



ปีการศึกษา 2538

การผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยพลังน้ำ

HYDRO - GENERATOR

โดย

นาย ชีรวุฒิ เวทะธรรม 801100

นาย นงค์ เทียมศรีทอง 801168

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ มณฑล ลีลาจินดาไกรฤกษ์

จน.

ศ.47

2538

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2599

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เรื่อง การผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยพลังน้ำ

ผู้จัดทำ

1. นาย ชีรวดี เวทธรรม 901100

2. นาย พงศ์ เทียมศรีทอง 901169

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(อ.มณฑล ลีลาจินดาไกรฤกษ์)

สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้าที่
	บทคัดย่อ	1
	ABSTRACT	2
1	บทนำ	9
2	ทฤษฎีและโครงสร้างของ	
	เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสลับ	4
	กังหันน้ำ	16
	มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	26
	เกียร์ทดรอบ	90
	วาล์ว	92
9	อธิบายการทำงานของ	
	วงจรควบคุมแรงดันไฟฟ้าให้คงที่	99
	วงจรควบคุมความถี่ให้คงที่	41
4	หลักการทำงานและการหาค่าตอบสนองของระบบ	52
5	บทสรุปและวิจารณ์	63
	กิตติกรรมประกาศ	64
	เอกสารอ้างอิง	65
	ภาคผนวก	66

สารบัญรูป

	หน้าที่
รูปที่ 2.1-1 แสดงโครงสร้างของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ	5
รูปที่ 2.1-2 แสดงโครงสร้างของสเตเตอร์	5
รูปที่ 2.1-3(ก)แสดงโครงสร้างของตัวหมุนแบบชาร์เลียน	6
รูปที่ 2.1-3(ข)แสดงโครงสร้างของตัวหมุนแบบทรงกระบอก	7
รูปที่ 2.1-4 ฟลักซ์แม่เหล็กที่เกิดจากผลของอาร์เมเจอร์รีแอกชัน	9
รูปที่ 2.1-5 เฟสเซอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มี PF lagging	11
รูปที่ 2.1-6 แสดงวงจรสมมูลย์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ	19
รูปที่ 2.1-7(ก)แสดงการเอ็กไซต์เตอร์ธรรมดา	19
รูปที่ 2.1-7(ข)แสดงการเอ็กไซต์แบบไม่มีวงแหวนลื่นหรือแปลงถ่าน	14
รูปที่ 2.1-7(ค)แสดงการเอ็กไซต์ด้วยตัวมันเอง	15
รูปที่ 2.2-1(ก)กราฟแสดงประสิทธิภาพของกังหันเพลตัน	21
รูปที่ 2.2-1(ข)กราฟแสดงประสิทธิภาพของกังหันสละทอน	21
รูปที่ 2.2-2(ก)รูปแสดงรันเนอร์ของกังหันฟรานซิส	22
รูปที่ 2.2-2(ข)รูปแสดงรันเนอร์ของกังหันโพรเพลเลอร์	29
ตารางที่ 1 แสดงความสัมพันธ์ของความเร็วจำเพาะกับพารามิเตอร์ ต่างๆของกังหัน	24
รูปที่ 2.2-3(ก)รูปแสดงภาคตัดขวางของกังหันฟรานซิส	24
รูปที่ 2.2-3(ข)รูปแสดงภาคตัดขวางของกังหันโพลเพลเลอร์	25
รูปที่ 2.3-1 วงจรสมมูลย์ของดีซิมอเตอร์	28
รูปที่ 2.3-2 บล็อกไดอะแกรมของดีซิมอเตอร์โมเดล	29
รูปที่ 2.4-1 แสดงเกียร์ทดรอบ	91
รูปที่ 3.1-1 แสดงวงจรของอะสเตเบิล	34

รูปที่ 9.1-2	แสดงสัญญาณที่ขาออกของสเตเบิลและสัญญาณการชาร์จ และดิซชาร์จของคาปาซิเตอร์	94
รูปที่ 9.1-3	แสดงวงจรสร้างสัญญาณสามเหลี่ยม	96
รูปที่ 9.1-4	แสดงสัญญาณอินพุทขาเบสของ Q_1 และแสดงสัญญาณ สามเหลี่ยมที่ได้	97
รูปที่ 9.1-5	แสดงวงจรเปรียบเทียบระดับวงจรไฟฟ้า	97
รูปที่ 9.1-6	แสดงสัญญาณสี่เหลี่ยมที่เปลี่ยนแปลงไปตามแรงดันไฟฟ้า ตรงที่เข้ามา	98
รูปที่ 9.1-7	แสดงวงจรรวมที่ใช้ควบคุมแรงดันให้คงที่	40
รูปที่ 9.2-1	แสดงวงจรฮาร์ฟเวฟเร็คติฟาย์	42
รูปที่ 9.2-2	แสดงสัญญาณอินพุทและเอาต์พุตที่ออกจากฮาร์ฟเวฟเร็คติฟาย์	49
รูปที่ 9.2-3(ก)	แสดงวงจรที่ใช้	
	(ข)แสดงสัญญาณเอาต์พุตที่ออกมาเมื่อเทียบอินพุท	49
รูปที่ 9.2-4	แสดงวงจรที่ใช้	44
รูปที่ 9.2-4(ข)	แสดงสัญญาณขาออกของโมโนสเตเบิล เมื่อความถี่เข้ามา มีค่ามากกว่า 50 เฮิร์ตซ	45
รูปที่ 9.2-4(ค)	แสดงสัญญาณขาออกเมื่อความถี่ที่เข้ามาเท่ากับ 50 เฮิร์ตซ	45
รูปที่ 9.2-4(ง)	แสดงสัญญาณขาออกเมื่อความถี่ที่เข้ามามีค่าน้อยกว่า 50 เฮิร์ตซ	45
รูปที่ 9.2-5	แสดงวงจรอนอินเวอร์ตติ้ง	46
รูปที่ 9.2-6	แสดงการต่อวงจรเปรียบเทียบระดับแรงดัน 2 ชุด	47
รูปที่ 9.2-7	แสดงวงจรที่ใช้ในบล็อกไดอะแกรมที่ 4	48
รูปที่ 9.2-8	แสดงสัญญาณที่ออกมาจากวงจรเปรียบเทียบความแตกต่าง ของความกว้างพัลส์	49
รูปที่ 9.2-9	แสดงการต่อวงจรสร้างความถี่ และวงจรมอดูเลชัน	51

รูปที่ 9.2-10	รูปแสดงวงจรควบคุมความถี่ให้คงที่	52-59
รูปที่ 4.1	บล็อกไดอะแกรมของส่วนควบคุมแรงดันไฟฟ้าให้คงที่	54
รูปที่ 4.2	แสดงบล็อกไดอะแกรมของส่วนควบคุมความถี่ให้คงที่	56
รูปที่ 4.3	แสดงบล็อกไดอะแกรมที่ได้จากการลดรูป	57
รูปที่ 4.4	แสดงผลตอบสนองที่ค่าการควบคุมต่างๆ	58-62



การผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานน้ำ

นายธีรวิทย์ เวทะธรรม ๓๐๑๑๐๐

นายพงศ์ เทียมศรีทอง ๓๐๑๑๖๓

อาจารย์มณฑล ลีลาจินดาไกรฤกษ์

ปีการศึกษา ๒๕๓๓

บทคัดย่อ

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการนำพลังงานที่สูญเสียไปโดยเปล่าประโยชน์ กลับมาใช้ประโยชน์ โดยนำมาผลิตเป็นพลังงานไฟฟ้า มีหลักการทำงานคร่าวๆ คือ นำน้ำทั้งจากโรงงานอุตสาหกรรมมาหมุนกังหันน้ำ โดยผ่านวาล์ว ๒ ตัวคือ วาล์วเปิด/ปิด และ ออโตเมติก วาล์ว ซึ่งวาล์วตัวหนึ่งใช้สำหรับเปิด/ปิดน้ำเข้า และควบคุมอัตราการไหลของน้ำโดย หยาบๆ เพื่อควบคุมความเร็วของการไหลของน้ำซึ่งจะเป็นตัวขับเคลื่อนกังหัน ไฟฟ้ากระแสสลับต่อไป โดยจะใช้ความเร็วที่คงที่ค่าหนึ่งคือความเร็วซินโครนัล ล้วนวาล์วตัวที่สองซึ่งจะเป็นวาล์วปรับปริมาณน้ำเข้าโดยละเอียด โดยจะเป็นการ ควบคุมความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าให้คงที่ เมื่อภาระไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลง มีเกียร์ทดรอบซึ่งต่ออยู่ระหว่างกังหันน้ำและตัวเครื่องกำเนิดไฟฟ้า น้ำที่ เข้ามาจะทำให้กังหันน้ำหมุน และเกียร์ทดรอบจะเพิ่มความเร็วรอบสูงขึ้นไปให้ เท่ากับความเร็วที่กำหนดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

จากสิ่งต่าง ๆ เหล่านี้สามารถนำพลังงาน ที่สูญเสียไปโดยเปล่าประโยชน์กลับมาใช้ประโยชน์ได้อีกครั้ง

HYDRO GENERATOR

TEERAWUT WETATHAM 901100

PONG TIAMSRITONG 901169

ADVISOR

MONTHON LEE LAJINDAKRAIRERK

ACADEMIC YEAR 1990

ABSTRACT

This project is about using loss power from industry water-off to make electric hydro-power by mean of a generator called "HYDRO GEN". There are two valves in hydro gen. The first valve through which the water comes, is for opening and closing, controlling the flow rating widely to control the speed of turbine which is the AC-Generator drive at the synchronous speed. Other one, the second valve, is the water quantity adaptor by means of controlling the generator speed at constant speed although some loads may be changed. It has gear-box between turbine and generator for adjusting the same turbine speed as the generator.

From these details , we can re-use the non-using power , the industry water-off , to produce electric power

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

ในช่วงระยะเวลาปัจจุบันนี้ มีการใช้ไฟฟ้าในชีวิตประจำวันเป็นจำนวนมาก อัตราการใช้ไฟฟ้าได้เพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว ซึ่งนับว่าไฟฟ้าเป็นสิ่งจำเป็นของมนุษย์อย่างหนึ่ง และพลังงานบางอย่างที่ปล่อยทิ้งไปโดยเปล่าประโยชน์ เช่น น้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม หรือคลองส่งน้ำต่างๆ ซึ่งเราสามารถนำมาหมุนกังหันน้ำ เพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้านำมาใช้ประโยชน์ได้ แม้ว่าจะได้พลังงานไฟฟ้าเพียงจำนวนน้อย เมื่อเทียบกับที่ได้จากแหล่งพลังงานอื่นๆ แต่ถ้ามีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดนี้อยู่หลายๆ ก็อาจจะช่วยเสริมปริมาณการผลิตไฟฟ้าเพิ่มเติมเข้ามาอีกได้ไม่มากนัก

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ^{บทนำ}นำเสนอ ข้อคิดและความเป็นไปได้ที่จะผลิตพลังงานไฟฟ้าขึ้นมาได้โดยใช้พลังงาน ซึ่งมีการควบคุมแรงดันไฟฟ้าและความถี่ให้คงที่ได้ที่ 220 โวลต์ 50 เฮิรตซ์ ประโยชน์ คือนำไปใช้ในพื้ที่นอกการจ่ายของการไฟฟ้า หรือในกรณีผลิตไฟฟ้าไว้ใช้เองในหมู่บ้านหรือในโรงงานอุตสาหกรรม มีรายละเอียดอื่นๆ เกี่ยวกับทฤษฎีและในด้านอุปกรณ์ที่ใช้ ซึ่งมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ กังหันน้ำ เกียร์ทดรอบ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง วาล์ว และส่วนที่ทำการควบคุมแรงดันไฟฟ้า และความถี่ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับให้คงที่

ทฤษฎีของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ

เครื่องจักรกลไฟฟ้าแบบซิงค์โครนัส (Synchronous machine) คือ เครื่องจักรกลไฟฟ้าที่ทำงานในขณะที่ตัวหมุนมีความเร็วเท่ากับสนามแม่เหล็กหมุนที่ เกิดจากอาร์เมเจอร์ (Armature) ซึ่งจะทำงานที่ความเร็วรอบคงที่และความถี่ คงที่ภายใต้สภาวะเสถียรไม่ว่าเครื่องจักรกลไฟฟ้านั้นจะทำหน้าที่เป็นตัวจ่ายกำลัง ไฟฟ้าออกมา (เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับที่มีความเร็วคงที่) หรือตัวจ่ายกำลัง ออกมา (มอเตอร์กระแสไฟฟ้าสลับที่มีความเร็วคงที่) ก็ตาม จะอย่างไรก็ตาม ตัวอาร์เมเจอร์หรือขดลวดสนามแม่เหล็กกระตุ้น อาจจะอยู่ที่ตัวอยู่กับที่หรือที่ตัว หมุนก็ได้ แล้วแต่จุดประสงค์ของการใช้งานและ ขนาดของเครื่องจักรกลไฟฟ้า ดังนั้นเครื่องจักรกลไฟฟ้าแบบซิงค์โครนัสจึงต้องมีความเร็วรอบที่คงที่เสมอ โดย ไม่คำนึงว่าภาระทางไฟฟ้าที่มันได้รับนั้นจะมีมากน้อยเท่าไรก็ตาม โดยที่จำนวน ขั้วแม่เหล็ก (pole) และความถี่ของเครื่องจักรกลไฟฟ้าแบบซิงค์โครนัสนั้นๆ คง คงที่ โดยทั่วไปเครื่องจักรกลไฟฟ้าแบบนี้แบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

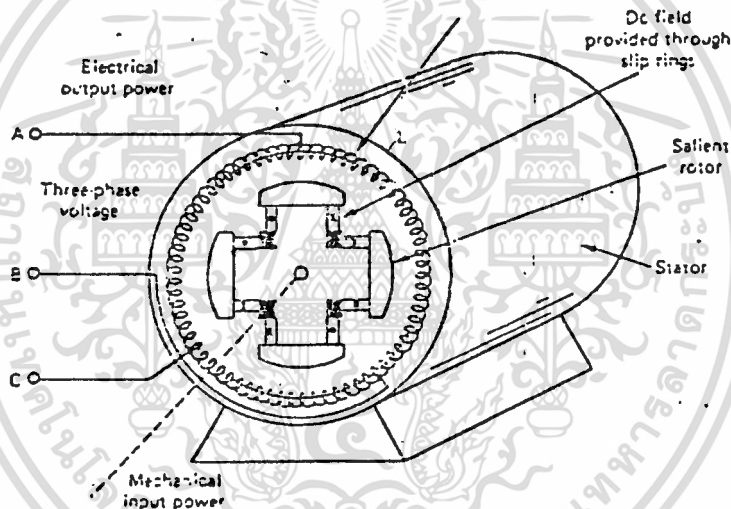
1. เครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้ากระแสสลับชนิดที่ต้องมีความเร็วรอบคงที่ (synchronous generator หรือ alternator)
2. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับที่มีความเร็วคงที่ (synchronous motor)

เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับแสดงโครงสร้างได้ดังรูปที่ 2.1-1

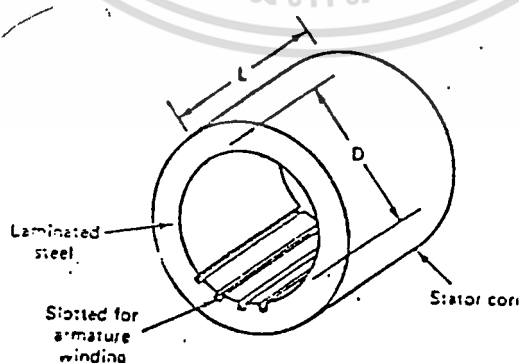
มีหลักการของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบง่าย ๆ คือการเคลื่อนที่ของตัวนำตัด สนามแม่เหล็ก ถ้าขดลวดสนามแม่เหล็กกระตุ้นอยู่กับที่และส่วนตัวอาร์เมเจอร์หมุน ไป เรียกว่า (revolving armature) โดยส่วนของขดลวดสนามแม่เหล็กกระตุ้น เรียกว่าตัวอยู่กับที่หรือ (stator) และส่วนอาร์เมเจอร์เรียกว่า ตัวหมุน (rotor) แต่ถ้าขดลวดสนามแม่เหล็กกระตุ้นหมุนไปและส่วนอาร์เมเจอร์อยู่กับที่ เรียกว่าเป็นแบบ revolving field โดยขดลวดสนามแม่เหล็กกระตุ้นเรียกว่า

ตัวหมุน และส่วนอาร์เมเจอร์เรียกว่า สเตเตอร์ โดยส่วนมากแล้ว เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับจะเป็นแบบ revolving field เหตุที่นิยมสร้างแบบนี้คือ

