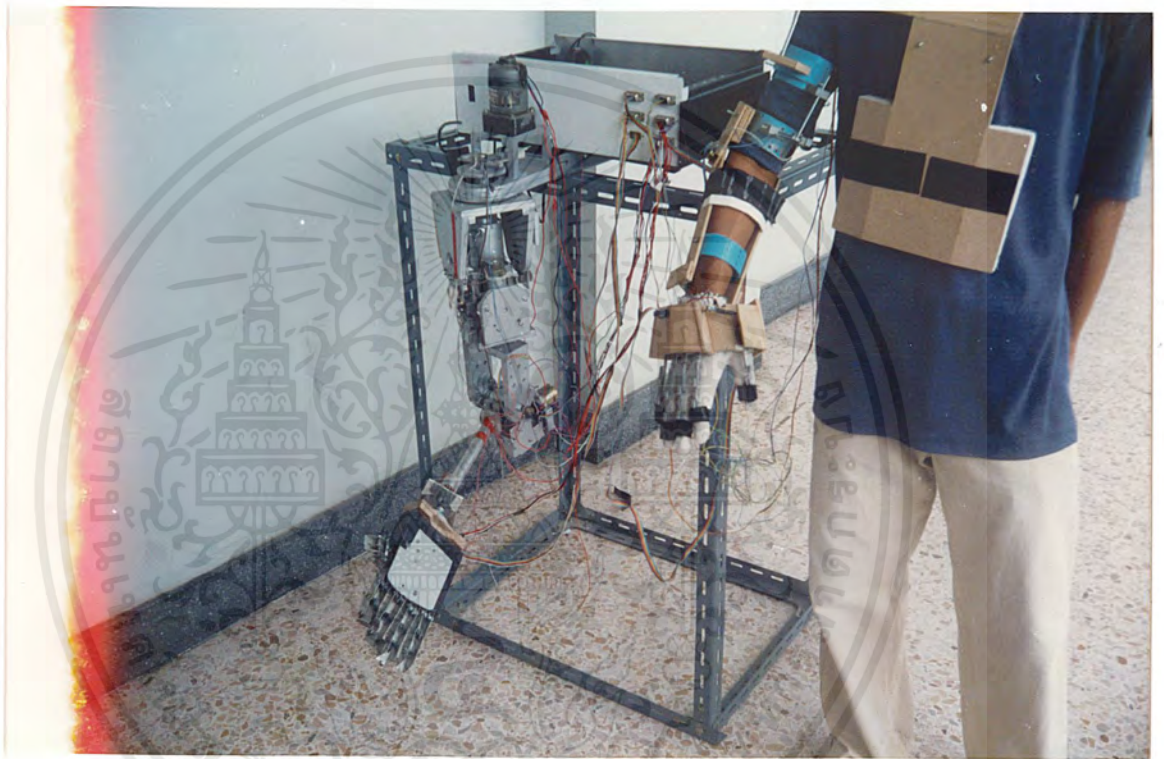


ภาคผนวก

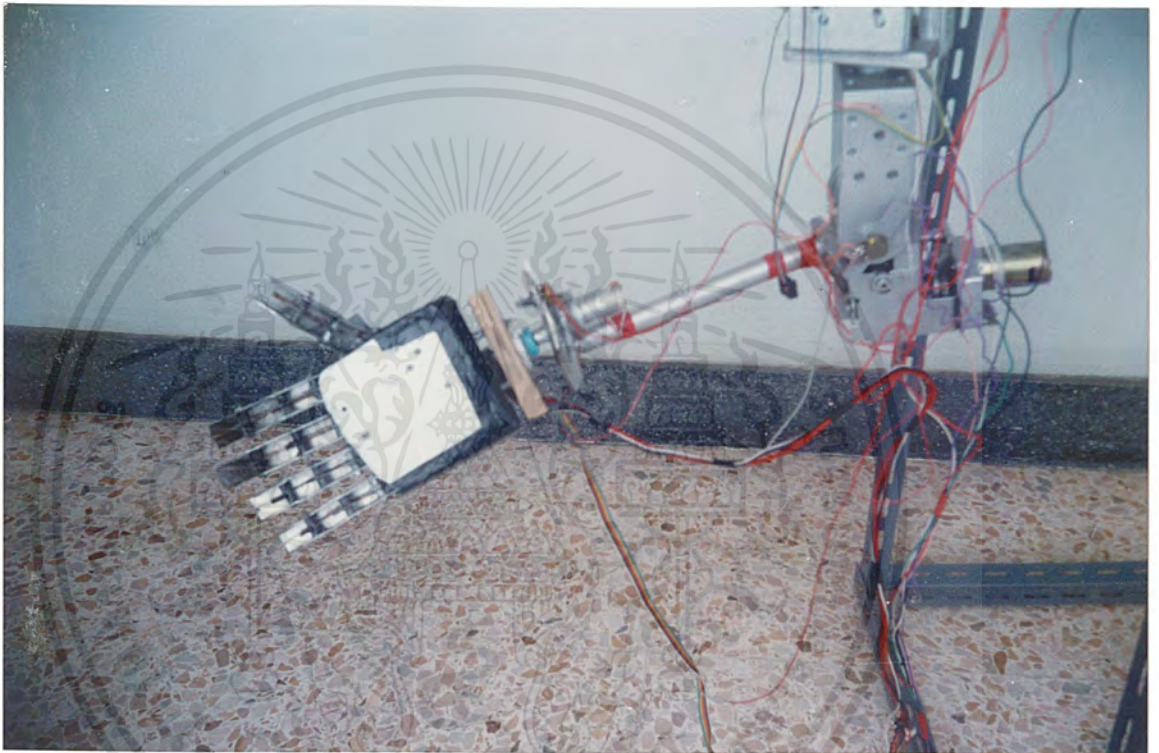
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



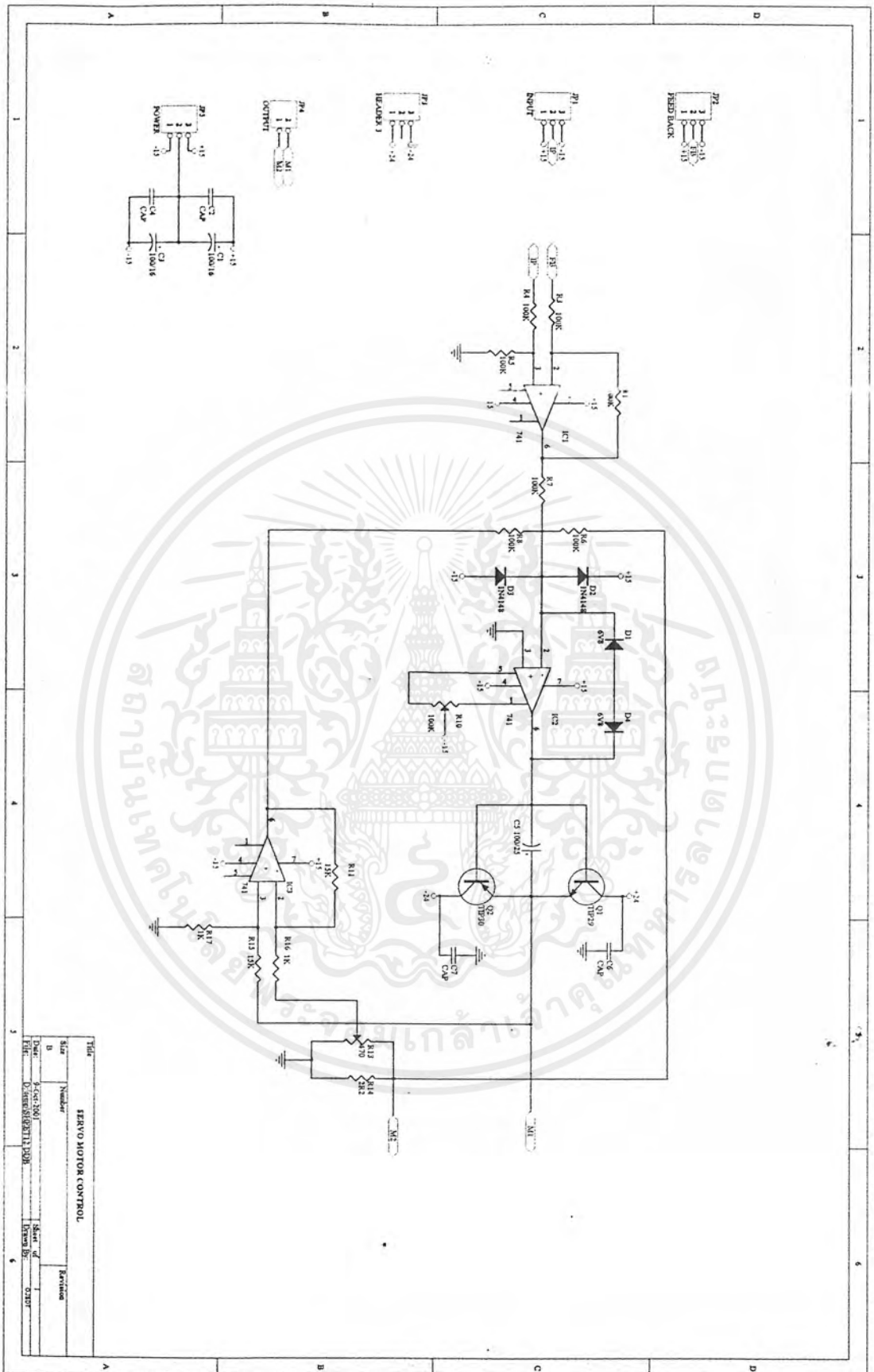
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