1. เพื่อความสะดวกในการนำกระแสไฟฟ้าเข้าที่ตัวหมุนซึ่งเป็นปริมาณไฟฟ้าที่มีจำนวนน้อยกว่าที่ส่วนอาร์เมเจอร์ โดยใส่ไฟฟ้าผ่านแปรงถ่านที่สัมผัสกับวงแหวนลื่น (slip rings) ที่ต่อไปยังขดลวดที่พันอยู่บนตัวหมุนอีกทีหนึ่ง ส่วนอาร์เมเจournั้นจะย้ายไปอยู่ที่ตัวอยู่กับที่นั่นก็คือ ขดลวดของอาร์เมเจอร์พันอยู่บนตัวอยู่กับที่ ทั้งนี้เพื่อให้สามารถนำไฟฟ้าเข้าหรือออกได้จำนวนมากๆ
2. ส่วนของอาร์เมเจอร์ง่ายที่จะทำการระบายความร้อน
3. ไม่เกิด commutator action ขึ้นทำให้สามารถสร้างนิกัดให้มีขนาดใหญ่ได้



รูปที่ 2.1-1 แสดงโครงสร้างของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ



รูปที่ 2.1-2 แสดงโครงสร้างของสเตเตอร์

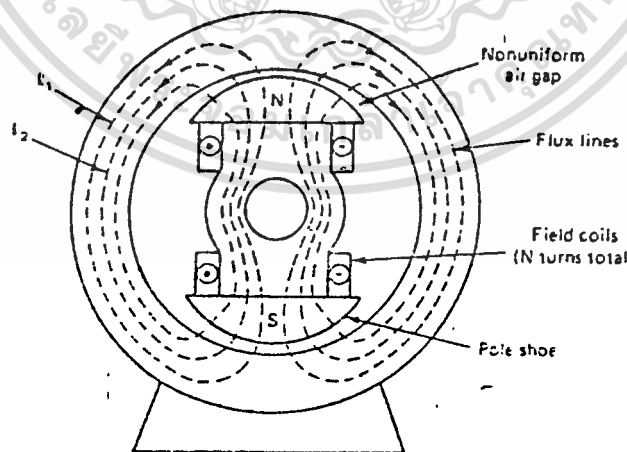
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สเตเตอร์

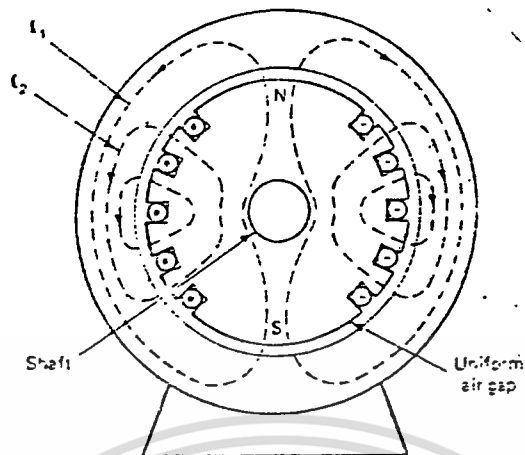
โครงสร้างของสเตเตอร์ทำจากแผ่นเหล็กบางๆ ที่นำมาซ้อนกันเพื่อลดผลของการสูญเสียพลังงานจากกระแสไหลวนในแกนเหล็ก (eddy current loss) ให้น้อยลง แผ่นเหล็กที่ใช้จะมีค่าความซึมซาบแม่เหล็ก (permeability) และความต้านทาน (resistivity) สูง ที่นิยมใช้กันได้แก่ " silicon iron " ดังแสดงไว้ในรูป 2.1-2 จากรูป จะเห็นว่ามิชงส์ล๊อต (slot) สำหรับเป็นที่ใส่ตัวนำในเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับที่มีความเร็วรอบต่ำ (low speed) จะมีเส้นผ่าศูนย์กลาง (d) กว้างมาก เช่น hydro electric generator จะมีจำนวนขั้วแม่เหล็กมาก และมีความยาวของแกน (l) สั้น ส่วนกรณีเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับที่มีความเร็วรอบสูง เช่น steam turbine , turbo-gen ที่มีจำนวนขั้วแม่เหล็กเป็น 2 หรือ 4 ซึ่งมีความยาวของแกนมีค่ามากกว่าความกว้างของเส้นผ่าศูนย์กลาง ของตัวหมุนหลายเท่า

ตัวหมุน

ตัวหมุน คือส่วนที่เคลื่อนที่ไปของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ สร้างได้ 2 แบบ ดังรูปที่ 2.1-3



รูปที่ 2.1-3(ก) แสดงโครงสร้างของตัวหมุนแบบซาลิเียน



รูปที่ 2.1-9(ข) แสดงโครงสร้างของตัวหมุนแบบทรงกระบอก

1. ตัวหมุนแบบซาร์เลียน (salient rotor) จะมีการป้อนกระแสตรงเข้าไปในส่วนของขดลวดสนามแม่เหล็กกระตุ้น ทำให้เกิด MMF (NI) ผลคือมีสนามแม่เหล็กเกิดขึ้นดังรูป 2.1-9(ก) ซึ่งส่วน pole shoe มีรูปร่างดังรูปเพื่อให้ความหนาแน่นของสนามแม่เหล็กลัพธ์ (resultant flux density) ในช่องอากาศ (air gap) มีลักษณะเป็นรูปไซน์ (sinusoidal) ผลคือทำให้แรงดันที่ถูกรสร้างขึ้นมามีลักษณะรูปไซน์ด้วย ตัวหมุนแบบซาร์เลียนนี้ใช้งานในเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับที่มีความเร็วรอบต่ำ ทำให้มีจำนวนขั้วแม่เหล็กมาก

2. ตัวหมุนแบบทรงกระบอก (round rotor หรือแบบ cylindrical rotor) ดังรูป 2-9(ข) จะมีส่วนของสนามแม่เหล็กกระตุ้น วางตัวอยู่ในช่องสล๊อตที่ตัวหมุนและช่องอากาศ มีลักษณะสม่ำเสมอ (uniform) และจากรูป 2.1-9(ข) จะเห็นว่าทางเดินของ Φ_1 มีการครอบคลุมตัวนำที่มีกระแสไหลมากกว่าทางเดินของ Φ_2 ฉะนั้นที่ทางเดินของ Φ_1 จะมีความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กเป็นรูปไซน์ด้วย ตัวหมุนแบบทรงกระบอกนี้จะใช้งานในเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับที่มีความเร็วรอบสูงและมีจำนวนขั้วแม่เหล็กน้อย

เราสามารถแสดงค่าแรงดันภายใน (E) ที่สร้างขึ้นของเครื่องกำเนิด

ไฟฟ้ากระแสลับ ในสถานะไม่มีภาระทางไฟฟ้าได้อย่างคร่าวคือ

$$E = K\phi\omega$$

เมื่อ ω คือความเร็วเชิงมุมของการหมุนของสนามแม่เหล็กในช่องอากาศ

ϕ คือความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กกลับในช่องอากาศ

ส่วนอัตราการหมุนของ สนามแม่เหล็กในเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสลับ จะมีส่วนสัมพันธ์กับความถี่ของแรงดันไฟฟ้าที่สร้างขึ้นในส่วนของสเตเตอร์คือ

$$f = (n * p) / 120$$

เมื่อ f คือความถี่ทางไฟฟ้าของแรงดันไฟฟ้าที่สร้างขึ้น

n คือความเร็วของตัวหมุนที่ถูกขับด้วยตัวขับทางกล , รอบ/นาทิจ

p คือจำนวนขั้วแม่เหล็กของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสลับ

แรงดันไฟฟ้าตกคร่อม(generator voltage drop)

เมื่อมีการป้อนภาระทางไฟฟ้าให้แก่ เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสลับจะทำให้มีกระแสไหลในส่วนของตัวนำในอาร์เมเจอร์ ซึ่งจะมีค่าความต้านทานของมันอยู่ (armature resistance (R_a)) ฉะนั้นจึงทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมที่ตัวความต้านทานมีค่า

$$V_a = I_a * R_a$$

เมื่อ V_a คือแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมอยู่ที่ความต้านทานในแต่ละเฟส

I_a คือกระแสที่ไหลในแต่ละเฟส(phase current) มีหน่วย แอมป์

R_a คือความต้านทานของตัวนำในแต่ละเฟสของส่วนของอาร์เมเจอร์ มีหน่วยเป็น โอห์ม/เฟส

นอกจากนี้ตัวนำในส่วนอาร์เมเจอร์ยังส่งผลให้เกิด แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมเนื่องจากค่ารีแอกแตนซ์รั่วซึม (leakage reactance) มีค่า

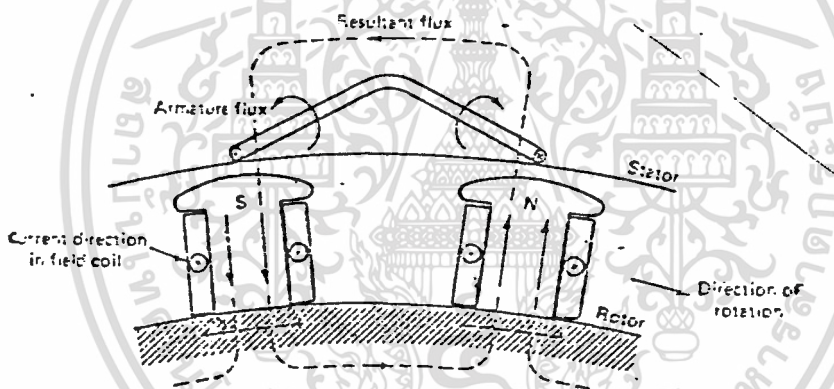
$$V_x = I_a * X_a$$

เมื่อ V_x คือแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมที่เกิดจากค่ารีแอกแตนซ์รั่วซึมของตัวนำในส่วนอาร์เมเจอร์

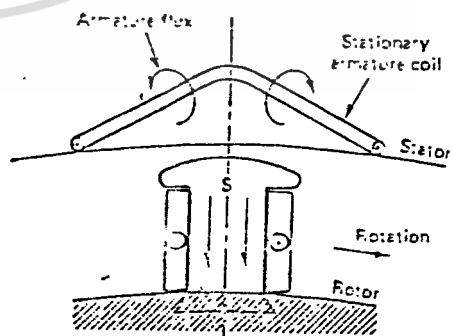
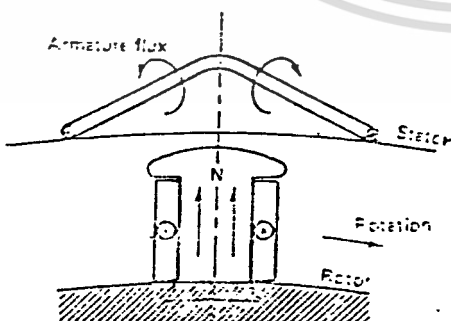
x คือค่ารีแอคแตนซ์ที่รั่วของตัวนำ ในส่วนของอาร์เมเจอร์ของแต่ละเฟสมีหน่วยเป็น โอห์ม/เฟส

ปรากฏการณ์อาร์เมเจอร์รีแอคชัน(armature reaction)

เมื่อขดลวดสนามแม่เหล็กกระตุ้นในเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับถูกกระตุ้นด้วยกระแสตรง และไม่มีกระแสไหลในส่วนอาร์เมเจอร์ จะได้เส้นทางเดินของฟลักซ์แม่เหล็กดังรูป 2.1-3 และเมื่อมีการป้อนภาระทางไฟฟ้า ก็จะทำให้ตัวนำภายในอาร์เมเจอร์มีกระแสไหล และจะสร้างแม่เหล็กของมันเองขึ้นมา จึงทำให้เกิดฟลักซ์แม่เหล็กขึ้น 2 ค่า ในช่องอากาศซึ่งกระทำซึ่งกันและกัน ทำให้ได้ผลรวมของฟลักซ์แม่เหล็กลัพธ์ (resultant flux) มีการเปลี่ยนแปลง เราเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า armature reaction ซึ่งอธิบายได้ดังรูป



รูปที่ 2.1-4 (ก) กรณี unity power factor



รูปที่ 2.1-4 (ข)กรณี $PF = \cos \phi \text{ lagging}$ รูปที่ 2-4 (ค) $PF = \cos \phi \text{ leading}$

รูปที่ 2.1-4 ฟลักซ์แม่เหล็กที่เกิดจากผลของอาร์เมเจอร์รีแอคชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตจากหน่วยงานต้นสังกัด

จากรูป แสดงส่วนโครงสร้างของขดลวดสนามแม่เหล็กกระตุ้น ที่หมุนไปในทิศตามเข็มนาฬิกา สมมติว่าการวางตัวนำในช่องสล๊อต บนส่วนอาร์เมเจอร์เป็นแบบ full pitch เมื่อระยะระหว่างขั้วแม่เหล็กของตัวหมุนอยู่ในทิศตรงข้ามกับ coil side ดังรูป 2.1-4(ก)จะทำให้เกิดการสร้างแรงดันไฟฟ้ามีค่าสูงสุดในตัวนำที่อาร์เมเจอร์ (armature coil) ถ้ากระแสในตัวนำมีทิศทางเดียวกับแรงดันไฟฟ้าที่สร้างขึ้น (กรณี unity power factor) จะก่อให้เกิดฟลักซ์แม่เหล็กหมุนไปรอบตัวนำตามทิศลูกศรดังรูปที่ 2.1-4(ก) จะเห็นว่าทิศทางของฟลักซ์แม่เหล็กที่สร้างจากอาร์เมเจอร์ (armature coil flux) จะมีทิศเสริมกับฟลักซ์แม่เหล็กของขั้วแม่เหล็กเหนือ (north pole) และมีทิศทางตรงกันข้ามกับฟลักซ์แม่เหล็กของขั้วแม่เหล็กใต้ (south pole) ภายใต้อินทรีย์ของระยะความกว้างของคอยล์ (coil span) ฉะนั้นผลรวมของฟลักซ์แม่เหล็กลัพธ์จึงมีค่าคงเดิม แต่มุมของการ saturation ใน pole shoes จะต่างออกไปจากเดิมเล็กน้อย ฉะนั้นสุดท้ายกรณีนี้จะเป็นการลดฟลักซ์แม่เหล็กที่ตัดผ่านตัวนำในส่วนของอาร์เมเจอร์เล็กน้อย

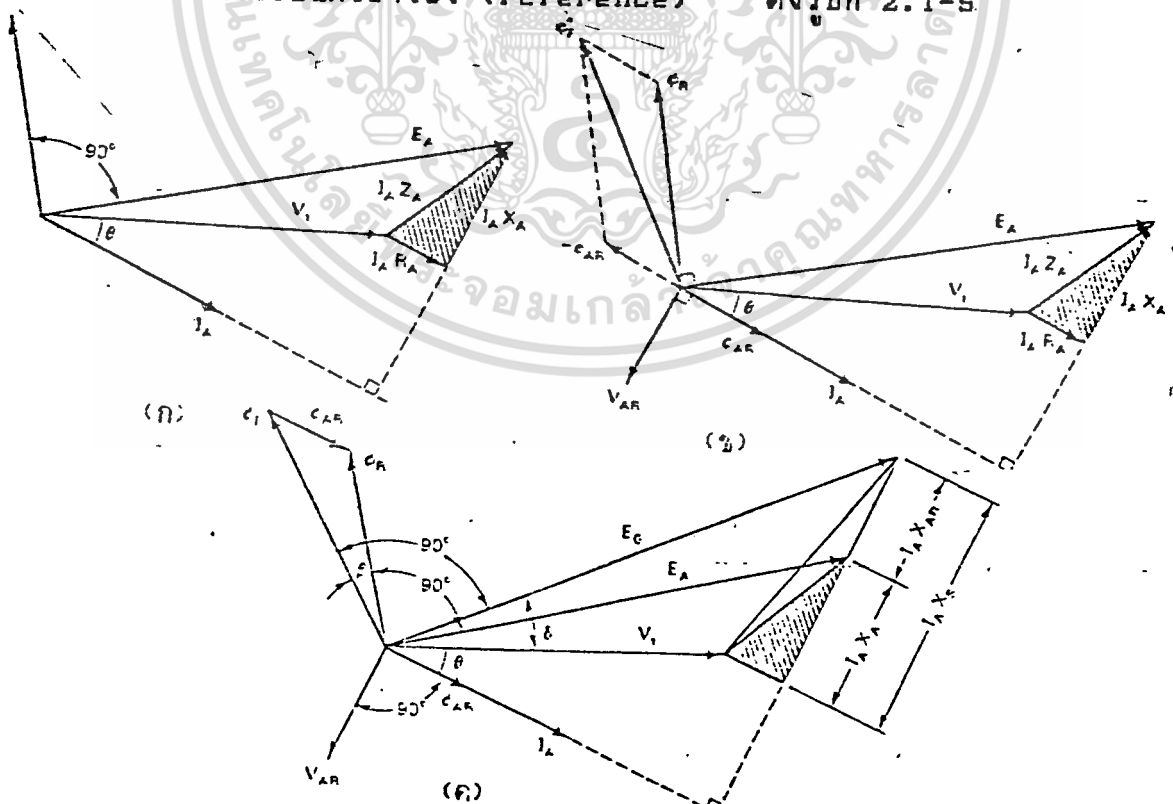
ส่วนในรูป 2.1-4(ข)นั้นจะเป็นแบบกระแสในตัวอาร์เมเจอร์มีมุมตามหลังแรงดันไฟฟ้าที่ขั้ว (V_u) อยู่ 90 องศา (zero power factor lagging current) ฉะนั้นกระแสที่ไหลในตัวนำของอาร์เมเจอร์มีค่าสูงสุด เมื่อขั้วแม่เหล็กใต้ อยู่ระหว่างกึ่งกลางของอาร์เมเจอร์ มีทิศทางตรงกันข้ามกับฟลักซ์แม่เหล็กของขั้วแม่เหล็กใต้ จึงเป็นการลดฟลักซ์แม่เหล็กลัพธ์ในช่องอากาศลง เรียกว่า demagnetize

สำหรับกรณีที่ กระแสในตัวนำอาร์เมเจอร์มีมุมนำหน้าแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วอยู่ 90 องศา (zero power factor leading current) จะมีกระแสในตัวนำอาร์เมเจอร์ มีค่าสูงสุดเมื่อขั้วแม่เหล็กเหนืออยู่ระหว่างกึ่งกลางของแกนคอยล์ ดังรูปที่ 2.1-4(ค)จะเห็นว่าฟลักซ์แม่เหล็กลัพธ์ในช่องอากาศเพิ่มขึ้นเราเรียกว่า การ magnetize ผลของปรากฏการณ์อาร์เมเจอร์รีแอคชั่นจะทำให้มีการ

เปลี่ยนแปลงขนาดและการกระจายของฟลักซ์แม่เหล็ก ที่สร้างจากขดลวดสนามแม่เหล็กกระตุ้น ส่งผลทำให้ฟลักซ์แม่เหล็กกลับที่ช่องอากาศ มีการเปลี่ยนแปลงไป อาจจะทำให้แรงดันภายในที่สร้างขึ้น มีค่ามากขึ้นหรือต่ำลง ฉะนั้นจะเห็นได้ว่าเมื่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสลับ จ่ายไฟฟ้าออกไปนั้นจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าที่ขั้ว เนื่องจากสาเหตุ ๑ ประการ คือ

1. แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมอยู่ที่ความต้านทานของตัวนำในอาร์เมเจอร์
2. แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมอยู่ที่รีแอคแตนซ์รั่วซึมของตัวนำในอาร์เมเจอร์
๑. แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมอยู่ที่รีแอคแตนซ์ (reactant) อันเนื่องมาจากปฏิกิริยาของอาร์เมเจอร์เมื่อต้องจ่ายกระแสออกไปยังวงจรภายนอก

เมื่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสลับมีการป้อนภาระทางไฟฟ้า ส่วนของอาร์เมเจอร์จะมีกระแสไหล ก่อให้เกิดแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมขึ้นที่ความต้านของตัวนำ รีแอคแตนซ์รั่วซึมและผลของปรากฏการณ์ของอาร์เมเจอร์รีแอคชั่น ในส่วนของอาร์เมเจอร์มีมุมตามหลังแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วไปเป็นมุม ϕ (load angle) ถ้าเราให้แรงดันไฟฟ้าที่ขั้วเป็นตัวอ้างอิง (reference) ดังรูปที่ 2.1-5.



รูปที่ 2.1-5 การเขียนเฟลเซอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มี PF เป็น lagging
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.1-5(ก) นั้น E เป็นแรงดันไฟฟ้าที่เกิดจากผลของฟลักซ์แม่เหล็กหลัก (ϕ) และมีมุมตามหลังอยู่ 90 องศา ผลต่างทางเวกเตอร์ของ E กับ V คือค่าอิมพีแดนซ์ตกคร่อม (impedance drop) มีค่า $I_a * Z$ ภายในส่วนอาร์เมเจอร์ ซึ่งประกอบด้วยผลของแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมความต้านทานของอาร์เมเจอร์ $I_a * R$ ในทิศทางเดียวกับกระแสที่ไหลในอาร์เมเจอร์ (inphase) และแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมเนื่องจากรีแอคแตนซ์รั่วซึมของอาร์เมเจอร์ $I_a * X$ มีมุน้ำกระแสในตัวของอาร์เมเจอร์อยู่ 90 องศา ถ้าเรานำผลของอาร์เมเจอร์รีแอคชั่นจะทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าขึ้นมา (V_{ar}) ซึ่งมีมุมตามหลังฟลักซ์แม่เหล็กที่สร้างจากส่วนอาร์มาเจอร์ (ϕ) อยู่ 90 องศา ดังรูปที่ 2.1-5(ข)

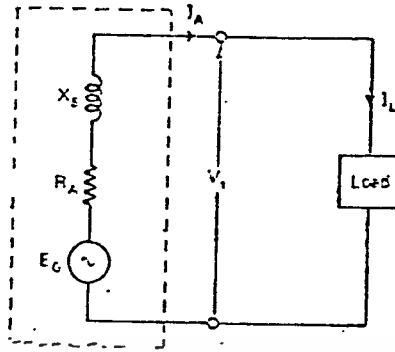
และจะได้เฟสเซอร์โดยทั่วๆ ไปดังรูป 2.1-5(ค) ค่าแรงดันไฟฟ้าภายในที่สร้างขึ้น (E) เกิดขึ้นในสภาวะไม่มีภาระทางไฟฟ้า และจากรูป 2.1-5(ค) จะเห็นว่า $V_{ar} = I_a * X$ เมื่อ X คือค่ารีแอคแตนซ์ที่สร้างจากปรากฏการณ์อาร์เมเจอร์รีแอคชั่นนั้น มีทิศทางเดียวกันกับ $I_a * X$ และผลรวมของแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมของ V_{ar} และ $I_a * X$ เรียกว่า reactance drop ที่สร้างขึ้นในส่วนอาร์มาเจอร์ นั้น คือ

$$I_a (X_s * X_{ar}) = I_a * X_s$$

$$\text{เมื่อ } X_s = X_a + X_{ar}$$

ซึ่งค่าแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมนี้เรา เรียกว่า synchronous reactance voltage drop และ X_s นี้เรียกว่า synchronous reactance ส่วนมุมซึ่งอยู่ระหว่าง E และ V นี้เรียกว่า power angle หรือ torque angle ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ ส่วนมุม คือ มุมที่เลื่อนไปของฟลักซ์แม่เหล็กหลักที่ช่องอากาศเมื่อเทียบกับตำแหน่งไม่มีภาระทางไฟฟ้า

เราสามารถเขียนวงจรสมมูลย์ (equivalent circuit) ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าลดับดังรูป 2.1-6



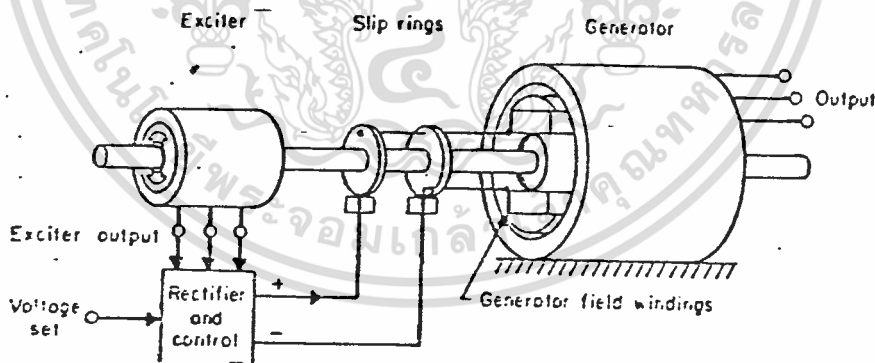
รูปที่ 2.1-6 แสดงวงจรสมมูลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ

การป้อนกระแสไฟฟ้าตรงเข้าขดลวดสนามแม่เหล็กกระตุ้น(exciter)

ตัวเอ็กไซไซเตอร์ (exciters) เป็นตัวป้อนกระแสไฟฟ้าตรงให้แก่ขดลวดสนามแม่เหล็กกระตุ้นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ เพื่อสร้างสนามแม่เหล็กหมุน ใช้ในการควบคุมขนาดแรงดันไฟฟ้าที่สร้างขึ้นในส่วนอาร์เมเจอร์

1. แบบตัวเอ็กไซไซเตอร์ธรรมดา (slip ring rotating exciter)

แสดงดังรูปที่ 2.1-7 (ก)

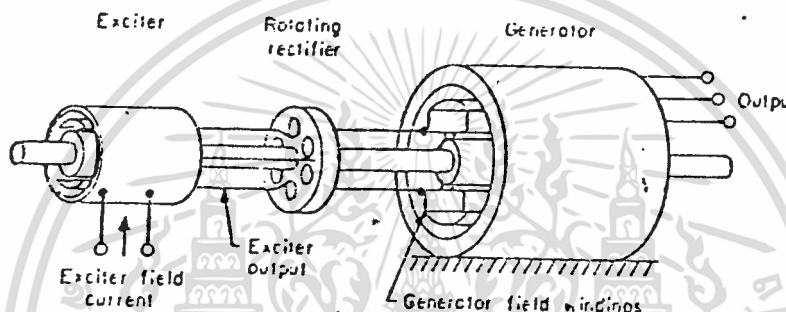


รูปที่ 2.1-7 (ก) แสดงการเอ็กไซไซเตอร์ธรรมดา

จากรูปมีการป้อนกระแสไฟฟ้าตรงเข้าขดลวดสนามแม่เหล็กกระตุ้นโดยผ่านทางแปรงถ่านที่สัมผัสอยู่กับวงแหวนลื่น (slip ring) โดยใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับขนาดเล็กเป็นแหล่งกำลังไฟฟ้า (source power) ซึ่งมีส่วนของ

สนามแม่เหล็กกระตุ้นเป็นขั้วแม่เหล็กถาวร แล้วนำเอาแรงดันไฟฟ้าทางขาคออกมาทำการแปลงให้เป็นแรงดันไฟฟ้าตรงโดยใช้วงจรเรกติฟาย์ (rectify) และมีวงจรควบคุมแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายออกมาให้มีค่าคงที่ (Voltage regulation) จากนั้นนำป้อนเข้าสู่แปรงถ่านต่อไป

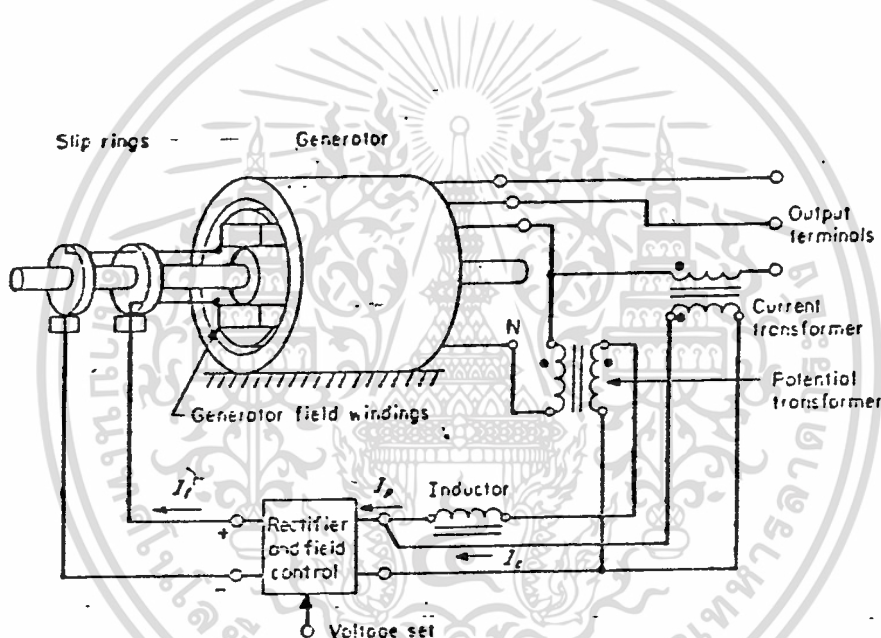
2. แบบไม่มีการใช้แปรงถ่าน และวงแหวนลื่น (rotating-rectifier brushless exciter) แสดงได้ดังรูปที่ 2.1-7 (ข)



รูปที่ 2.1-7(ข) แสดงการเอ็กไซไซต์แบบไม่มีวงแหวนลื่นและแปรงถ่าน จากรูปมีการใช้ตัวเอ็กไซไซเตอร์ที่เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับขนาดเล็กโดยมีส่วนของขดลวดสนามแม่เหล็กอยู่กับที่ และส่วนของอาร์เมเจอร์เป็นตัวหมุน แรงดันไฟฟ้าที่ออกมาจากส่วนอาร์เมเจอร์จะถูกเรกติฟาย์ด้วยไดโอดที่ติดตั้งอยู่บนส่วนอาร์เมเจอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับขนาดเล็ก ผลคือจะได้แรงดันไฟฟ้าตรงสำหรับป้อนให้แก่ขดลวดสนามแม่เหล็กกระตุ้น ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับตัวหลัก และมีวงจรควบคุมแรงดันเพื่อควบคุมให้แรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับตัวหลักมีค่าคงที่

3. แบบเอ็กไซไซต์ด้วยตัวเอง (static exciter) แสดงได้ดังรูป 2.1-7(ค)
จากรูปส่วนของกระแสไฟฟ้าตรงที่ป้อนให้แก่ขดลวดสนามแม่เหล็กกระตุ้นได้มาจากแรงดันไฟฟ้าขาคออกของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับของมันเอง โดยใช้

หม้อแปลงกระแส (current transformer) ป้อนกระแสกลับมา และมีหม้อแปลงแรงดัน (potential transformer) ป้อนกระแสกลับมาเข้าสู่ส่วนสนามแม่เหล็กกระตุ้น แล้วมีอินดักแทนซ์ต่อเพื่อให้กระแสทั้งสองมีการทำมุมซึ่งกันและกัน (phase shift) เกิดขึ้นโดยออกแบบให้มีการเอ็กไซต์เกิน (over excite) เล็กน้อย แล้วมีระบบควบคุมกระแสเอ็กไซต์ที่เกินนี้อีกครั้ง เพื่อให้แรงดันไฟฟ้าที่ขั้วมีค่าคงที่ ข้อดีของการเอ็กไซต์เกิน คือ สภาวะที่มีการเพิ่มภาระทางไฟฟ้าอย่างทันทีทันใด เช่นการเริ่มเดินเครื่องมอเตอร์ระบบจะมีการปรับตัวอย่างรวดเร็ว เพื่อให้แรงดันที่ขั้วมีค่าเข้าใกล้ค่าคงที่



รูปที่ 2.1-7 (ค) แสดงการเอ็กไซต์ด้วยตัวมันเอง

กังหันน้ำ (TURBINE)

ว. ๒๑๒-๒๑๐

ชนิดและลักษณะโดยทั่วไป

กังหันน้ำ (hydraulic turbine) มีโครงสร้างเป็นแบบง่าย ๆ และต่อการควบคุม ใช้เวลาจากเริ่มเดินเครื่องจนถึงทำงานเต็มที่ (full load) ได้ในเวลาอันสั้น ซึ่งกังหันน้ำที่ใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าโดยทั่วไป แบ่งออกได้เป็น 2 ชนิดใหญ่ๆ คือ กังหันสะท้อน (reaction turbine) และกังหันกระทบ (impulse turbine)

1. กังหันกระทบ (impulse turbine) จะใช้งานในกรณีที่มีหัวน้ำ (head) สูงซึ่งความดันหัวน้ำ (pressure head) จะเปลี่ยนเป็นความเร็วหัวน้ำ (velocity head) โดยตัวหัวฉีด (nozzle) ซึ่งจะส่งน้ำเข้าไปปะทะกับbuckets ของตัวรันเนอร์ (runner) ทำให้เกิดการหมุน ดังนั้นความเร็วหัวน้ำจะถูกเปลี่ยนไปเป็นพลังงานจลน์ ปริมาณของน้ำที่เข้าสู่กังหันน้ำจะควบคุมได้จากการควบคุมการเปิดปิดของหัวฉีด โดยการเคลื่อนที่ของเข็มหัวฉีด (needle)

กังหันกระทบแบ่งได้ 2 ชนิด คือ

1.1 กังหันแบบเพลตัน (pelton turbine)

ลักษณะโครงสร้างของกังหันแบบเพลตัน จะประกอบด้วยส่วนของหัวฉีด ซึ่งจะฉีดน้ำเข้าไปปะทะกับตัวรันเนอร์ ซึ่งตัวรันเนอร์ที่ขอบจะมีbuckets ซึ่งมีลักษณะเป็นใบพัด รับน้ำจากหัวฉีด ที่ตัวหัวฉีดจะมีเข็ม (splitter) ซึ่งจะทำงานเคลื่อนที่เข้าหรือออก เพื่อควบคุมปริมาณน้ำที่พุ่งออกจากหัวฉีด และที่ปลายหัวฉีดจะมีเจ็ตดีฟเลกเตอร์ (jet deflector) ทำหน้าที่ปรับทิศทางของน้ำให้พุ่งไปกระทบกับbuckets