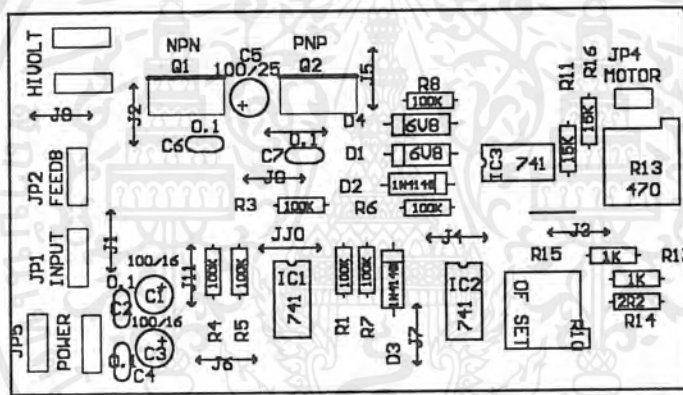


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

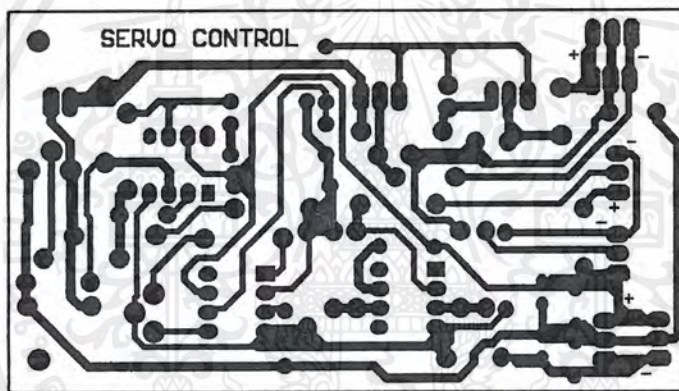


Title			
SERVO MOTOR CONTROL			
Slip	Number	Revision	
B	9-502-2001		
Date	Drawn By	Checked By	Scale
11/11/2008	D. JIRASAKULTRIT		1:1
Rev. No.		Date	
02/01			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

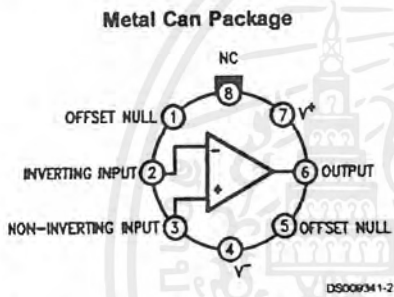
LM741 Operational Amplifier

General Description

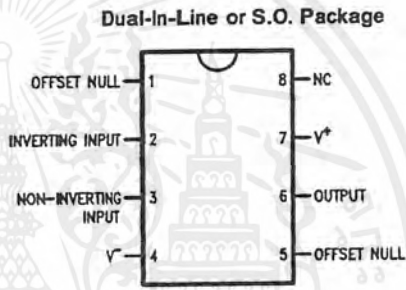
The LM741 series are general purpose operational amplifiers which feature improved performance over industry standards like the LM709. They are direct, plug-in replacements for the 709C, LM201, MC1439 and 748 in most applications. The amplifiers offer many features which make their application nearly foolproof: overload protection on the input and output, no latch-up when the common mode range is exceeded, as well as freedom from oscillations.

The LM741C is identical to the LM741/LM741A except that the LM741C has their performance guaranteed over a 0°C to +70°C temperature range, instead of -55°C to +125°C.

Connection Diagrams



DS009341-2

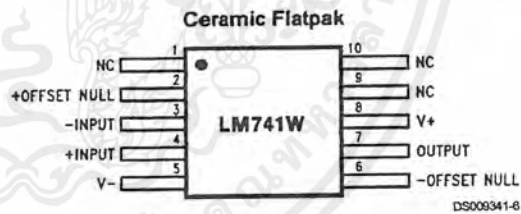


DS009341-3

Order Number LM741J, LM741J/883, LM741CN
See NS Package Number J08A, M08A or N08E

Note 1: LM741H is available per JM38510/10101

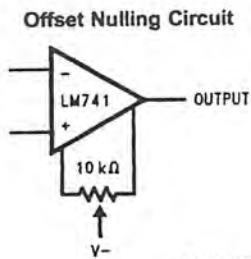
Order Number LM741H, LM741H/883 (Note 1),
LM741AH/883 or LM741CH
See NS Package Number H08C



DS009341-6

Order Number LM741W/883
See NS Package Number W10A

Typical Application



DS009341-7

Absolute Maximum Ratings (Note 2)

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.

(Note 7)

	LM741A	LM741	LM741C
Supply Voltage	±22V	±22V	±18V
Power Dissipation (Note 3)	500 mW	500 mW	500 mW
Differential Input Voltage	±30V	±30V	±30V
Input Voltage (Note 4)	±15V	±15V	±15V
Output Short Circuit Duration	Continuous	Continuous	Continuous
Operating Temperature Range	-55°C to +125°C	-55°C to +125°C	0°C to +70°C
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C	-65°C to +150°C	-65°C to +150°C
Junction Temperature	150°C	150°C	100°C
Soldering Information			
N-Package (10 seconds)	260°C	260°C	260°C
J- or H-Package (10 seconds)	300°C	300°C	300°C
M-Package			
Vapor Phase (60 seconds)	215°C	215°C	215°C
Infrared (15 seconds)	215°C	215°C	215°C
See AN-450 "Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability" for other methods of soldering surface mount devices.			
ESD Tolerance (Note 8)	400V	400V	400V

Electrical Characteristics (Note 5)

Parameter	Conditions	LM741A			LM741			LM741C			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Input Offset Voltage	$T_A = 25^\circ\text{C}$					1.0	5.0		2.0	6.0	mV
	$R_S \leq 10\text{ k}\Omega$		0.8	3.0							mV
	$R_S \leq 50\Omega$										
Average Input Offset Voltage Drift	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$			4.0							mV
	$R_S \leq 50\Omega$						6.0			7.5	mV
	$R_S \leq 10\text{ k}\Omega$										$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
Average Input Offset Voltage Drift			15								$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
Input Offset Voltage Adjustment Range	$T_A = 25^\circ\text{C}, V_S = \pm 20\text{V}$	±10				±15			±15		mV
Input Offset Current	$T_A = 25^\circ\text{C}$		3.0	30		20	200		20	200	nA
	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$			70		85	500			300	nA
Average Input Offset Current Drift			0.5								nA/°C
Input Bias Current	$T_A = 25^\circ\text{C}$		30	80		80	500		80	500	nA
	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$			0.210			1.5			0.8	μA
Input Resistance	$T_A = 25^\circ\text{C}, V_S = \pm 20\text{V}$	1.0	6.0		0.3	2.0		0.3	2.0		M Ω
	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}, V_S = \pm 20\text{V}$	0.5									M Ω
Input Voltage Range	$T_A = 25^\circ\text{C}$							±12	±13		V
	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$				±12	±13					V

Electrical Characteristics (Note 5) (Continued)