ดังนั้นเพาเวอร์เอาต์พุต (power output) และความเร็วของกังหันชนิดนี้สามารถควบคุมได้ที่เข็มของหัวฉีดและที่เจ็ตดีฟเลกเตอร์ โดยปกติกังหันเพลตันจะใช้งานในกรณีที่หัวน้ำสูง และมีอัตราการไหลต่ำ โดยมากใช้งานที่หัวน้ำสูงประมาณ 500 เมตร ขึ้นไป จนถึงประมาณ 1700 เมตร

1.2 กังหันครอสโฟลว์ (cross-flow turbine)

กังหันแบบครอสโฟลว์นี้ จะใช้หลักการการฉีดน้ำเข้ามาในแนวตั้งฉากกับใบพัด ซึ่งอยู่บนตัวรันเนอร์ที่เป็นแบบแท่ง พลังงานของน้ำจะถ่ายเทให้กับใบพัดของตัวรันเนอร์เป็นแบบสองขั้นตอน ขั้นแรก เมื่อน้ำเข้ามาปะทะกับตัวรันเนอร์ และขั้นตอนที่สองเมื่อน้ำผ่านออกจากตัวรันเนอร์ จึงเป็นลักษณะรวมของทั้งแบบกังหันกระแทก และกังหันสะท้อน ซึ่งปริมาณน้ำและเพาเวอร์เอาท์พุทและความเร็วรอบสามารถควบคุมได้จาก โกว์เวน (guide vane) ในช่องทางน้ำเข้า ซึ่งจะแบ่งการไหลของน้ำออกเป็นสองช่องทาง

ส่วนประกอบของกังหันแบบครอสโฟลว์

1. หัวฉีด ซึ่งพลังงานจากการไหลของน้ำ จะเปลี่ยนเป็นพลังงานจลน์ โดยจะส่งน้ำปะทะกับใบพัดของตัวรันเนอร์
2. ตัวรันเนอร์มีลักษณะเป็นแท่ง
3. ใบพัด เป็นตัวส่งผ่านพลังงานจลน์จากการไหลของน้ำไปยังตัวรันเนอร์
4. ชาฟท์ (shaft) ทำหน้าที่ส่งผ่านทอร์คไปยังเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
5. เฮาส์ซิง (housing) เป็นส่วนปิดทั้งหมด
6. ดราฟท์ทิวป์ ท่อน้ำ
7. โกว์เวน (guide vane) เป็นตัวเปิดปิด แบ่งช่องการไหลเข้าของน้ำ เพื่อควบคุมอัตราการไหล

ข้อได้เปรียบของกังหันแบบครอสโฟลว์ก็คือ เพาเวอร์เอาท์พุทสามารถออกแบบให้ได้มากน้อย โดยที่ยังคงมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของตัวรันเนอร์เท่ากันได้โดยการเพิ่มความยาวของตัวรันเนอร์ออกไป

2. กังหันสะท้อน (reaction turbine)

พลังงานของน้ำที่นำไปใช้งานจะอยู่ในรูปของแรงดันของน้ำ ที่เข้าผ่านไปยังกังหัน ซึ่งพลังงานจะถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานจลน์ เมื่อน้ำที่มีความดันสูงกว่าความดันบรรยากาศผ่านเข้าไปในช่องของกังหัน ผ่านตัวรันเนอร์ของกังหัน ส่ง

ผลให้เกิดการหมุนขึ้น ซึ่งในการควบคุมปริมาณน้ำที่เข้าออก ทำได้โดยการควบคุมการเปิดปิดช่องทางน้ำเข้า (gate) โดยอาจใช้ระบบเซอร์โวแมคคาณิสซึม (servo mechanism) หรือระบบไฮดรอลิก (oil-pressure system) กังหันและท่อนแบ่งตามทิศทางการไหลของน้ำที่เข้าสู่กังหันได้ 2 แบบ คือ

1. การไหลเข้าทางแนวรัศมี (radial flow inward)

น้ำจะผ่านเข้าสู่ตัวกังหันตามทิศทางแนวรัศมีหรือด้านข้าง และทะลุออกมาทางแนวแกน ได้แก่ กังหันฟรานซิส (francis turbine)

2. การไหลเข้าทางแนวแกน (axial flow)

น้ำจะผ่านเข้ามาทางแนวแกนของกังหัน ได้แก่ กังหันโพรเพลเลอร์ (propeller turbine) และกังหันคาเพลน (kaplan turbine)

โดยปกติกังหันแบบฟรานซิสจะใช้งาน ที่หัวน้ำประมาณ 70-500 เมตร กังหันโพรเพลเลอร์จะใช้งานที่หัวน้ำน้อยกว่า 70 เมตรลงมา และสำหรับหัวน้ำน้อยกว่า 30 เมตร จะเหมาะสมกับกังหันคาเพลนหรือกังหันที่สามารถปรับมุมของใบพัดได้ และสำหรับประสิทธิภาพของกังหันนั้น ขึ้นอยู่กับค่าหัวน้ำ, ขนาดของกังหันและความเร็วรอบ ซึ่งประสิทธิภาพสูงสุดของกังหันฟรานซิส, กังหันคาเพลน และกังหันโพรเพลเลอร์แบบใบพัดยึดติดแน่น (fixed-blade propeller) จะอยู่ในช่วง 92 - 98 % กังหันฟรานซิสเหมาะสมที่จะใช้งานในช่วง 75% จนถึงที่เต็มพิกัด กังหันโพรเพลเลอร์โครงสร้างแบบใบพัดยึดติดแน่นจะใช้งานในช่วง

75 - 100 % ของพิกัด

คาเพลน 40 - 80%

fuller power range 70-90%
93% - 98% 40% - 100%

ความเร็วจำเพาะของกังหัน (specific speed of turbine)

ความเร็วจำเพาะของกังหันเป็นลักษณะเฉพาะพื้นฐานของกังหันน้ำซึ่งเป็นการเปรียบเทียบว่าเป็นความเร็วรอบของกังหันน้ำ เมื่อตัวกังหันถูกลดขนาดลงมาเป็น 1 เมตริกแรงม้า ภายใต้หัวน้ำสูง 1 เมตร

$$n_s = \frac{n P^{1/2}}{h^{5/4}} \quad \text{รอบ/นาท}$$

n_g = ความเร็วจำเพาะของกังหัน, รอบ/นาที

n = ความเร็วรอบของกังหัน, รอบ/นาที

P = เพาเวอร์เอาต์พุต, เมตริกแรงม้า

h = หัวน้ำ, เมตร

กังหันฟรานซิส :

$$n_g = 6850/h + 9.8 + 84 \quad \text{รอบ/นาที}$$

กังหันโพรเพลเลอร์แบบใบพัดยึดติดแน่น :

$$n_g = 9500/h + 9.8 + 84 \quad \text{รอบ/นาที}$$

กังหันที่สามารถปรับมุมใบพัดหรือกังหันคาเพลน :

$$n_g = 11/10 * [(9500/h + 9.8) + 84] \quad \text{รอบ/นาที}$$

กังหันเพลตัน :

$$n_g = \frac{42.2 h^{3/4}}{P^{1/2}} \quad \text{รอบ/นาที}$$

สามารถหาค่ากำลังได้จาก

$$P = 0.796 QWh\eta/75 \quad \text{กิโลวัตต์}$$

เมื่อ

Q = ปริมาณน้ำ, ล.บ. เมตร/วินาที

W = ความหนาแน่นของน้ำ, 1000 กิโลกรัม/ล.บ. เมตร

h = หัวน้ำ(ความสูง), เมตร

η = ประสิทธิภาพของกังหันน้ำและเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

หรือ

$$P = QWh\eta/75 \quad \text{เมตริกแรงม้า}$$

๙



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้พิจารณาเลือกใช้ ชนิดของกังหันตามสภาพความเหมาะสม ข้อดี ข้อเสีย และความเป็นไปได้ สำหรับการนำไปใช้ ได้พิจารณาเลือกใช้กังหันแบบ กังหันสะทอน โดยใช้กังหันชนิดโพรเพลเลอร์ ซึ่งมีวิธีการออกแบบเลือกใช้ คือ

กำหนดให้ หัวน้ำสูง 1.50 เมตร ประสิทธิภาพ (η) เท่ากับ 0.85

เพาเวอร์เอาต์พุต 2.5 กิโลวัตต์ หรือเท่ากับ 9.4 เมตริกแรงม้า

$$P = 0.796 \text{ QWhr}^{1/3} / 75 \text{ กิโลวัตต์}$$

ดังนั้น $Q = 0.2$ ล.บ. เมตร/วินาที

เลือกแบบ กังหันแบบโพรเพลเลอร์ใบพัดยึดติดแน่น *จากข้อ 28 Kaplan จานวนรอบรอบ*

$$n_u = 9500/h + 9.8 + 84 \text{ รอบ/นาที}$$

$$n_u = 925 \text{ รอบ/นาที}$$

$$n = n_u h^{1/4} / p^{1/2} \text{ รอบ/นาที}$$

$$n = 899 \text{ รอบ/นาที}$$

ดังนั้นจะใช้เกียร์บ็อกซ์เพิ่มความเร็วยิ่งขึ้น อัตรา 1 : 2

ความเร็วซินโครนัลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบ 4 ขั้ว คือ 1500 รอบ/นาที

จาก n_u ค่าความเร็วจำเพาะที่ได้ นำไปเปิดตาราง 1.1 จะได้

$$D_1 = D_2 = 45.74 \text{ เซนติเมตร} \quad B = 29.89 \text{ เซนติเมตร} \quad \text{linear interpolation}$$

ซึ่งจากค่าที่ได้ต้องคูณด้วยค่าโมเดลเรโซ เพื่อให้ได้ค่าที่ถูกต้อง

$$\text{ค่าโมเดลเรโซ (m)} = p^{1/2} / 2.46 * h^{1/4}$$

$$m = 0.4515$$

$$D_1 = D_2 = 45.74 * 0.4515 = 20.65 \text{ เซนติเมตร}$$

$$B = 29.89 * 0.4515 = 13.5 \text{ เซนติเมตร}$$

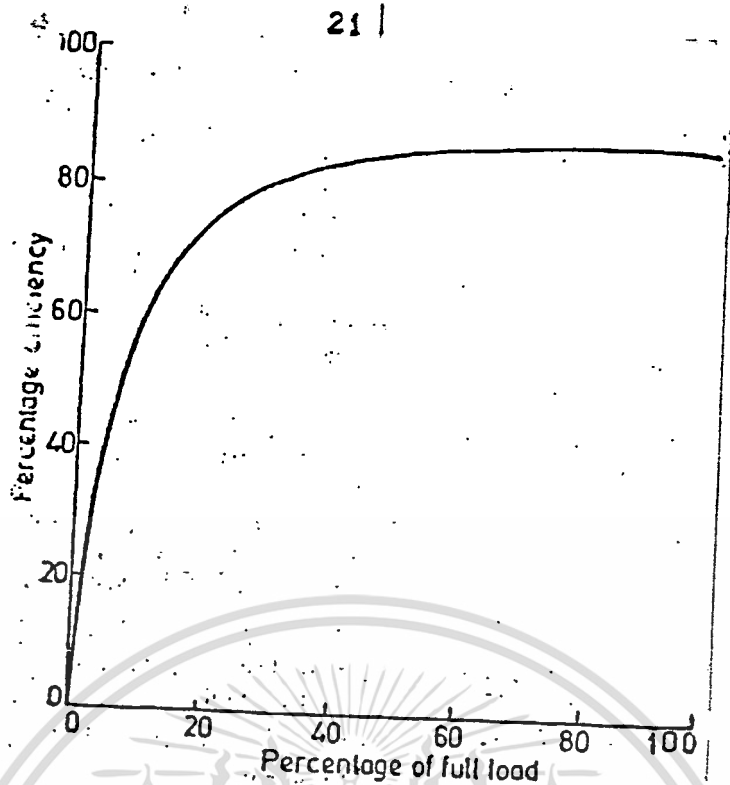
D_1 คือ เส้นผ่าศูนย์กลางของกังหัน

D_2 คือ เส้นผ่าศูนย์กลางของช่องทางน้ำเข้า

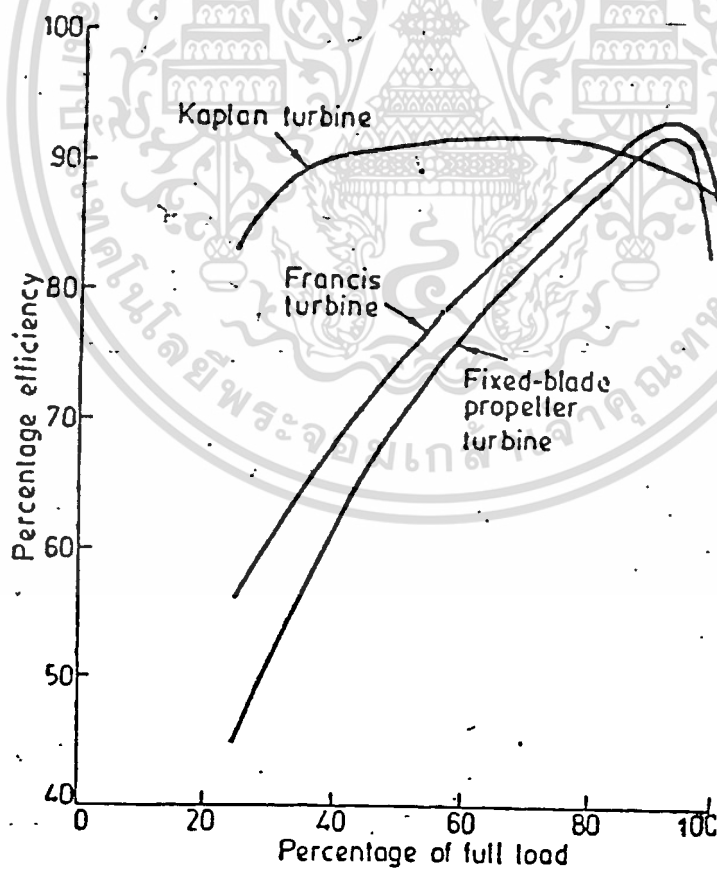
B คือ ความกว้างของช่องทางน้ำ

4. 296.	22.24	25.23	21
------------	-------	-------	----

นี้เป็นเอกสารที่ส่งงานไว้สำหรับใช้ในการเพื่อการศึกษานั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
inguln Javanis *pagellu* 21

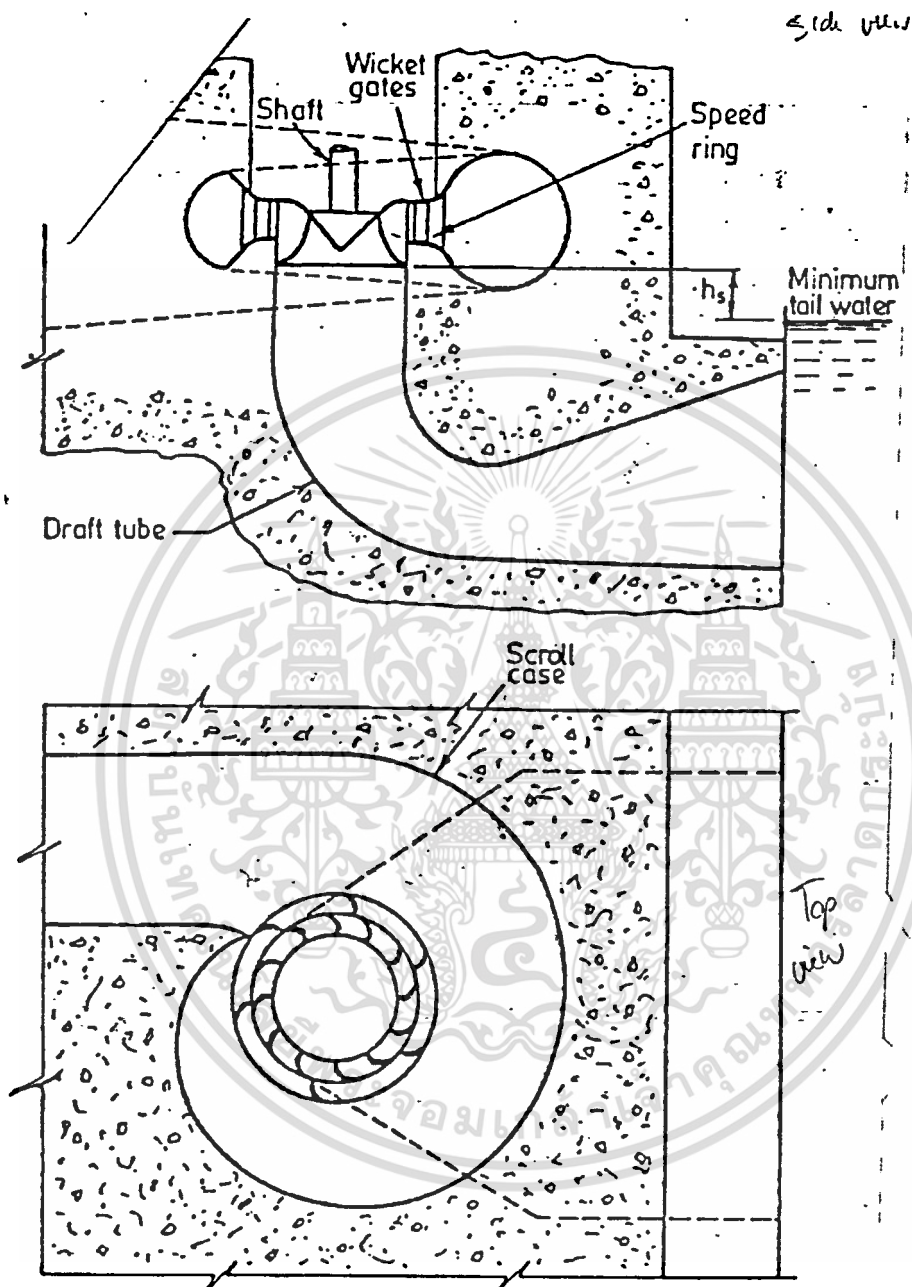


รูปที่ 2.2-1 (ก) กราฟแสดงประสิทธิภาพของกังหันเพลตัน



รูปที่ 2.2-1 (ข) กราฟแสดงประสิทธิภาพของกังหันละห์ตอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2-2(ก) รูปแสดงรันเนอร์ของกังหันฟรานซิส