Parameter	Conditions	LM741A			LM741			LM741C			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Large Signal Voltage Gain	$T_A = 25^\circ\text{C}$, $R_L \geq 2\text{ k}\Omega$ $V_S = \pm 20\text{V}$, $V_O = \pm 15\text{V}$ $V_S = \pm 15\text{V}$, $V_O = \pm 10\text{V}$	50			50	200		20	200		V/mV V/mV
	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$, $R_L \geq 2\text{ k}\Omega$, $V_S = \pm 20\text{V}$, $V_O = \pm 15\text{V}$ $V_S = \pm 15\text{V}$, $V_O = \pm 10\text{V}$	32			25			15			V/mV V/mV
	$V_S = \pm 5\text{V}$, $V_O = \pm 2\text{V}$	10									V/mV
Output Voltage Swing	$V_S = \pm 20\text{V}$ $R_L \geq 10\text{ k}\Omega$	± 16									V
	$R_L \geq 2\text{ k}\Omega$	± 15									V
	$V_S = \pm 15\text{V}$ $R_L \geq 10\text{ k}\Omega$				± 12	± 14		± 12	± 14		V
	$R_L \geq 2\text{ k}\Omega$				± 10	± 13		± 10	± 13		V
Output Short Circuit Current	$T_A = 25^\circ\text{C}$	10	25	35		25			25		mA
	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$	10		40							mA
Common-Mode Rejection Ratio	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$ $R_S \leq 10\text{ k}\Omega$, $V_{CM} = \pm 12\text{V}$				70	90		70	90		dB
	$R_S \leq 50\Omega$, $V_{CM} = \pm 12\text{V}$	80	95								dB
Supply Voltage Rejection Ratio	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$, $V_S = \pm 20\text{V}$ to $V_S = \pm 5\text{V}$										dB
	$R_S \leq 50\Omega$ $R_S \leq 10\text{ k}\Omega$	86	96		77	96		77	96		dB
Transient Response	$T_A = 25^\circ\text{C}$, Unity Gain	Rise Time	0.25	0.8		0.3			0.3		μs
		Overshoot	6.0	20		5			5		%
Bandwidth (Note 6)	$T_A = 25^\circ\text{C}$	0.437	1.5								MHz
Slew Rate	$T_A = 25^\circ\text{C}$, Unity Gain	0.3	0.7			0.5			0.5		V/ μs
Supply Current	$T_A = 25^\circ\text{C}$					1.7	2.8		1.7	2.8	mA
Power Consumption	$T_A = 25^\circ\text{C}$ $V_S = \pm 20\text{V}$		80	150							mW
	$V_S = \pm 15\text{V}$					50	85		50	85	mW
	$V_S = \pm 20\text{V}$ $T_A = T_{AMIN}$			165							mW
	$T_A = T_{AMAX}$			135							mW
LM741	$V_S = \pm 15\text{V}$ $T_A = T_{AMIN}$					60	100				mW
	$T_A = T_{AMAX}$					45	75				mW

Note 2: "Absolute Maximum Ratings" indicate limits beyond which damage to the device may occur. Operating Ratings indicate conditions for which the device is functional, but do not guarantee specific performance limits.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Electrical Characteristics (Note 5) (Continued)

Note 3: For operation at elevated temperatures, these devices must be derated based on thermal resistance, and T_j max. (listed under "Absolute Maximum Ratings"). $T_j = T_A + (\theta_{JA} P_D)$.

Thermal Resistance	Cerdip (J)	DIP (N)	HO8 (H)	SO-8 (M)
θ_{JA} (Junction to Ambient)	100°C/W	100°C/W	170°C/W	195°C/W
θ_{JC} (Junction to Case)	N/A	N/A	25°C/W	N/A

Note 4: For supply voltages less than $\pm 15V$, the absolute maximum input voltage is equal to the supply voltage.

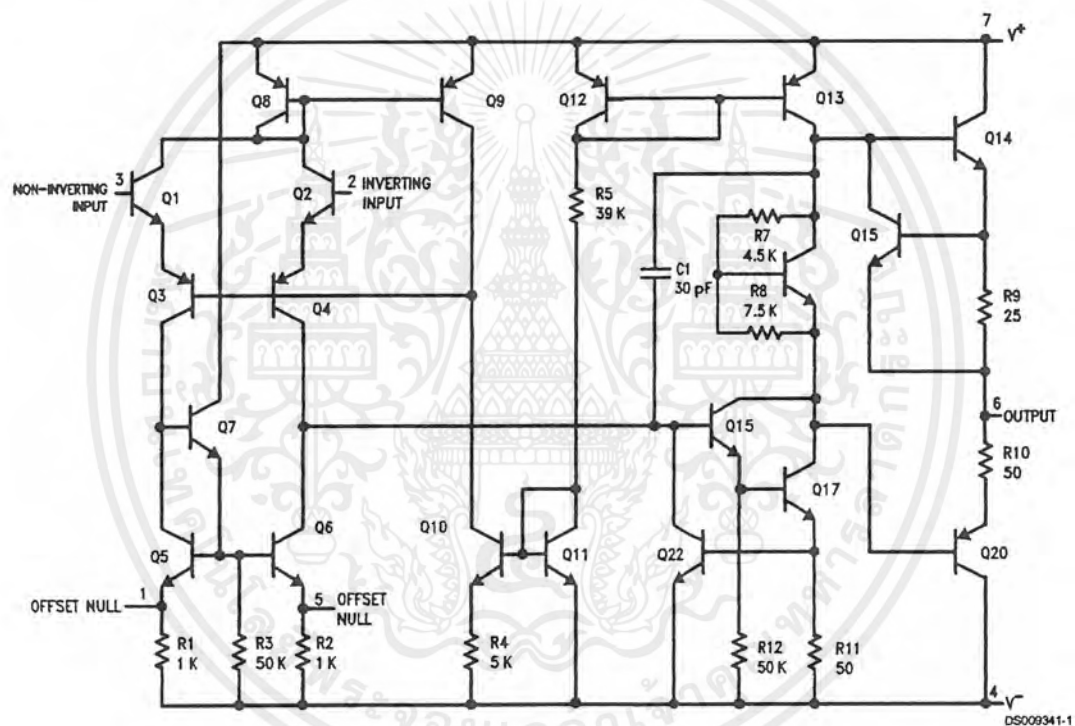
Note 5: Unless otherwise specified, these specifications apply for $V_S = \pm 15V$, $-55^\circ C \leq T_A \leq +125^\circ C$ (LM741/LM741A). For the LM741C/LM741E, these specifications are limited to $0^\circ C \leq T_A \leq +70^\circ C$.

Note 6: Calculated value from: BW (MHz) = $0.35/\text{Rise Time}(\mu s)$.

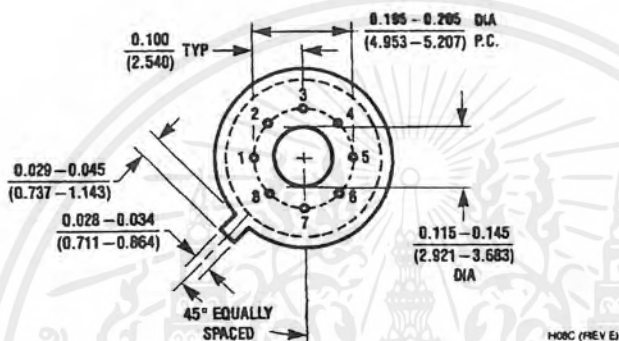
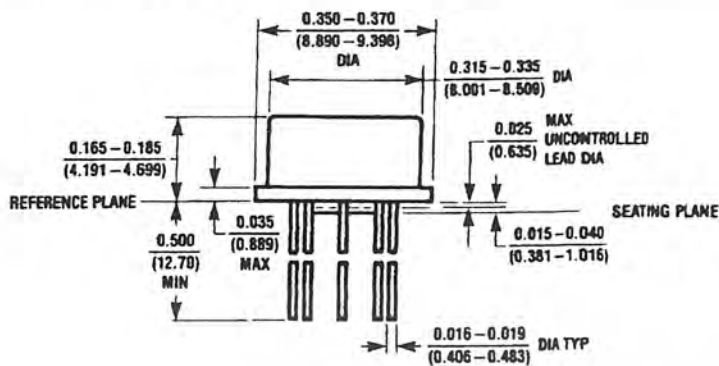
Note 7: For military specifications see RETS741X for LM741 and RETS741AX for LM741A.

Note 8: Human body model, 1.5 k Ω in series with 100 pF.