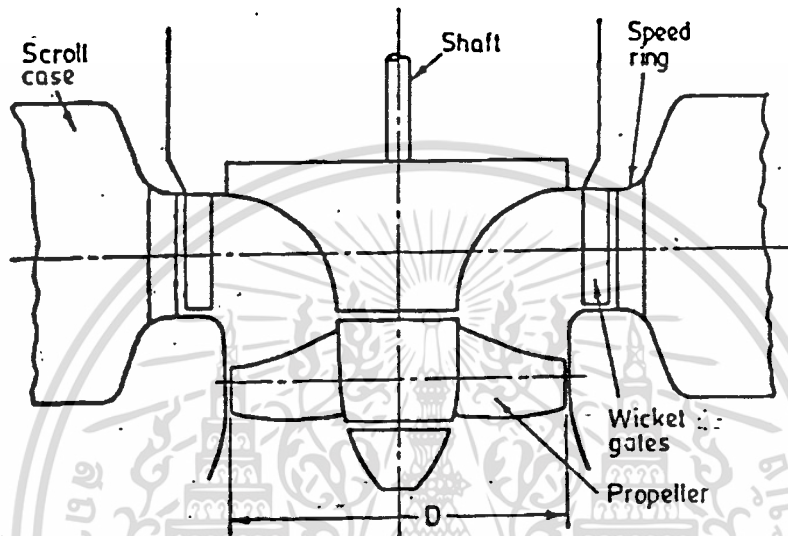
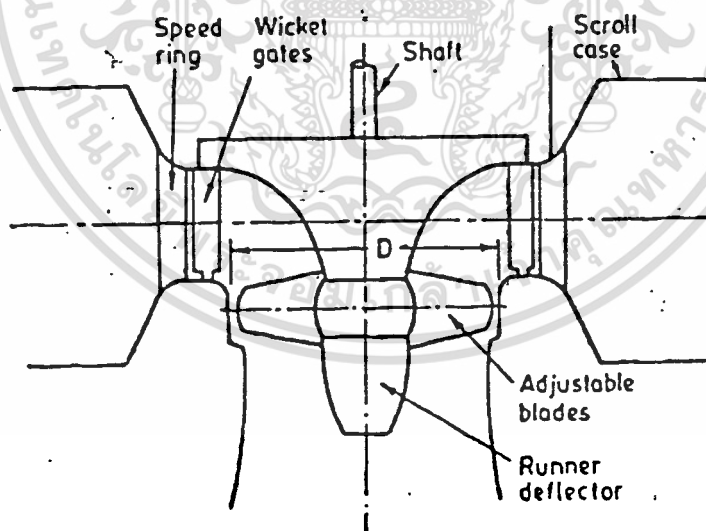


Fig 8.5. Fixed blades propeller turbine runner.



รูปที่ 2.2-2(ข) รูปแสดงรันเนอร์ของกังหันโนรเพลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

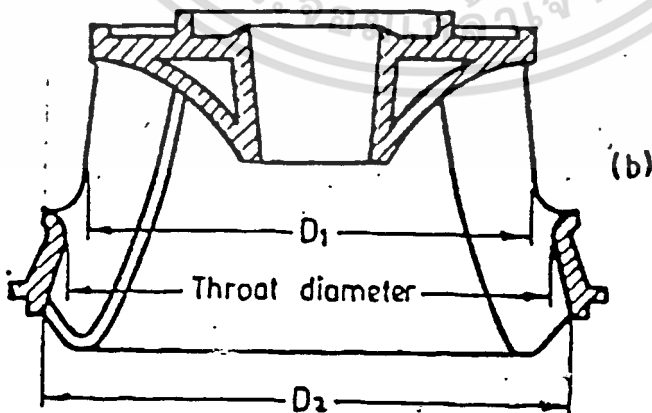
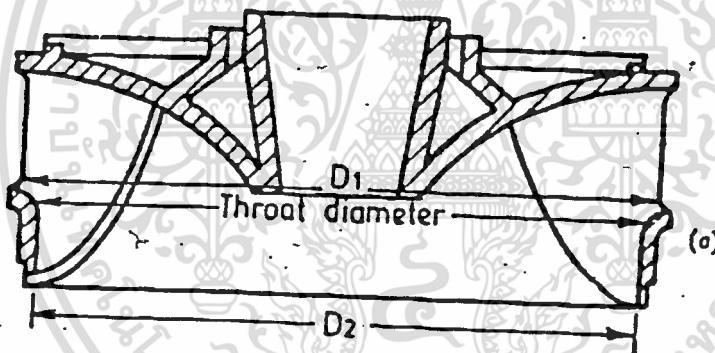
Turbine	Specific speed in metric units, n_s	Nominal diameter, D_1	Draft tube inlet dia- meter, D_2	Width of distributor
		cm	cm	cm
Francis	90	145	116	14.8
	110	121	104	16.5
	135	102	94	17.8
	180	78.5	83.5	19.5
	220	66.5	78	20.3
	270	56.5	72.5	22.0
	315	50	70	22.4
	360	44	66	22.2
	400	40.1	63.3	21.6
	445	36.8	62	27.9
Propeller type	445	60	60	32.8
	535	57	57	32.3
	670	53	53	31.2
	800	49.3	49.3	30.5

ตารางที่ 1 แสดงความสัมพันธ์ของความเร็วจำเพาะกับพารามิเตอร์

ต่างๆของกังหัน

ของ Francis

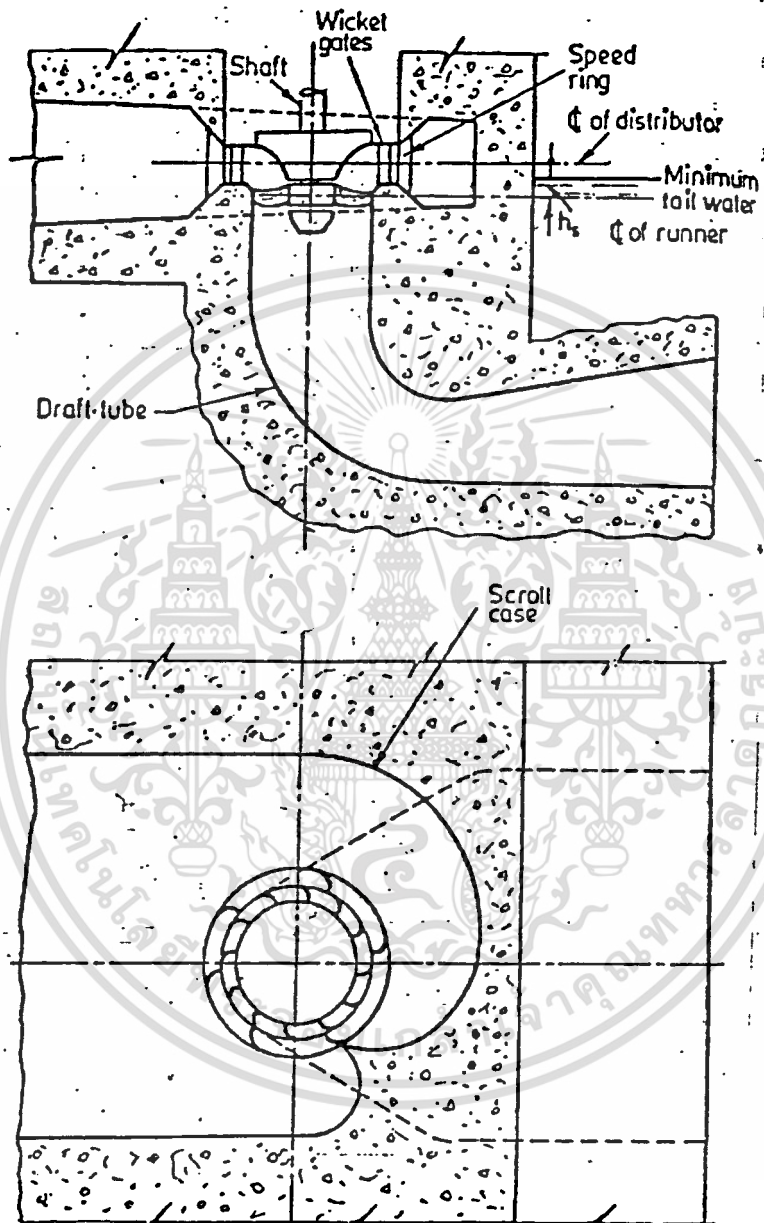
$D_2 > D_1$



ของ propeller

$D_2 > D_1$

รูปที่ 2.2-3(ก) รูปแสดงภาคตัดขวางของกังหันฟรานซิส



รูปที่ 2.2-9(ข) รูปแสดงภาคตัดขวางของกังหันโปรเพลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

มีการนำเอาดีซิมอเตอร์มาใช้งานทางด้านการควบคุมต่างๆ เกือบทุกชนิด เป็นที่นิยมใช้อย่างแพร่หลายในปัจจุบัน เพื่อให้ได้ผลตอบสนองของระบบเป็นไปตามที่ต้องการเพราะง่ายแก่การควบคุมแบบต่างๆ

การทำงานของดีซิมอเตอร์ มีความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดของเพลลาของดีซิมอเตอร์กับกระแสอาร์เมเจอร์

คือ

$$T = K\phi I$$

เมื่อ T คือแรงบิดของเพลลา, นิวตัน-เมตร

ϕ คือเส้นแรงแม่เหล็ก, เวเบอร์

I คือกระแสอาร์เมเจอร์, แอมแปร์

K คือค่าคงที่

ดังนั้นแรงบิดของเพลลาจะเป็นสัดส่วนโดยตรง กับผลคูณของเส้นแรงแม่เหล็กและกระแสอาร์เมเจอร์ และเมื่อขดลวดตัวนำเคลื่อนที่ในสนามแม่เหล็กก็จะทำให้เกิดโวลต์เตจตกคร่อมตัวของมันเอง ซึ่งโวลต์เตจนี้จะมีค่าสัมพันธ์เป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเร็วของเพลลามอเตอร์ และมีทิศทางตรงกันข้ามของการไหลของกระแส

$$E = K\phi \omega$$

เมื่อ E คือโวลต์เตจย้อนกลับ emf, โวลต์

ϕ คือเส้นแรงแม่เหล็ก, เวเบอร์

ω คือความเร็วรอบของมอเตอร์, เรเดียน/วินาที

ดีซิมอเตอร์สามารถแบ่งออกได้เป็นหลายประเภท ขึ้นอยู่กับวิธีการสร้างสนามแม่เหล็กของมอเตอร์ และโครงสร้างของมอเตอร์โดยแบ่งออกตามลักษณะการจ่ายสนามแม่เหล็กออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ ดีซิมอเตอร์แบบปรับเส้นแรงแม่เหล็กได้ และดีซิมอเตอร์แบบเส้นแรงแม่เหล็กมีค่าคงที่

1. ดีซีมอเตอร์แบบปรับเส้นแรงแม่เหล็กได้

1.1 แบบขดลวดสนามแม่เหล็กต่ออนุกรมกับขดลวดอาร์เมเจอร์

1.2 แบบขดลวดสนามแม่เหล็กแยกกระตุ้น

2. ดีซีมอเตอร์แบบเส้นแรงแม่เหล็กมีค่าคงที่

และแบ่งตามลักษณะโครงสร้างของอาร์เมเจอร์ออกได้เป็น 3 แบบ คือ

1. ดีซีมอเตอร์แบบอาร์เมเจอร์เป็นแกนเหล็ก

2. ดีซีมอเตอร์แบบอาร์เมเจอร์ที่มีขดลวดพันอยู่บนพื้นผิว

3. ดีซีมอเตอร์แบบอาร์เมเจอร์เป็นขดลวดหมุน

เมื่อพิจารณาดีซีมอเตอร์แบบเส้นแรงแม่เหล็กคงที่ โดยทั่วไปมักใช้การกระตุ้นฟิลด์เป็นแบบแม่เหล็กถาวร ซึ่งสมการของแรงบิดจะเป็นดังนี้

$$T = K_f I_f$$

และ

$$E = K_f \omega$$

จะให้ความสัมพันธ์ระหว่าง กระแสอาร์เมเจอร์ แรงบิด และความเร็ว อยู่ในลักษณะลิเนียร์ สมการทางไฟฟ้าจะเขียนได้เป็น

$$V = K_f \omega + L_f \frac{di_f}{dt} + R_f i_f$$

เมื่อ V คือโวลต์เตจที่ป้อนให้กับมอเตอร์

K_f คือค่าคงที่ของโวลต์เตจย้อนกลับ

L_f คืออาร์เมเจอร์อินดักแทนซ์

R_f คือความต้านทานของอาร์เมเจอร์

i_f คือกระแสอาร์เมเจอร์

และสมการไดนามิกของมอเตอร์ คือ

$$T_m = J d\omega/dt + B\omega + T_r + T_u$$

เมื่อ T_m คือแรงบิดมอเตอร์

J คือผลรวมของโมเมนต์ของแรงเฉื่อยของมอเตอร์และภาระทางกล

B คือสัมประสิทธิ์ของวิสคอสแดมป์

T_L คือแรงบิดภาระทางกล

T_f คือแรงบิดเสียดทานภายใน

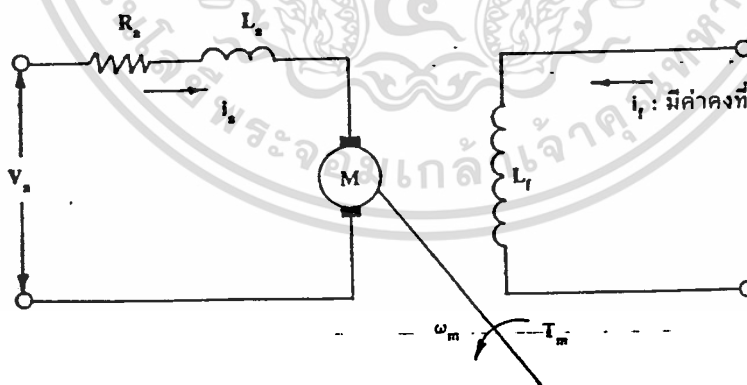
กำลังงานที่เกิดขึ้นในโรเตอร์ (p_m) คือ

$$p_m(t) = T_m(t)\omega(t)$$

กำลังงานที่เกิดขึ้นในโรเตอร์จะจ่ายไปยังภาระทางกล แต่กำลังงานบางส่วนจะสูญเสียไปในมอเตอร์ การสูญเสียเนื่องจาก แรงเสียดทานที่เนื่องจากลมตัวรองรับโรเตอร์, กระแสที่ไหลวนในเหล็กของโรเตอร์และฮิสเทอรีซิส

ดิริมมอเตอร์ที่เราเลือกใช้จะเป็นแบบอาร์เมเจอร์คอนโทรลดังแสดงใน

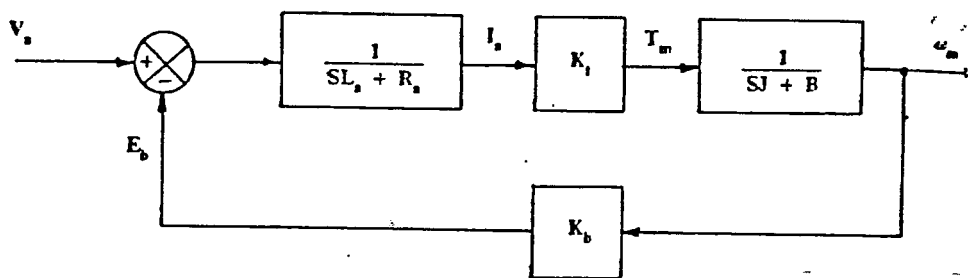
รูปที่ 2.3-1



รูปที่ 2.3-1 วงจรสมมูลของดิริมมอเตอร์

เราสามารถเขียนบล็อกไดอะแกรมของดิริมมอเตอร์แบบอาร์เมเจอร์คอน

โทรลได้ดังนี้ เมื่อสมมติว่า T_f และ T_L มีค่าเป็นศูนย์



รูปที่ 2.3-2 บล็อกไดอะแกรมของดีซีมอเตอร์โมเดล

จากบล็อกไดอะแกรมเราสามารถหาความสัมพันธ์ระหว่าง w_m/V_a ได้

$$G = w_m/V_a = K_t / (L_a s + R_a)(Js + B) + K_t K_b$$

หรือ

$$G = K_t / R_a B (1 + t_{ms} s)(1 + t_{es} s) + K_t K_b$$

$$t_{ms} = L_a / R_a = \text{ไทม์คอนสแตนต์ทางไฟฟ้า}$$

$$t_{es} = J/B = \text{ไทม์คอนสแตนต์ทางเชิงกล}$$

ถ้าค่าอินดักแทนซ์ของอาร์เมเจอร์มีค่าน้อย ไทม์คอนสแตนต์ทางไฟฟ้า
สามารถตัดทิ้งได้ จะได้เป็น

$$w_m/V_a = K_m / (1 + t_{es} s)$$

$$\text{เมื่อ } K_m = K_t / (B R_a + K_t K_b)$$

$$t_{es} = R_a J / (B R_a + K_t K_b)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกียร์ทดรอบ (Gear box)

เกียร์ทดรอบใช้สำหรับเปลี่ยนความเร็วรอบ ด้วยอัตราส่วนที่คงที่ ใช้ในงานเครื่องจักรกลทั่วไปทำหน้าที่ส่งกำลังและการหมุนจากเพลาหนึ่งไปยังอีกเพลาหนึ่งที่มีขนาดกัน อัตราการทด (m_w) คืออัตราส่วนระหว่างความเร็วเชิงมุมของเฟืองขับต่อความเร็วเชิงมุมของเฟืองตาม

$$m_w = \omega_1 / \omega_2 = n_1 / n_2 = d_2 / d_1 = N_2 / N_1$$

ω คือความเร็วเชิงมุม, เรเดียน/วินาที

n คือความเร็วรอบ, รอบ/นาที

d คือเส้นผ่าศูนย์กลางพิตซ์, มิลลิเมตร

N คือจำนวนฟัน

แรงที่ส่งผ่านมายังฟันเฟืองจะคำนวณได้จากสมการ

$$F_t = W_t / V_t$$

F_t คือแรง, นิวตัน

W_t คือกำลังงานที่ส่งผ่าน, วัตต์

V_t คือความเร็วพิตซ์, เมตร/วินาที

โดยปกติแรงที่ส่งผ่านจะมีค่ามากกว่า แรงที่หาได้จากสมการข้างบนเนื่องมาจากตัวประกอบต่างๆ เช่น ความผิดพลาด ในการตัดรูปร่างของฟันเฟือง ค่าเบี่ยงเบนที่ทำให้เกิดการกระแทกขึ้น จึงต้องมีตัวประกอบความเร็ว (K_v) (velocity factor) ดังนั้นแรงที่กระทำต่อฟันเฟือง ในขณะที่ใช้งานจึงเป็น

$$F_d = K_v F_t$$

F_d เรียกว่าแรงพลวัต (dynamic load)

K_v หาได้จากสมการ

$$K_v = (9 + V) / 9 \quad \text{สำหรับเฟืองทั่วไป}$$

$$K_v = (6 + V) / 6 \quad \text{สำหรับเฟืองที่ตัดอย่างดี}$$

$$K_v = (5.56 + \sqrt{V}) / 5.56 \quad \text{สำหรับเฟืองที่ตัดอย่างดีมาก}$$

สำหรับเกียร์ทดรอบที่ต่อกับดิริมอเตอร์ทำหน้าทีลดความเร็วรอบลง
มาด้วยอัตราส่วนที่คงที่เหมือนกับการอินทิเกรตความเร็วรอบ (w_m)

t

$$\theta_o = \int w_m dt$$

๐

สามารถเขียนบล็อกไดอะแกรมของเกียร์ทดรอบได้เป็น



รูปที่ 2.4-1 แสดงเกียร์ทดรอบ

วาล์ว (valve)

วาล์วมีอยู่มากมายหลายชนิด ขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งาน รูปแบบการนำไปใช้ สำหรับวาล์วน้ำแบ่งเป็น 2 ชนิดใหญ่ๆ

1. วาล์วที่ทำหน้าที่ปิดเปิด (ON - OFF Service)

- ประตูน้ำหรือเกทวาล์ว (Gate Valve)
- ปลั๊กวาล์ว (Plug Valve)
- บอลวาล์ว (Ball Valve)

2. วาล์วที่ทำหน้าที่ควบคุมอัตราการไหล

(Throttling Service)

- โกลบอลวาล์ว (Globe Valve)
- วาล์วผีเสื้อ (Butterfly Valve)
- ไดอะแฟรมวาล์ว (Diaphragm Valve)

3. วาล์วที่ทำหน้าที่กันการไหลกลับ

(Prevention of backflow)

- เช็ควาล์ว (Check Valve)

สำหรับวาล์วที่เลือกใช้นั้นเราจะเลือกใช้ เกทวาล์ว ทำหน้าที่เปิดปิด เป็น
วาล์วตัวที่หนึ่ง ใช้ในการเปิดปิดอย่างหนาบๆ ด้วยมือ และเลือกใช้วาล์วผีเสื้อ
เป็นตัวควบคุมอัตราการไหลเป็นวาล์วตัวที่สอง ซึ่งจะเปิดปิดโดยมอเตอร์ซึ่งควบคุมด้วยชุดควบคุมให้ทำงานโดยอัตโนมัติ สำหรับที่เลือกใช้วาล์วผีเสื้อเพราะมีข้อดีคือมีน้ำหนักเบา ราคาถูกกว่าวาล์วชนิดอื่น ติดตั้งใช้งานและซ่อมแซมสะดวก เหมาะที่จะใช้กับระบบควบคุมอัตโนมัติ เพราะหมุนเปิดปิด จากปิด-เปิดเต็มที่เพียง 90 องศา ซึ่งในระหว่างช่วง 0 - 90 องศา สามารถควบคุมอัตราการไหลได้ ในขณะที่โกลบอลวาล์วจะต้องหมุนถึงหลายรอบ กว่าที่จะเปิดได้เต็มที่ และมีราคาแพงกว่าหลายเท่า

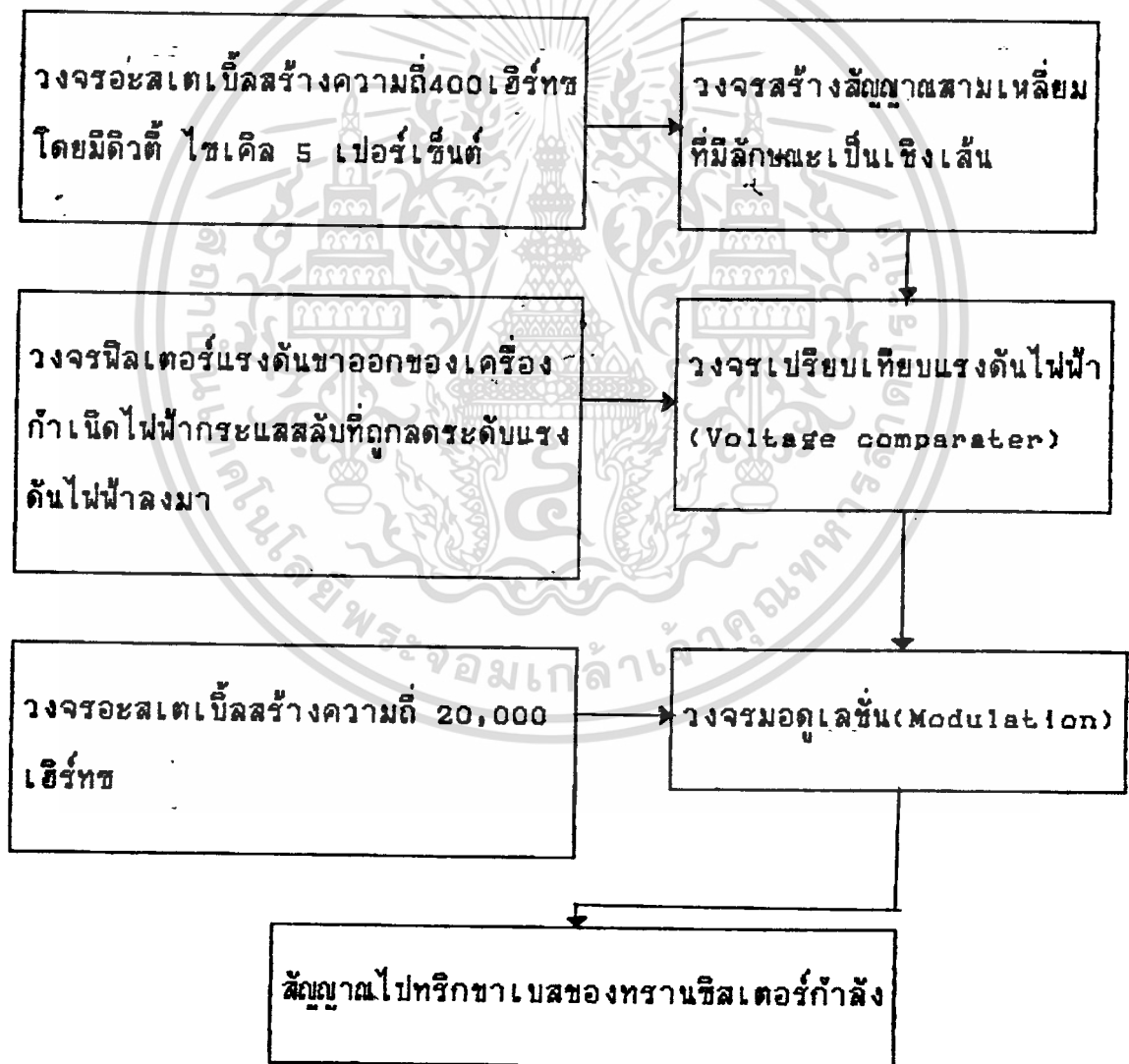
บทที่ 9

การควบคุมแรงดันไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับให้คงที่

ในการควบคุมแรงดันขาออกของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับนั้นจะต้องทราบคุณสมบัติของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับที่ใช้ และลักษณะของภาระทางไฟฟ้าที่ใช้งาน เพื่อให้การออกแบบควบคุมได้ถูกต้องและเหมาะสม

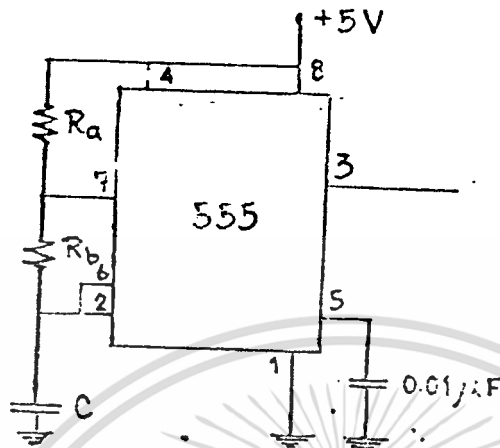
ในการควบคุมนี้ต้องมีการดึงสัญญาณจากแรงดันไฟฟ้าขาออกของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามาใช้ในวงจรควบคุมของเรา

ซึ่งเราเขียนในรูปบล็อกไดอะแกรม(block diagram) ได้คือ



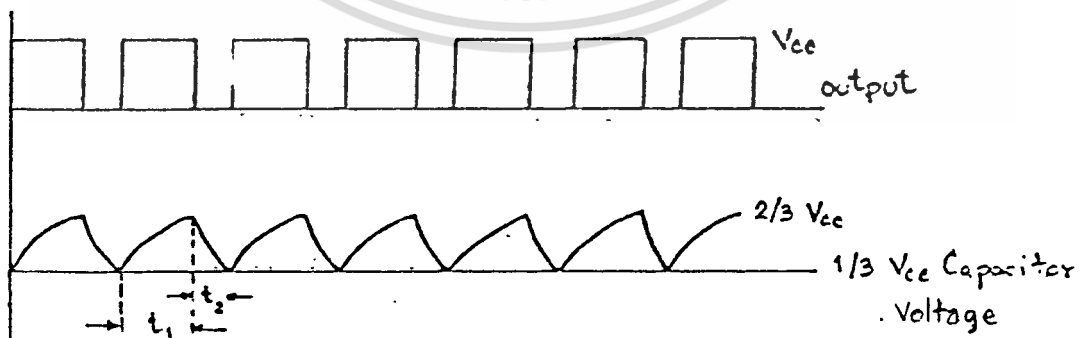
ซึ่งเราอธิบายบล็อกไดอะแกรมแต่ละส่วนได้ดังนี้

9.1-1 วงจรสร้างสัญญาณความถี่ 400 เฮิรตซ์ ที่มีตัวไซเคิล 50 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเราสามารถวิเคราะห์วงจรอะสเตเบิลได้ดังรูปที่ 9.1-1



รูปที่ 9.1-1 แสดงวงจรของอะสเตเบิล

จากรูปตัวต้านทาน R_a และ R_b ทำหน้าที่เป็น timing resistor เมื่อวงจรได้รับแรงดันไบแอสจากแหล่งจ่ายกำลังตัวเก็บประจุ C ที่ทำหน้าที่เป็น timing capacitance คาปาซิเตอร์นี้จะสะสมประจุผ่านตัวต้านทาน R_a และ R_b จนกระทั่งแรงดันตกคร่อมมีค่าเป็น $2/3 V_{cc}$ จะทำให้วงจร Upper Capacitance กระตุ้นพลิกฟลิปซึ่งอยู่ภายในตัว IC และมีผลให้ตัวเก็บประจุ C เริ่มคายประจุผ่านตัวต้านทาน R_b แรงดันที่ตกคร่อมตัว C ก็จะลดลงและมีค่าเหลือเป็น $1/3 V_{cc}$ แล้ววงจร lower comparator ใน IC ก็จะถูกกระตุ้น แล้วเริ่มทำงานวงจรใหม่อีกครั้ง ดังรูปที่ 9.1-2



รูปที่ 9.1-2 แสดงสัญญาณที่ขาออกของอะสเตเบิลและสัญญาณการชาร์จและดิชาร์จของคาปาซิเตอร์

ตัวเก็บประจุ C จะทำการเก็บประจุและคายประจุสลับกันไปอย่างสม่ำเสมอ ทำให้แรงดันตกคร่อม C มีค่าระหว่าง $2/9 V_{cc}$ และ $1/9 V_{cc}$ ตามลำดับ แรงดันไฟฟ้าที่เอาต์พุตของวงจรมีค่าสูงในขณะที่ตัว C ทำการเก็บประจุจึงทำให้ค่า t_1 คือช่วงเวลาที่เอาต์พุตมีแรงดันไฟฟ้าสูง ดังนั้น

$$t_1 = -(R_u + R_v) * C \ln ((V_{cc} - (2/9 * V_{cc})) / (V_{cc} - (1/9 V_{cc})))$$

$$= 0.693 (R_u + R_v) * C \text{ วินาที}$$

และแรงดันไฟฟ้าที่เอาต์พุต จะมีค่าต่ำในขณะที่ตัว C ทำการคายประจุ ซึ่งทำให้ t_2 คือช่วงเวลาที่เอาต์พุตมีแรงดันไฟฟ้าต่ำ ดังนั้น

$$t_2 = 0.693 * R_v * C$$

ช่วงเวลารวมสำหรับการสะสมและการคายประจุ คือ

$$T = t_1 + t_2 = 0.693 * (R_u + 2R_v) * C$$

ซึ่งค่า T คือช่วงเวลาคว้างของพัลส์หนึ่งลูกคลื่น

ดังนั้นความถี่ของพัลส์ที่เอาต์พุต คือ

$$f = 1/T = 1.449 / (R_u + 2R_v) * C \text{ เฮิรตซ์}$$

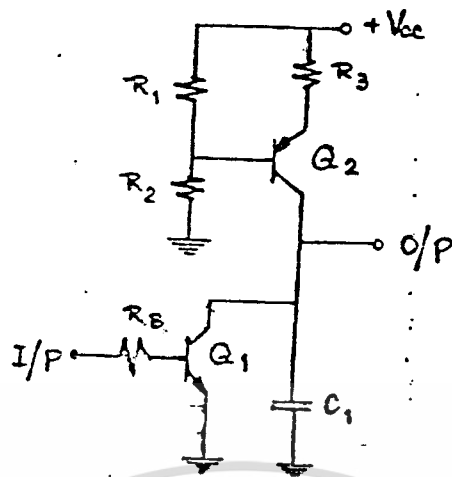
การหาค่าดิวตี้ไซเคิลมีค่า

$$D = t_1 / T = ((R_u + R_v) / (R_u + 2R_v))$$

เมื่อ D คือดิวตี้ไซเคิล

ซึ่งจะเห็นว่าค่าความต้านทานของ R_u และ R_v จะเป็นตัวกำหนดค่าดิวตี้ไซเคิล ฉะนั้นถ้าออกแบบให้ $R_u \gg R_v$ จะได้ค่าดิวตี้ไซเคิลใกล้เคียง 50 เปอร์เซ็นต์ แต่ถ้า R_u น้อยเกินไปผลคือ แรงดันไฟฟ้าขาออกของ IC 555 มีค่าเท่ากับ V_{cc} ที่ป้อนให้