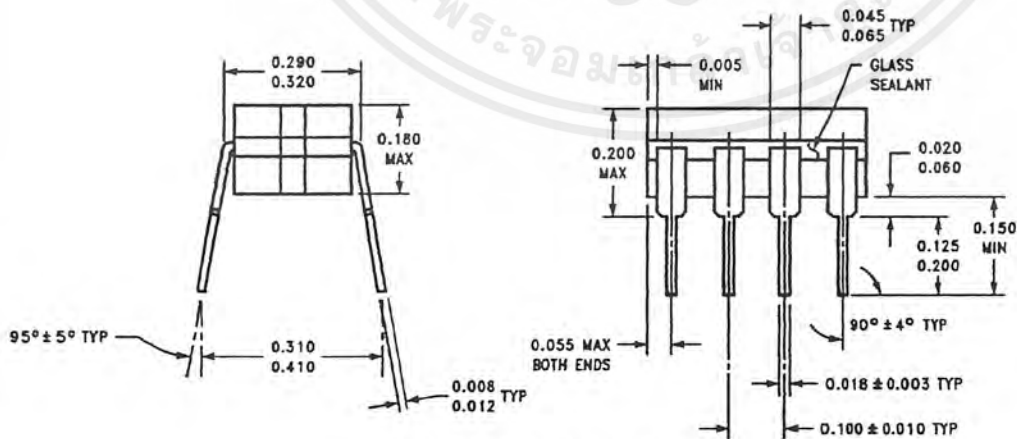
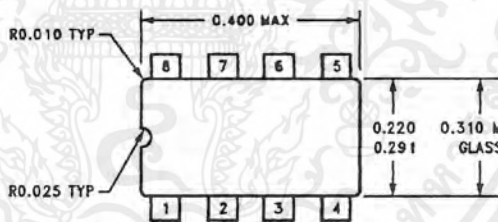
Schematic Diagram



Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted



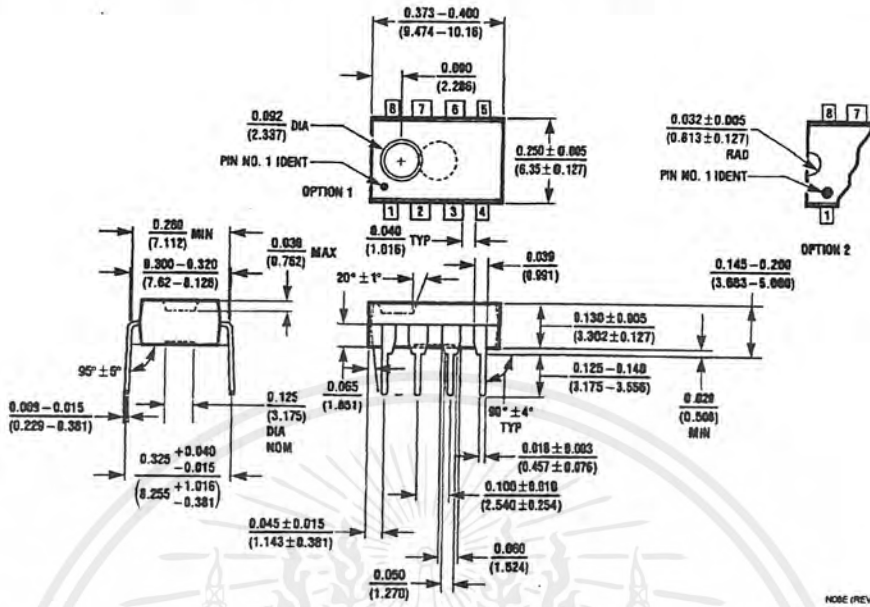
Metal Can Package (H)
 Order Number LM741H, LM741H/883, LM741AH/883, LM741AH-MIL or LM741CH
 NS Package Number H08C



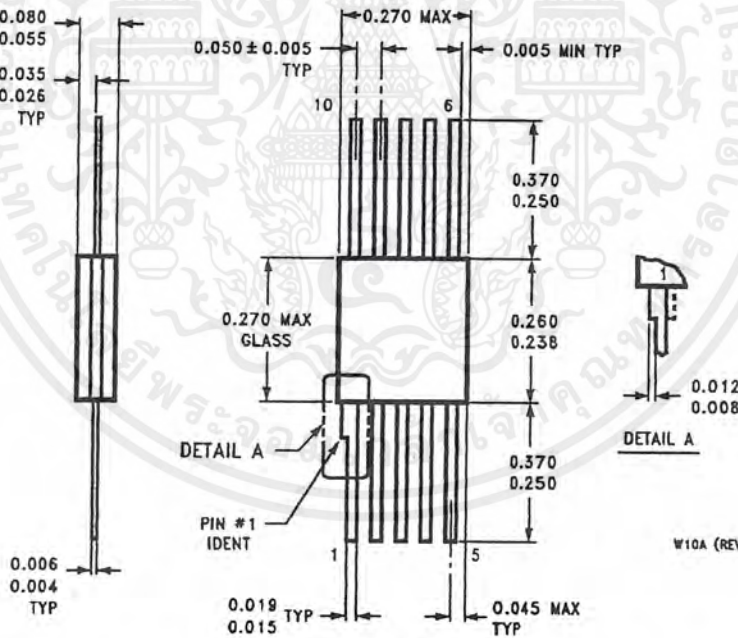
Ceramic Dual-In-Line Package (J)
 Order Number LM741J/883
 NS Package Number J08A

J08A (REV K)

Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted (Continued)



Dual-In-Line Package (N)
Order Number LM741CN
NS Package Number N08E



10-Lead Ceramic Flatpak (W)
Order Number LM741W/883, LM741WG-MPR or LM741WG/883
NS Package Number W10A

Notes



LIFE SUPPORT POLICY

NATIONAL'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF THE PRESIDENT AND GENERAL COUNSEL OF NATIONAL SEMICONDUCTOR CORPORATION. As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, and whose failure to perform when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in a significant injury to the user.
2. A critical component is any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.

National Semiconductor Corporation Americas
 Tel: 1-800-272-9959
 Fax: 1-800-737-7018
 Email: support@nsc.com
 www.national.com

National Semiconductor Europe
 Fax: +49 (0) 180-530 85 86
 Email: europe.support@nsc.com
 Deutsch Tel: +49 (0) 69 9508 6208
 English Tel: +44 (0) 870 24 0 2171
 Français Tel: +33 (0) 1 41 91 8790

National Semiconductor Asia Pacific Customer Response Group
 Tel: 65-2544466
 Fax: 65-2504466
 Email: ap.support@nsc.com

National Semiconductor Japan Ltd.
 Tel: 81-3-5639-7560
 Fax: 81-3-5639-7507

National does not assume any responsibility for use of any circuitry described, no circuit patent licenses are implied and National reserves the right at any time without notice to change said circuitry and specifications.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

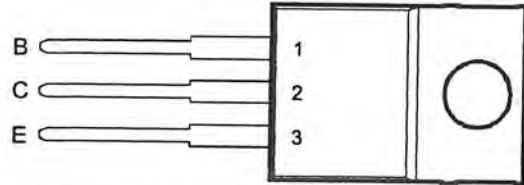
TIP29, TIP29A, TIP29B, TIP29C NPN SILICON POWER TRANSISTORS

Copyright © 1997, Power Innovations Limited, UK

JULY 1968 - REVISED MARCH 1997

- Designed for Complementary Use with the TIP30 Series
- 30 W at 25°C Case Temperature
- 1 A Continuous Collector Current
- 3 A Peak Collector Current
- Customer-Specified Selections Available

TO-220 PACKAGE
(TOP VIEW)



Pin 2 is in electrical contact with the mounting base.

MDTRACA

absolute maximum ratings at 25°C case temperature (unless otherwise noted)

RATING		SYMBOL	VALUE	UNIT
Collector-base voltage ($I_E = 0$)	TIP29	V_{CBO}	80	V
	TIP29A		100	
	TIP29B		120	
	TIP29C		140	
Collector-emitter voltage ($I_B = 0$)	TIP29	V_{CEO}	40	V
	TIP29A		60	
	TIP29B		80	
	TIP29C		100	
Emitter-base voltage		V_{EBO}	5	V
Continuous collector current		I_C	1	A
Peak collector current (see Note 1)		I_{CM}	3	A
Continuous base current		I_B	0.4	A
Continuous device dissipation at (or below) 25°C case temperature (see Note 2)		P_{tot}	30	W
Continuous device dissipation at (or below) 25°C free air temperature (see Note 3)		P_{tot}	2	W
Unclamped inductive load energy (see Note 4)		$\frac{1}{2}LI_C^2$	32	mJ
Operating junction temperature range		T_J	-65 to +150	°C
Storage temperature range		T_{stg}	-65 to +150	°C
Lead temperature 3.2 mm from case for 10 seconds		T_L	250	°C

- NOTES: 1. This value applies for $t_p \leq 0.3$ ms, duty cycle $\leq 10\%$.
 2. Derate linearly to 150°C case temperature at the rate of 0.24 W/°C.
 3. Derate linearly to 150°C free air temperature at the rate of 16 mW/°C.
 4. This rating is based on the capability of the transistor to operate safely in a circuit of: $L = 20$ mH, $I_{B(on)} = 0.4$ A, $R_{BE} = 100 \Omega$, $V_{BE(off)} = 0$, $R_S = 0.1 \Omega$, $V_{CC} = 20$ V.

PRODUCT INFORMATION

Information is current as of publication date. Products conform to specifications in accordance with the terms of Power Innovations standard warranty. Production processing does not necessarily include testing of all parameters.