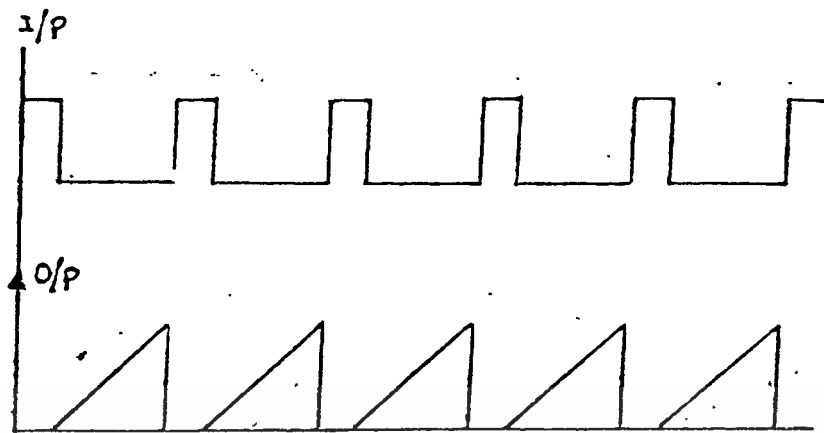
9.1-2 จากนั้นนำสัญญาณจากขาออกของอะอสเตเบิลมาใช้ในการสร้างสัญญาณรูปสามเหลี่ยม ที่มีลักษณะเป็นเชิงเส้น ในที่นี้เราใช้วงจร Constant current ramp generator ซึ่งมีวงจรดังรูปที่ 9.1-3



รูปที่ 9.1-3 แสดงวงจรสร้างสัญญาณสามเหลี่ยม

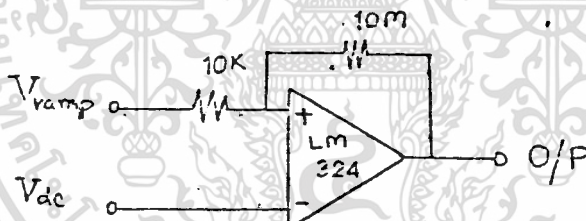
เราสามารถหาพารามิเตอร์ในวงจรได้ คือ จากรูปโวลต์เตจไดวิเดอร์ (Voltage divider) ระหว่าง R_1 และ R_2 จะให้ค่า V คงที่แก่ Q_2 ซึ่งเป็นแบบ PNP ฉะนั้นแรงดันที่คร่อม R_3 มีค่าคงที่ $= (V - V_{CE2})$ ผลก็คือ I_{C2} มีค่าคงที่ที่มีค่า $= (V - V_{CE2}) / R_3$ เนื่องจาก I_E มีค่าประมาณ I_C ฉะนั้นได้ว่า I_E มีค่าคงที่ด้วยจึงทำให้ I_E ของ Q_2 มีค่าคงที่ผล คือ แรงดันไฟฟ้า (Capacitor voltage) ของ C_1 มีลักษณะเป็นเชิงเส้น การคำนวณหาค่า C_1 ได้จากสูตร $V_O = (I_E t) / C_1$ ค่า V_O นั้น จะมีลักษณะเป็นเชิงเส้น ตราบเท่าที่ V_{CE2} มีค่าเพียงพอที่ Q_2 ทำงานอยู่ในสภาวะแอคทีฟ (active region) ถ้า Q_2 ทำงานในสภาวะแซตทูเรชัน (saturant region) ค่า V_O จะถูกคลิบ (clip) การหาค่า V_O นั้น เนื่องจาก V_{CE2} มีค่าคงที่ ฉะนั้นได้ $V_O = V_{CC} - V_{CE2} - V_{CE1}$ (active - ov)

ลักษณะการทำงานเมื่อสัญญาณอินพุต (input) อยู่ที่ระดับศูนย์โวลต์แล้ว Q_2 จะไม่ทำงานผล คือ C_1 จะถูกชาร์จ (charge) จาก Q_2 ผ่าน C_1 ลงกราวด์ (ground) มีลักษณะเป็นเชิงเส้นเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ และมีสัญญาณอินพุตอยู่ที่สถานะสูง (high) จะทำให้ Q_2 ทำงาน ผลคือ C_1 จะดิชชาร์จ (discharge) อย่างรวดเร็วและได้ $V_O = V_{CE1}$ ของ Q_1 ซึ่งจะได้สัญญาณ ดังรูปที่ 9.1-4



รูปที่ 9.1-4 แสดงสัญญาณอินพุตขาเบสของ $-Q_1$ และสัญญาณสามเหลี่ยมที่ได้

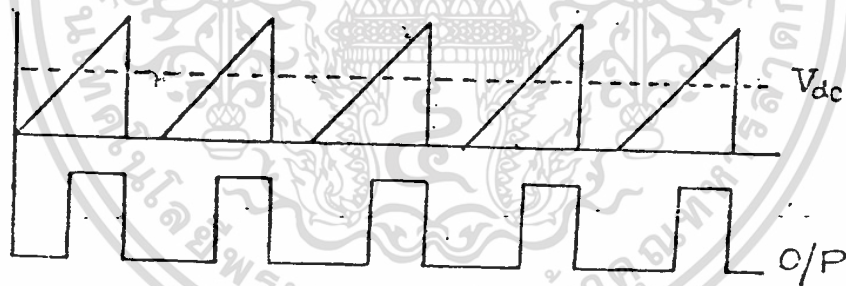
9.1-9 สัญญาณสามเหลี่ยมจะนำมาเข้าวงจรเปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้า กับสัญญาณอีกส่วนหนึ่งที่ได้จากการกรอง (filter) สัญญาณแรงดันไฟฟ้าขาออกของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสลับ ดังรูปที่ 9.1-5



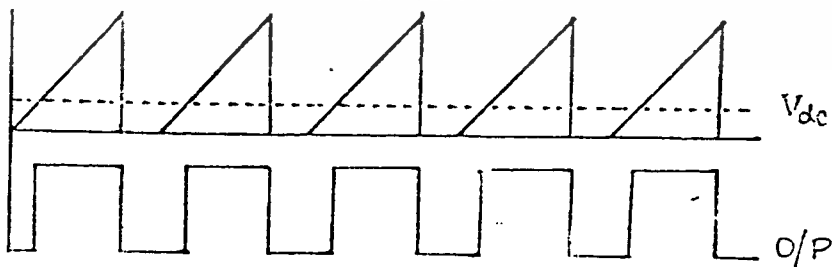
รูปที่ 9.1-5 แสดงวงจรเปรียบเทียบระดับแรงดันไฟฟ้า

โดยใช้โอปแอมป์ เบอร์ LM 324 ซึ่งส่วนแรงดันไฟฟ้าตรง (d.c. voltage) ที่รับค่าได้ตามแรงดันไฟฟ้าขาออกของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสลับนี้ มีวิธีการสร้างได้จากการนำเอาแรงดันไฟฟ้าขาออกมาลดระดับแรงดันไฟฟ้าลง (step down) ด้วยหม้อแปลงขนาด 220/12v จากนั้นนำมาผ่านบริดจ์เร็คติไฟเยอร์ (bridge rectify) ทำให้ได้ฟูลเวฟบริดจ์ (full wave bridge) แล้วนำมากรองทำให้ได้แรงดันไฟฟ้าตรง (d.c. voltage) เรียบๆแต่ไม่ควรใช้ คาปาซิเตอร์ ขนาดใหญ่เกินไป เพราะจะทำให้ การตอบสนองต่อการ

เปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าขาออกของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้ช้า โดยให้สัญญาณสามเหลี่ยมเข้าขาบวกของออปแอมป์ และแรงดันไฟฟ้าตรงเข้าขาลบของออปแอมป์ ฉะนั้นเมื่อใดก็ตามที่สัญญาณสามเหลี่ยมมากกว่าแรงดันไฟฟ้าตรง ก็จะได้สัญญาณสี่เหลี่ยมทางขาออกของ ออปแอมป์ ซึ่งสามารถปรับความกว้างของพัลส์สี่เหลี่ยมได้ตามแรงดันไฟฟ้าตรงที่เข้ามา กล่าวคือ ในสถานะที่แรงดันไฟฟ้าขาออกสูงกว่า 220 โวลต์ ก็จะได้แรงดันไฟฟ้าตรงเพิ่มขึ้นกว่าเดิมผลคือสัญญาณสี่เหลี่ยมจะแคบลงทำให้ทรานซิสเตอร์กำลังมีมูนน้ำกระแสมากขึ้น จึงทำให้แรงดันเฉลี่ย (V_{avg}) ที่ป้อนเข้าขาคลวดสนามแม่เหล็กกระตุ้นลดลงมีผลทำให้ฟลักซ์แม่เหล็กลดลง จึงทำให้แรงดันไฟฟ้าขาออกของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสกลับลดลงมาแต่ถ้าแรงดันไฟฟ้าขาออกมีค่าน้อยกว่า 220 โวลต์ แล้วค่าแรงดันไฟฟ้าตรงจะต่ำลง จึงให้สัญญาณสี่เหลี่ยมกว้างขึ้น ผลคือแรงดันเฉลี่ยที่ป้อนเข้าขาคลวดสนามแม่เหล็กกระตุ้นมากขึ้น ทำให้แรงดันไฟฟ้าขาออกเพิ่มขึ้น ซึ่งสามารถเขียนสัญญาณได้ดังรูป ๙.1-6



(ก) กรณีแรงดันไฟฟ้าขาออกมากกว่า 220 โวลต์



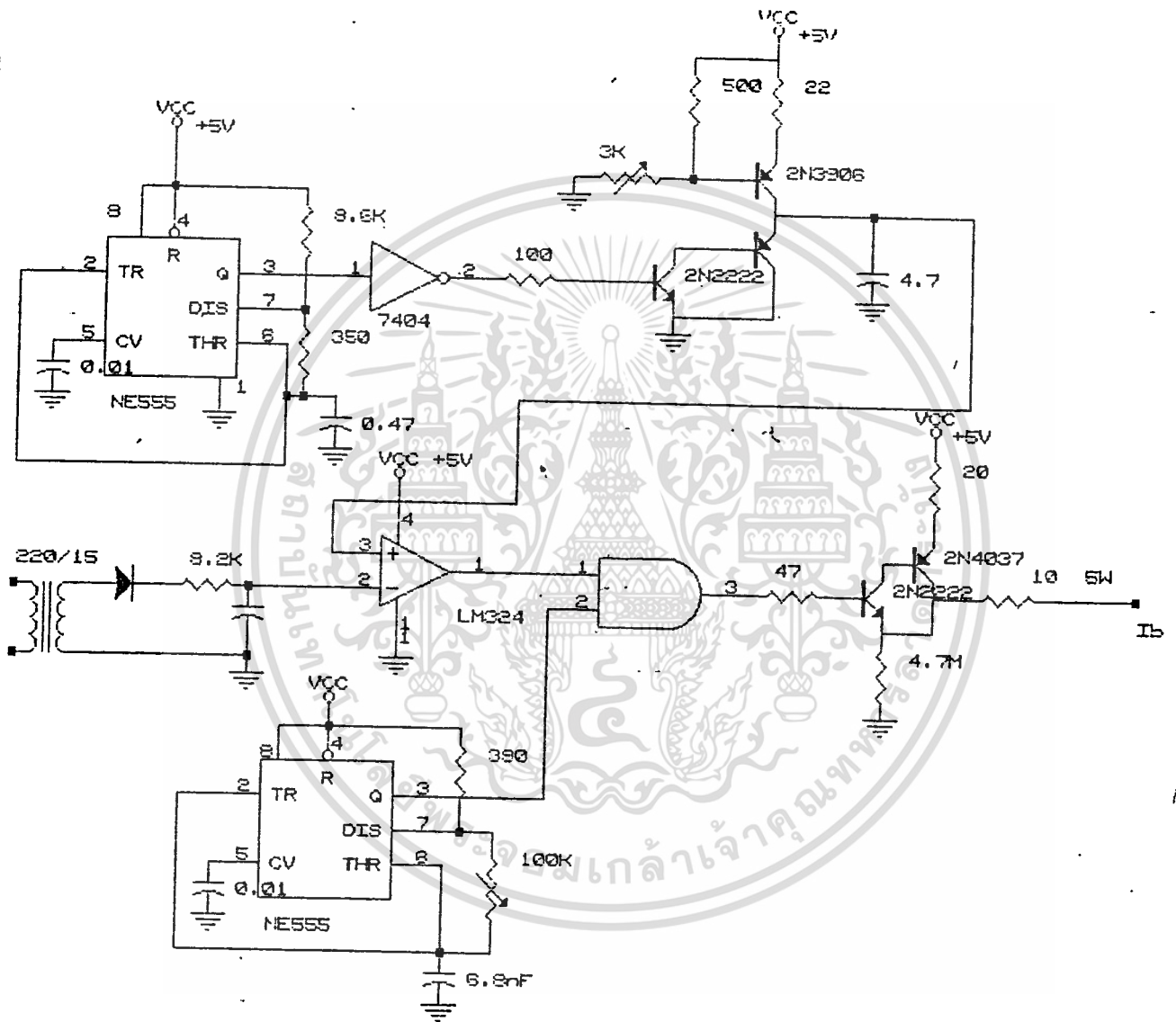
(ข) กรณีแรงดันไฟฟ้าขาออกต่ำกว่า 220 โวลต์

รูปที่ ๙.1-6 แสดงสัญญาณสี่เหลี่ยมที่เปลี่ยนแปลงไปตามแรงดันไฟฟ้าตรงที่เข้ามา .