TIP29, TIP29A, TIP29B, TIP29C

NPN SILICON POWER TRANSISTORS

JULY 1968 - REVISED MARCH 1997

electrical characteristics at 25°C case temperature

PARAMETER	TEST CONDITIONS			MIN	TYP	MAX	UNIT
$V_{(BR)CEO}$ Collector-emitter breakdown voltage	$I_C = 30 \text{ mA}$ (see Note 5)	$I_B = 0$	TIP29 TIP29A TIP29B TIP29C	40 60 80 100			V
I_{CES} Collector-emitter cut-off current	$V_{CE} = 80 \text{ V}$ $V_{CE} = 100 \text{ V}$ $V_{CE} = 120 \text{ V}$ $V_{CE} = 140 \text{ V}$	$V_{BE} = 0$ $V_{BE} = 0$ $V_{BE} = 0$ $V_{BE} = 0$	TIP29 TIP29A TIP29B TIP29C			0.2 0.2 0.2 0.2	mA
I_{CEO} Collector cut-off current	$V_{CE} = 30 \text{ V}$ $V_{CE} = 60 \text{ V}$	$I_B = 0$ $I_B = 0$	TIP29/29A TIP29B/29C			0.3 0.3	mA
I_{EBO} Emitter cut-off current	$V_{EB} = 5 \text{ V}$	$I_C = 0$				1	mA
h_{FE} Forward current transfer ratio	$V_{CE} = 4 \text{ V}$ $V_{CE} = 4 \text{ V}$	$I_C = 0.2 \text{ A}$ $I_C = 1 \text{ A}$	(see Notes 5 and 6)	40 15		75	
$V_{CE(sat)}$ Collector-emitter saturation voltage	$I_B = 125 \text{ mA}$	$I_C = 1 \text{ A}$	(see Notes 5 and 6)			0.7	V
V_{BE} Base-emitter voltage	$V_{CE} = 4 \text{ V}$	$I_C = 1 \text{ A}$	(see Notes 5 and 6)			1.3	V
h_{fe} Small signal forward current transfer ratio	$V_{CE} = 10 \text{ V}$	$I_C = 0.2 \text{ A}$	$f = 1 \text{ kHz}$	20			
$ h_{fe} $ Small signal forward current transfer ratio	$V_{CE} = 10 \text{ V}$	$I_C = 0.2 \text{ A}$	$f = 1 \text{ MHz}$	3			

NOTES: 5. These parameters must be measured using pulse techniques, $t_p = 300 \mu\text{s}$, duty cycle $\leq 2\%$.

6. These parameters must be measured using voltage-sensing contacts, separate from the current carrying contacts.

thermal characteristics

PARAMETER	MIN	TYP	MAX	UNIT
$R_{\theta JC}$ Junction to case thermal resistance			4.17	°C/W
$R_{\theta JA}$ Junction to free air thermal resistance			62.5	°C/W

resistive-load-switching characteristics at 25°C case temperature

PARAMETER	TEST CONDITIONS †			MIN	TYP	MAX	UNIT
t_{on} Turn-on time	$I_C = 1 \text{ A}$	$I_{B(on)} = 0.1 \text{ A}$	$I_{B(off)} = -0.1 \text{ A}$		0.5		μs
t_{off} Turn-off time	$V_{BE(off)} = -4.3 \text{ V}$	$R_L = 30 \Omega$	$t_p = 20 \mu\text{s}$, $dc \leq 2\%$		2		μs

† Voltage and current values shown are nominal; exact values vary slightly with transistor parameters.

PRODUCT INFORMATION

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของบริษัทเซมิคอนดักเตอร์ไทย จำกัด

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TYPICAL CHARACTERISTICS

TYPICAL DC CURRENT GAIN
VS
COLLECTOR CURRENT

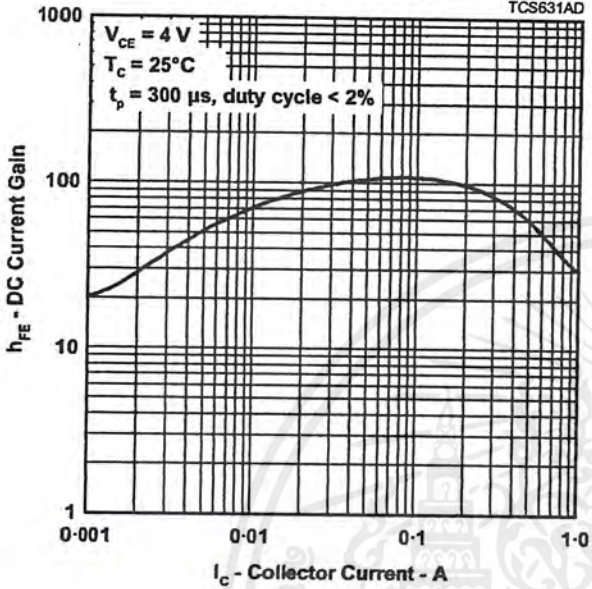


Figure 1.

COLLECTOR-EMITTER SATURATION VOLTAGE
VS
BASE CURRENT

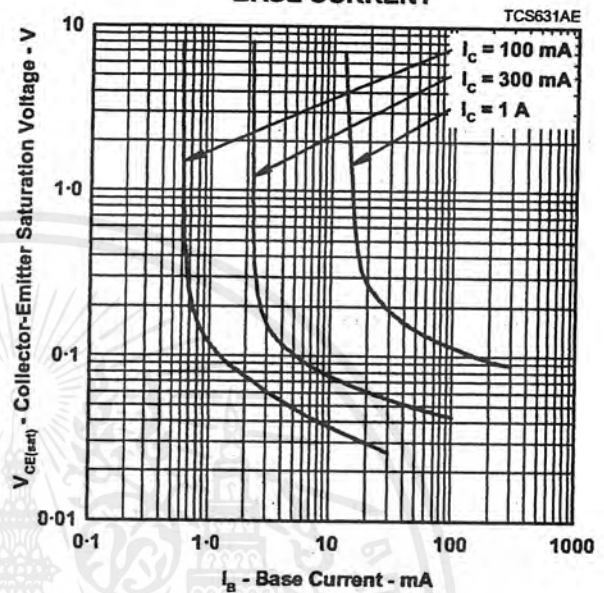


Figure 2.

BASE-EMITTER VOLTAGE
VS
COLLECTOR CURRENT

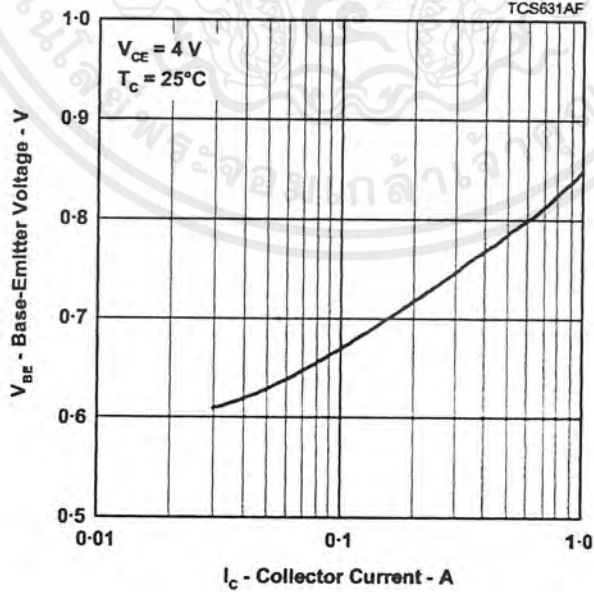


Figure 3.

PRODUCT INFORMATION

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้ใช้
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



TIP29, TIP29A, TIP29B, TIP29C NPN SILICON POWER TRANSISTORS

JULY 1968 - REVISED MARCH 1997

MAXIMUM SAFE OPERATING REGIONS

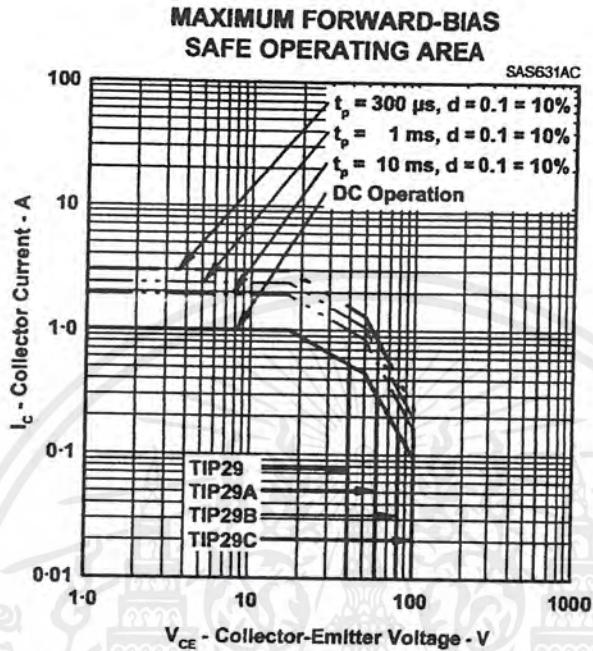


Figure 4.

THERMAL INFORMATION

MAXIMUM POWER DISSIPATION vs CASE TEMPERATURE

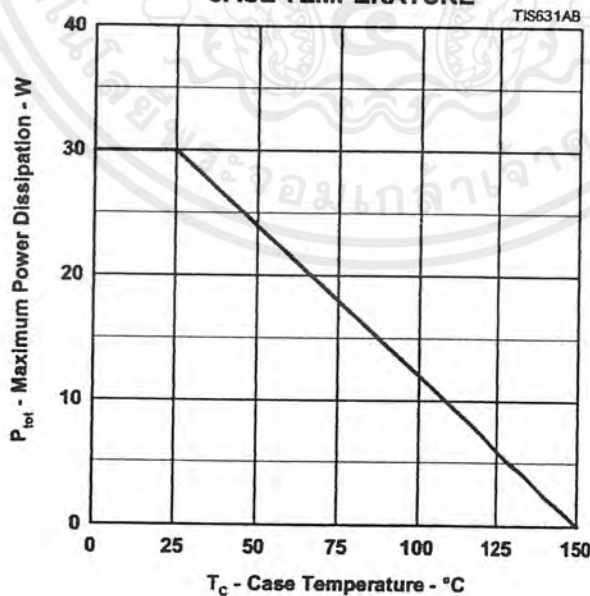


Figure 5.

PRODUCT INFORMATION

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อถูกเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตหรือการคัดลอก
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TIP29, TIP29A, TIP29B, TIP29C NPN SILICON POWER TRANSISTORS

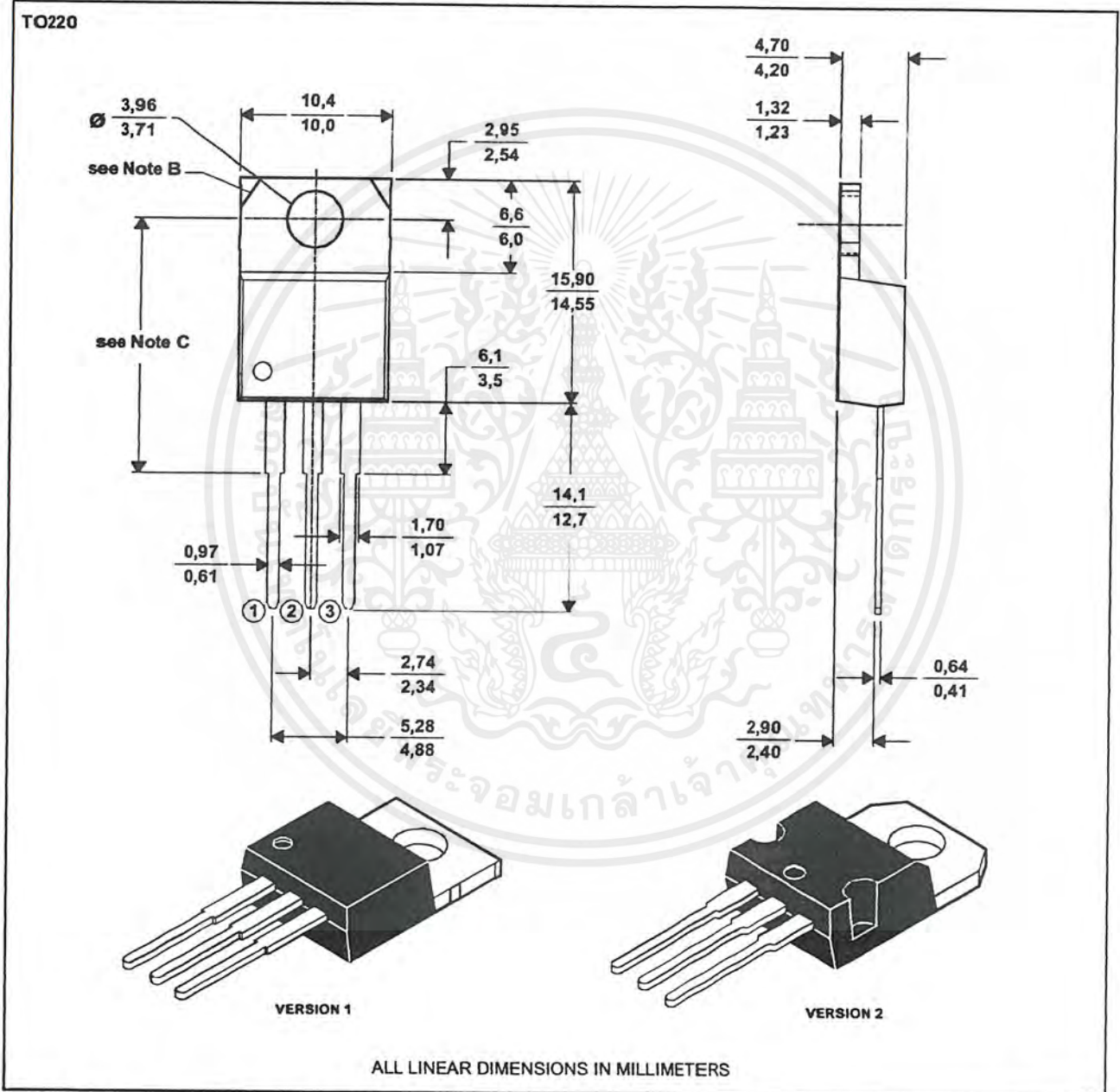
JULY 1968 - REVISED MARCH 1997

MECHANICAL DATA

TO-220

3-pin plastic flange-mount package

This single-in-line package consists of a circuit mounted on a lead frame and encapsulated within a plastic compound. The compound will withstand soldering temperature with no deformation, and circuit performance characteristics will remain stable when operated in high humidity conditions. Leads require no additional cleaning or processing when used in soldered assembly.



- NOTES: A. The centre pin is in electrical contact with the mounting tab.
 B. Mounting tab corner profile according to package version.
 C. Typical fixing hole centre stand off height according to package version.
 Version 1, 18.0 mm. Version 2, 17.6 mm.

MDXXBE

PRODUCT INFORMATION



ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TIP29, TIP29A, TIP29B, TIP29C NPN SILICON POWER TRANSISTORS

JULY 1968 - REVISED MARCH 1997

IMPORTANT NOTICE

Power Innovations Limited (PI) reserves the right to make changes to its products or to discontinue any semiconductor product or service without notice, and advises its customers to verify, before placing orders, that the information being relied on is current.

PI warrants performance of its semiconductor products to the specifications applicable at the time of sale in accordance with PI's standard warranty. Testing and other quality control techniques are utilized to the extent PI deems necessary to support this warranty. Specific testing of all parameters of each device is not necessarily performed, except as mandated by government requirements.

PI accepts no liability for applications assistance, customer product design, software performance, or infringement of patents or services described herein. Nor is any license, either express or implied, granted under any patent right, copyright, design right, or other intellectual property right of PI covering or relating to any combination, machine, or process in which such semiconductor products or services might be or are used.

PI SEMICONDUCTOR PRODUCTS ARE NOT DESIGNED, INTENDED, AUTHORIZED, OR WARRANTED TO BE SUITABLE FOR USE IN LIFE-SUPPORT APPLICATIONS, DEVICES OR SYSTEMS.

Copyright © 1997, Power Innovations Limited

PRODUCT INFORMATION

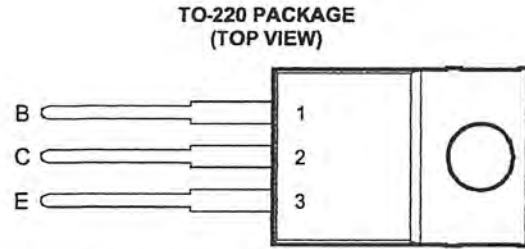
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TIP30, TIP30A, TIP30B, TIP30C PNP SILICON POWER TRANSISTORS

Copyright © 1997, Power Innovations Limited, UK

JULY 1968 - REVISED MARCH 1997

- Designed for Complementary Use with the TIP29 Series
- 30 W at 25°C Case Temperature
- 1 A Continuous Collector Current
- 3 A Peak Collector Current
- Customer-Specified Selections Available



Pin 2 is in electrical contact with the mounting base.

MDTRACA

absolute maximum ratings at 25°C case temperature (unless otherwise noted)

RATING		SYMBOL	VALUE	UNIT
Collector-base voltage ($I_E = 0$)	TIP30	V_{CBO}	-80	V
	TIP30A		-100	
	TIP30B		-120	
	TIP30C		-140	
Collector-emitter voltage ($I_B = 0$)	TIP30	V_{CEO}	-40	V
	TIP30A		-60	
	TIP30B		-80	
	TIP30C		-100	
Emitter-base voltage		V_{EBO}	-5	V
Continuous collector current		I_C	-1	A
Peak collector current (see Note 1)		I_{CM}	-3	A
Continuous base current		I_B	-0.4	A
Continuous device dissipation at (or below) 25°C case temperature (see Note 2)		P_{tot}	30	W
Continuous device dissipation at (or below) 25°C free air temperature (see Note 3)		P_{tot}	2	W
Unclamped inductive load energy (see Note 4)		$\frac{1}{2}LI_C^2$	32	mJ
Operating junction temperature range		T_J	-65 to +150	°C
Storage temperature range		T_{stg}	-65 to +150	°C
Lead temperature 3.2 mm from case for 10 seconds		T_L	250	°C

NOTES: 1. This value applies for $t_p \leq 0.3$ ms, duty cycle $\leq 10\%$.

2. Derate linearly to 150°C case temperature at the rate of 0.24 W/°C.

3. Derate linearly to 150°C free air temperature at the rate of 16 mW/°C.

4. This rating is based on the capability of the transistor to operate safely in a circuit of: $L = 20$ mH, $I_{B(on)} = -0.4$ A, $R_{BE} = 100 \Omega$, $V_{BE(off)} = 0$, $R_S = 0.1 \Omega$, $V_{CC} = -20$ V.

PRODUCT INFORMATION

Information is current as of publication date. Products conform to specifications in accordance with the terms of Power Innovations standard warranty. Production processing does not necessarily include testing of all parameters.

ไม่มีเหตุเปลี่ยนแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Power
INNOVATIONS

TIP30, TIP30A, TIP30B, TIP30C

PNP SILICON POWER TRANSISTORS

JULY 1968 - REVISED MARCH 1997

electrical characteristics at 25°C case temperature

PARAMETER	TEST CONDITIONS			MIN	TYP	MAX	UNIT
$V_{(BR)CEO}$ Collector-emitter breakdown voltage	$I_C = -30$ mA (see Note 5)	$I_B = 0$	TIP30 TIP30A TIP30B TIP30C	-40 -60 -80 -100			V
I_{CES} Collector-emitter cut-off current	$V_{CE} = -80$ V $V_{CE} = -100$ V $V_{CE} = -120$ V $V_{CE} = -140$ V	$V_{BE} = 0$ $V_{BE} = 0$ $V_{BE} = 0$ $V_{BE} = 0$	TIP30 TIP30A TIP30B TIP30C			-0.2 -0.2 -0.2 -0.2	mA
I_{CEO} Collector cut-off current	$V_{CE} = -30$ V $V_{CE} = -60$ V	$I_B = 0$ $I_B = 0$	TIP30/30A TIP30B/30C			-0.3 -0.3	mA
I_{EBO} Emitter cut-off current	$V_{EB} = -5$ V	$I_C = 0$				-1	mA
h_{FE} Forward current transfer ratio	$V_{CE} = -4$ V $V_{CE} = -4$ V	$I_C = -0.2$ A $I_C = -1$ A	(see Notes 5 and 6)	40 15		75	
$V_{CE(sat)}$ Collector-emitter saturation voltage	$I_B = -125$ mA	$I_C = -1$ A	(see Notes 5 and 6)			-0.7	V
V_{BE} Base-emitter voltage	$V_{CE} = -4$ V	$I_C = -1$ A	(see Notes 5 and 6)			-1.3	V
h_{fe} Small signal forward current transfer ratio	$V_{CE} = -10$ V	$I_C = -0.2$ A	$f = 1$ kHz	20			
$ h_{fe} $ Small signal forward current transfer ratio	$V_{CE} = -10$ V	$I_C = -0.2$ A	$f = 1$ MHz	3			

NOTES: 5. These parameters must be measured using pulse techniques, $t_p = 300$ μ s, duty cycle $\leq 2\%$.

6. These parameters must be measured using voltage-sensing contacts, separate from the current carrying contacts.

thermal characteristics

PARAMETER	MIN	TYP	MAX	UNIT
$R_{\theta JC}$ Junction to case thermal resistance			4.17	°C/W
$R_{\theta JA}$ Junction to free air thermal resistance			62.5	°C/W

resistive-load-switching characteristics at 25°C case temperature

PARAMETER	TEST CONDITIONS †			MIN	TYP	MAX	UNIT
t_{on} Turn-on time	$I_C = -1$ A	$I_{B(on)} = -0.1$ A	$I_{B(off)} = 0.1$ A		0.3		μ s
t_{off} Turn-off time	$V_{BE(off)} = 4.3$ V	$R_L = 30$ Ω	$t_p = 20$ μ s, dc $\leq 2\%$		1		μ s

† Voltage and current values shown are nominal; exact values vary slightly with transistor parameters.

PRODUCT INFORMATION

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อถูกผูกต่อเข้ากับระบบจะขึ้นตามการตั้งค่า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TYPICAL CHARACTERISTICS

TYPICAL DC CURRENT GAIN
vs
COLLECTOR CURRENT

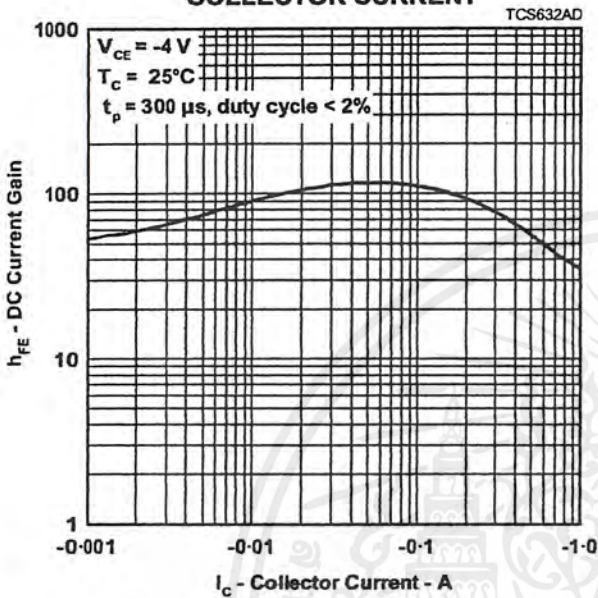


Figure 1.

COLLECTOR-EMITTER SATURATION VOLTAGE
vs
BASE CURRENT

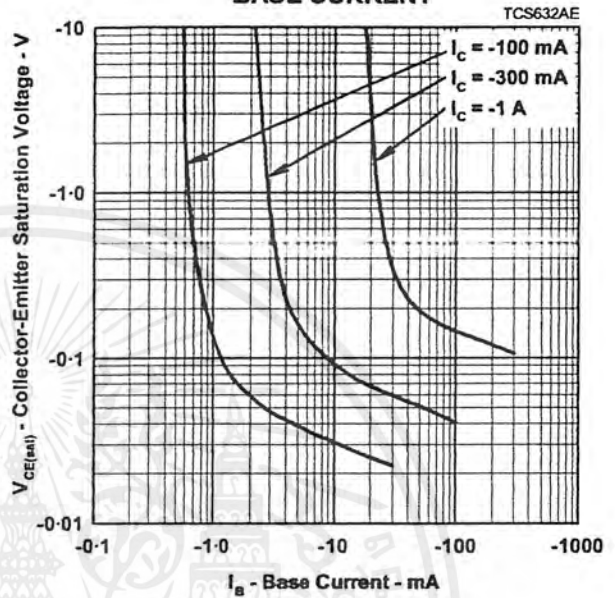


Figure 2.

BASE-EMITTER VOLTAGE
vs
COLLECTOR CURRENT

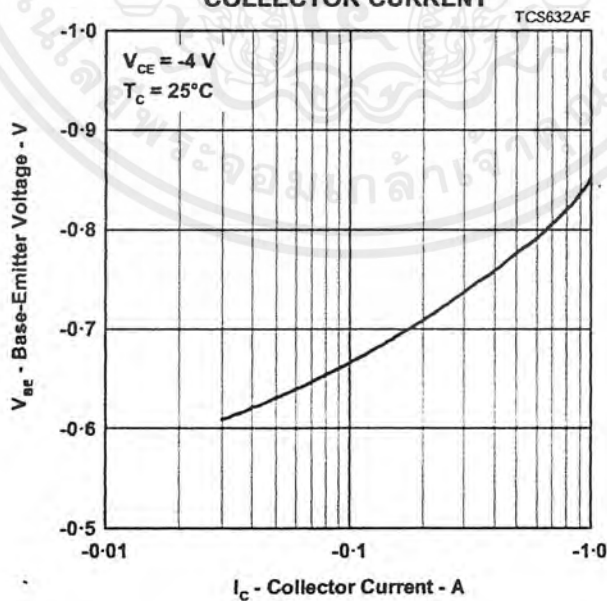


Figure 3.

PRODUCT INFORMATION

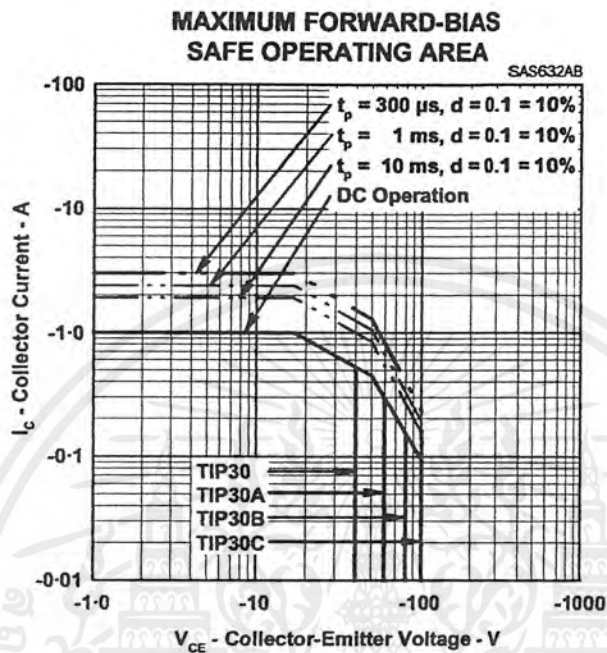


ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TIP30, TIP30A, TIP30B, TIP30C PNP SILICON POWER TRANSISTORS

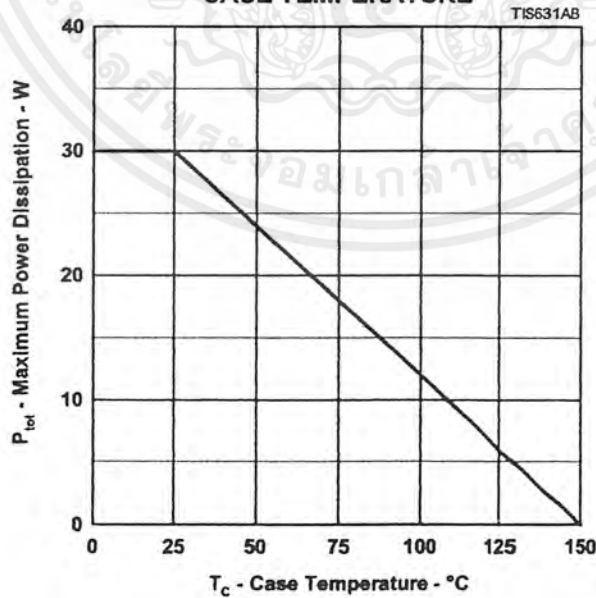
JULY 1968 - REVISED MARCH 1997

MAXIMUM SAFE OPERATING REGIONS



THERMAL INFORMATION

MAXIMUM POWER DISSIPATION vs CASE TEMPERATURE



PRODUCT INFORMATION

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TIP30, TIP30A, TIP30B, TIP30C PNP SILICON POWER TRANSISTORS

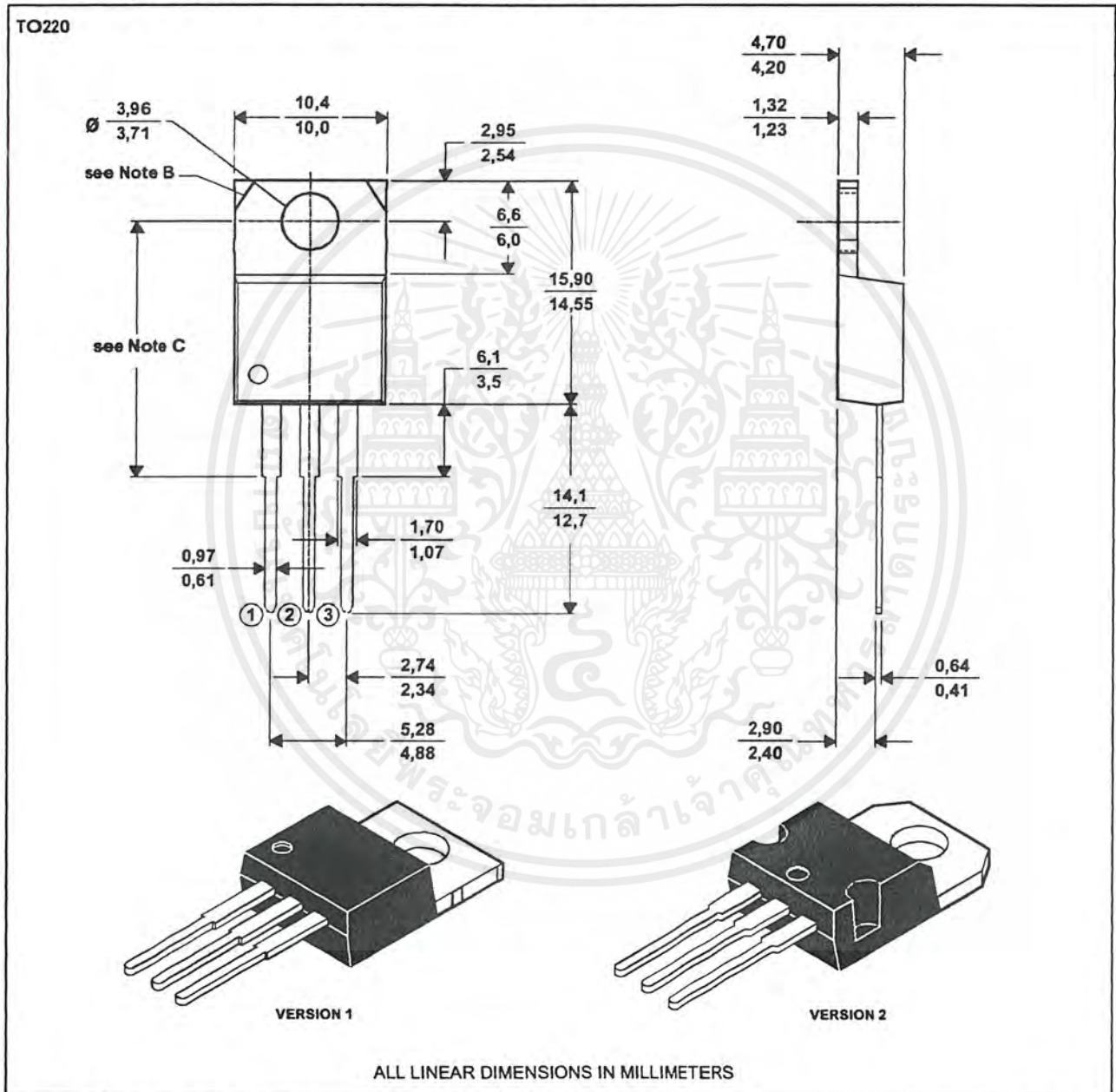
JULY 1968 - REVISED MARCH 1997

MECHANICAL DATA

TO-220

3-pin plastic flange-mount package

This single-in-line package consists of a circuit mounted on a lead frame and encapsulated within a plastic compound. The compound will withstand soldering temperature with no deformation, and circuit performance characteristics will remain stable when operated in high humidity conditions. Leads require no additional cleaning or processing when used in soldered assembly.



- NOTES: A. The centre pin is in electrical contact with the mounting tab.
 B. Mounting tab corner profile according to package version.
 C. Typical fixing hole centre stand off height according to package version.
 Version 1, 18.0 mm. Version 2, 17.6 mm.

MDXXBE

PRODUCT INFORMATION

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำมาใช้
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



TIP30, TIP30A, TIP30B, TIP30C PNP SILICON POWER TRANSISTORS

JULY 1968 - REVISED MARCH 1997

IMPORTANT NOTICE

Power Innovations Limited (PI) reserves the right to make changes to its products or to discontinue any semiconductor product or service without notice, and advises its customers to verify, before placing orders, that the information being relied on is current.

PI warrants performance of its semiconductor products to the specifications applicable at the time of sale in accordance with PI's standard warranty. Testing and other quality control techniques are utilized to the extent PI deems necessary to support this warranty. Specific testing of all parameters of each device is not necessarily performed, except as mandated by government requirements.

PI accepts no liability for applications assistance, customer product design, software performance, or infringement of patents or services described herein. Nor is any license, either express or implied, granted under any patent right, copyright, design right, or other intellectual property right of PI covering or relating to any combination, machine, or process in which such semiconductor products or services might be or are used.

PI SEMICONDUCTOR PRODUCTS ARE NOT DESIGNED, INTENDED, AUTHORIZED, OR WARRANTED TO BE SUITABLE FOR USE IN LIFE-SUPPORT APPLICATIONS, DEVICES OR SYSTEMS.

Copyright © 1997, Power Innovations Limited

PRODUCT INFORMATION

โปรดอ่านข้อมูลผลิตภัณฑ์นี้ก่อนสั่งซื้อทุกครั้งเพื่อหลีกเลี่ยงข้อผิดพลาดในการใช้งาน
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้