9.1-4 จากผลลัพธ์ที่เหลี่ยมนี้นี้เราจะนำมามอดูลขึ้นกับสัญญาณนาฬิกา (clock) ที่มีความถี่ 20 กิโลเฮิร์ตซ ซึ่งสร้างมาจากวงจรอะอสเตเบิล

9.1-5 ในส่วนของวงจรขยายกระแสเราใช้ทรานซิสเตอร์ ช่วย โดยให้ทำงานในสภาพแชนคูลเทท ซึ่งสามารถตรวจสอบได้จาก V_{ce} มีค่าต่ำมากและไม่มีแรงดันไฟฟ้าตรงขยระดับ



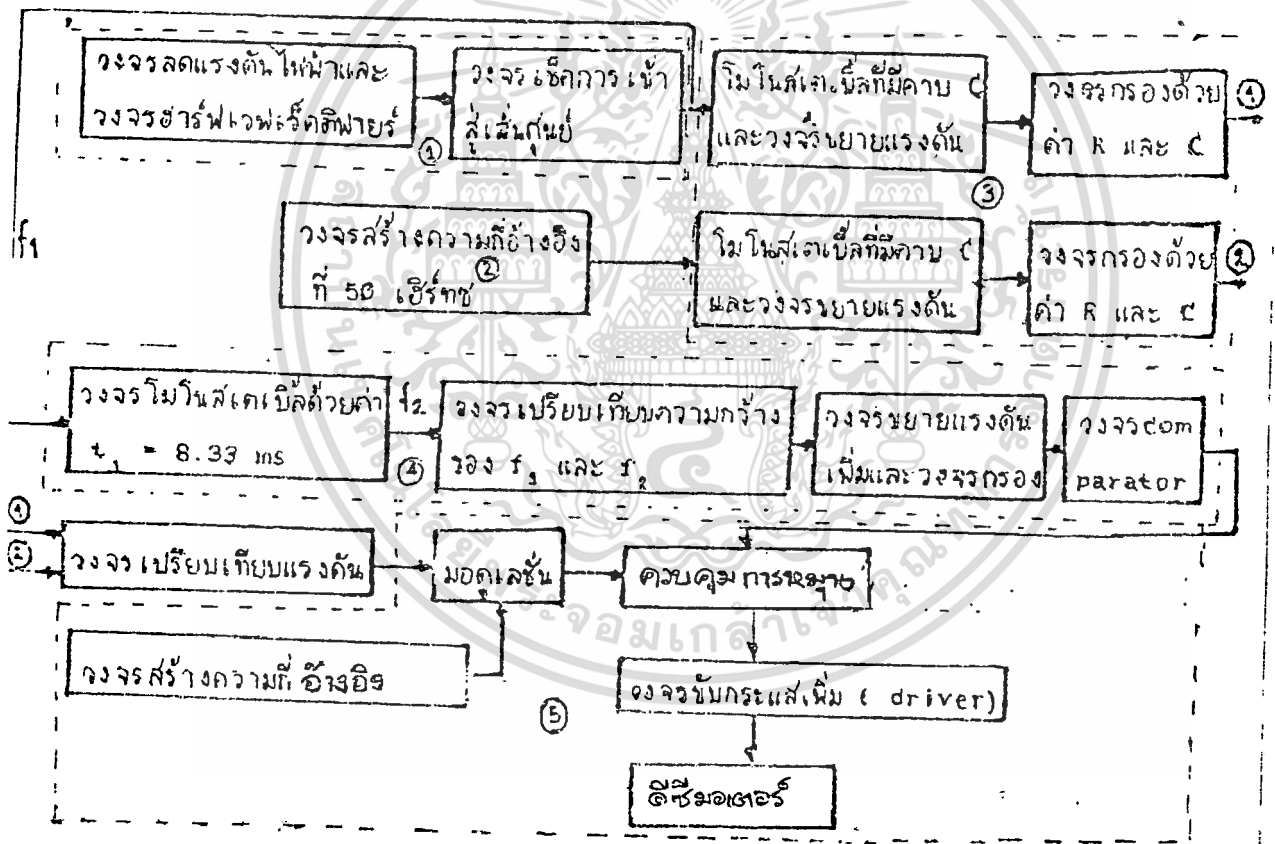


รูปที่ 3.1-7 แสดงวงจรรวมที่ใช้ควบคุมแรงดันให้คงที่

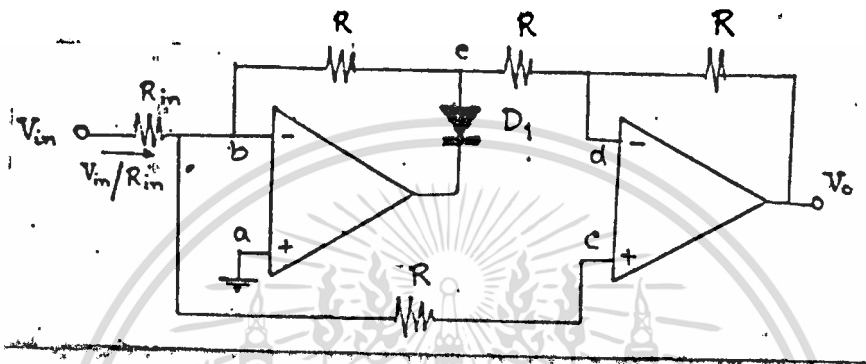
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การควบคุมความถี่ของแรงดันไฟฟ้าขาออก
ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับให้คงที่

ในการควบคุมความถี่ของแรงดันไฟฟ้าขาออก ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับให้คงที่ ณ ภาระทางไฟฟ้าต่าง ๆ นั้น ทำได้โดยการควบคุมการเปิดปิดวาล์วน้ำที่ผ่านเข้าสู่กังหันโดยใช้ดีซีมอเตอร์เป็นตัวขับ โดยเราจะต้องนำเอาแรงดันไฟฟ้าขาออกของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับมาทำการตรวจสอบความถี่ที่ค่าภาระทางไฟฟ้าต่าง ๆ ซึ่งเราสามารถเขียนในรูปบล็อกไดอะแกรมได้ คือ



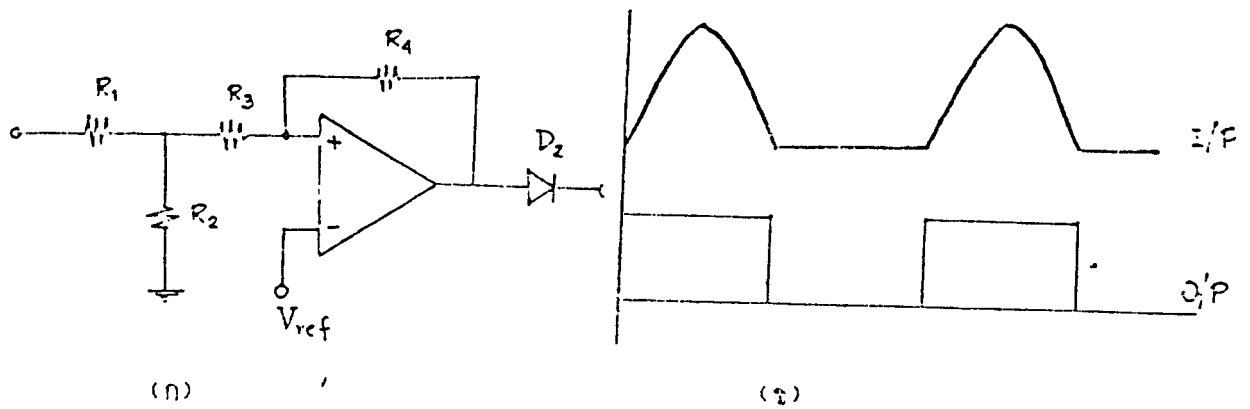
จากบล็อกไดอะแกรมเราแบ่งอธิบายเป็น 4 ส่วน ดังเส้นประในรูป คือ
 9.2-1 ในบล็อกไดอะแกรมที่ 1 แสดงส่วนของวงจรลดระดับแรงดันไฟฟ้าขา
 ออกของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับลงมาเราใช้หม้อแปลงแบบ 220/15 V
 และนำมาเข้าสู่วงจรอาร์ฟเวฟเร็คติฟาย์ที่สร้างมาจากออปแอมป์และ ไดโอดตั้ง
 วงจรด้านล่าง



รูปที่ 9.2-1 แสดงวงจรอาร์ฟเวฟเร็คติฟาย์

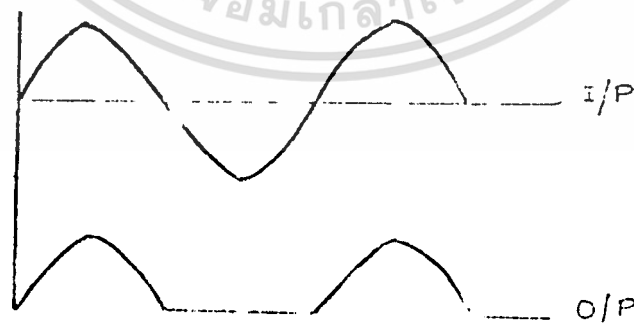
การอธิบายวงจรถ้า V_{in} เป็นบวก จะพบว่าจุด a นั้นต่อลงกราวด์
 ผลคือทำให้จุด b เติมนเป็นกราวด์ ส่วนจุด c จะไม่มีกระแสไหลเพราะอิมพี
 แดนท์สูงมาก ผลคือจุด d จะมีแรงดันไฟฟ้ามีค่าเท่ากับศูนย์โวลต์ ฉะนั้นกระแส
 V_{in}/R_{in} จะไหลไปยังจุด e ทำให้แรงดันไฟฟ้าที่จุด e มีค่าเท่ากับ
 $-(V_{in} * R) / R_{in}$ เนื่องจากที่จุด f มีแรงดันไฟฟ้าเท่ากับศูนย์โวลต์
 ผลคือจะมีกระแสผ่านจุด f มีค่าเท่ากับ $((-V_{in}/R_{in}) * R) / R$ เพราะฉะนั้น
 ได้แรงดันไฟฟ้าที่ขาออกของวงจรมีค่า $V_o = ((-V_{in}/R_{in}) * R) * ((1/R) * R)$

แสดงว่า V_o มีค่าเท่ากับ $(V_{in} * R) / R_{in}$ ซึ่งจะมีเฟสเดียวกันส่วนในช่วง
 V_{in} เป็นลบ ผลคือทำให้ D_1 ถูกรีเวิร์สไบแอส (reverse bias) จึงได้
 $V_o =$ ออฟเซตโวลต์เตจ (offset voltage) ของออปแอมป์ เหตุที่ไม่
 ใช้ไดโอดเป็นวงจรอาร์ฟเวฟเร็คติฟาย์โดยตรง เพราะลักษณะสัญญาณที่ได้มี
 ขนาดเล็กและคาบเวลาแคบกว่าลักษณะของซายน์ (sine) ที่เข้ามาทำให้การตรวจ
 สอบความถี่ผิดพลาดได้ลักษณะของสัญญาณ ณ จุดต่างๆแสดงไว้ดังรูป 9.2-2



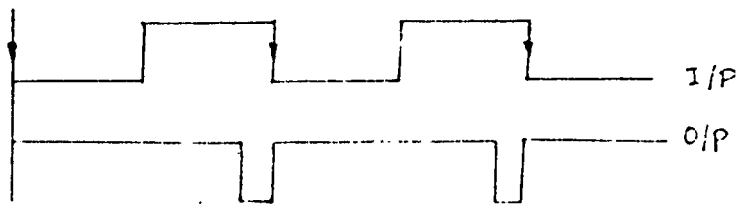
รูปที่ 9.2-2 แสดงสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตที่ออกจากวงจรฮาร์ฟเวฟเร็คติฟาย์

9.2-2 จากสัญญาณฮาร์ฟเวฟเร็คติฟาย์จะนำเข้าสู่วงจรเช็คระดับเข้าสู่เส้นศูนย์ (Zero crossing detector) โดยการใช้อปแอมป์เบอร์ LM324 โดยการใช้โวลท์เตจดีวายเดอร์ลงมา โดยการใช้ความต้านทาน R_1 และ R_2 เพื่อให้ระดับแรงดันไฟฟ้าที่เหมาะสมกับการใช้งานของ LM324 แล้วนำมาป้อนเข้าขาบวกของอปแอมป์ ส่วนขาลบนั้นต่อกับแรงดันไฟฟ้าตรงที่ใช้เป็นแรงดันอ้างอิงโดยออกแบบให้มีค่าเข้าใกล้ศูนย์ ค่าของ R_2 และ R_4 ทำหน้าที่เป็นฮิสเตอร์สิสของวงจร แก้ปัญหาในกรณีที่สัญญาณอินพุตเข้ามามีสัญญาณรบกวน เข้ามาทำให้การเช็คจุดตัดเส้นศูนย์ของฮาร์ฟเวฟเร็คติฟาย์ผิดพลาดได้ ส่วนไดโอด D_2 จะทำหน้าที่ป้องกันแรงดันป้อนกลับ จะได้วงจรและสัญญาณ ณ จุดต่างๆดังรูปที่ 9.2-3

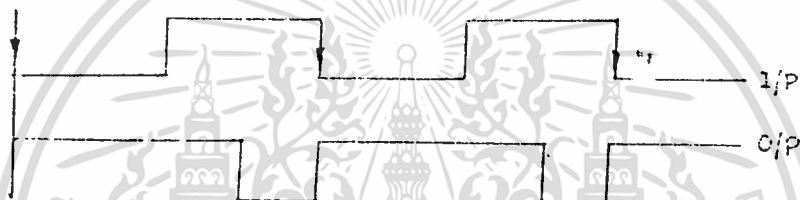


รูปที่ 9.2-3 (ก) แสดงวงจรที่ใช้ (ข) แสดงสัญญาณเอาต์พุตที่ออกมาเมื่อเทียบอินพุต

9.2-3 ในบล็อกไดอะแกรมที่ 2 จะใช้วงจรอะสเตเบิลสร้างสัญญาณนาฬิกา



รูปที่ 3.2-4(ข) แสดงสัญญาณขาออกของโมโนสเตเบิล เมื่อความถี่เข้า
มามีค่ามากกว่า 50 เฮิรตซ์

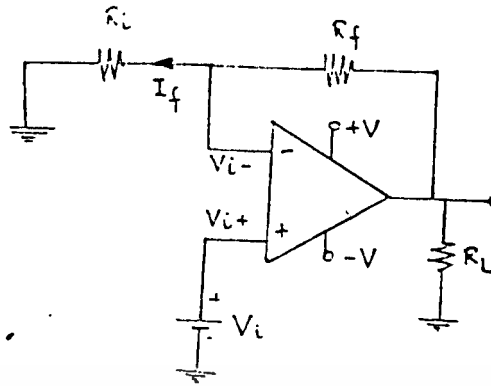


รูปที่ 3.2-4(ค) แสดงสัญญาณขาออกเมื่อความถี่ที่เข้ามาเท่ากับ 50 เฮิรตซ์



รูปที่ 3.2-4(ง) แสดงสัญญาณขาออกเมื่อความถี่ที่เข้ามามีค่าน้อยกว่า
50 เฮิรตซ์

3.2-5 นำสัญญาณเอาต์พุตทั้ง 2 ของโมโนสเตเบิลมาขยายเพิ่มแรงดัน
โดยวงจรขยายแบบนอนอินเวอร์ตติ้ง (Non-inverting) โดยให้มีอัตราขยาย
เท่ากัน แสดงวงจรได้ดังรูปที่ 3.2-5



รูปที่ 3.2-5 แสดงวงจรอินเวอร์ต

เนื่องจากวงจรขยายอินเวอร์ต มีขั้วความต้านทานป้อนกลับ R_f กับ R_i ป้อนกลับเข้าขั้วอินพุตลบจากเอาต์พุตของออปแอมป์ ซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้ด้วยการนำเอารูปแบบของสัญญาณออปแอมป์ทางอินพุต มาเป็นหลักการในการพิจารณานั้นคือ เมื่อแรงดันอินพุต (V_i) ไปต่อเข้าขั้วอินพุตลบจากแรงดัน $V_{i+} = V_{i-}$ ดังนั้นเราก็จะได้แรงดัน $V_{i-} = V_i$ ด้วย ผลคือแรงดันป้อนกลับที่คร่อมค่าความต้านทาน R_i จะมีค่าเท่ากับแรงดันอินพุต V_i และจากการที่ความต้านทานภายในของออปแอมป์ ($r_{o,op}$) มีค่าสูงมาก ๆ จึงทำให้ทางอินพุตของออปแอมป์เปรียบเหมือนไม่ได้ถึงกระแสเลย และได้กระแสป้อนกลับ I_f ที่ถึงมาจากแรงดันเอาต์พุต (V_o) ไหลผ่าน R_f ดังนั้นกระแส I_f สามารถคำนวณได้จากกฎของโอห์ม คือ

$$I_f = V_i / R_i$$

และจากกฎแรงดันของเคอร์ชอฟล์ลอร์ จะได้แรงดัน

$$V_o = I_f * (R_i + R_f)$$

เพราะฉะนั้น

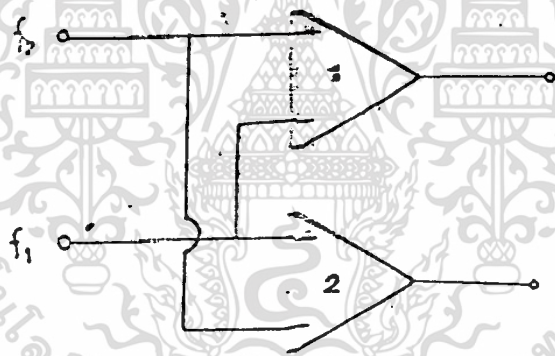
$$V_o = (V_i / R_i) * (R_i + R_f)$$

จะเห็นได้ว่าอัตราขยายแรงดันเมื่อมีการป้อนกลับ $= 1 + (R_f / R_i)$ แต่

จะขยายแรงดันได้สูงสุด $= V_{cc}$ ที่ป้อนให้แก่ออปแอมป์

3.2-6 นำสัญญาณที่เอาต์พุตของวงจรขยายแรงดันแบบนอนอินเวอร์ตทั้ง สองมาทำการกรองด้วยค่า R และ C เดียวกันทั้ง 2 วงจร ฉะนั้นถ้าความถี่ที่เข้า มามีความถี่มากกว่า 50 เฮิรตซ์ นั่นคือมี $\omega_{in} = \omega_{in} * (t_c / T)$ เนื่องจาก t_{in} มีค่าเท่ากันหมดแต่ T น้อยกว่า ผลคือ ω_{in} ที่ได้จึงมี แอมพลิจูดสูงกว่าพัลส์ที่เกิดจากความถี่อ้างอิง ในทำนองเดียวกันถ้าความถี่ที่เข้า มามีความถี่ต่ำกว่า 50 เฮิรตซ์ ก็จะทำให้ T มีค่ามาก ฉะนั้น ω_{in} ที่ได้จึง น้อยกว่า ω_{in} ที่ได้จากการกรองของความถี่อ้างอิง ในส่วนนี้เราต้องเลือก R และ C ให้เหมาะสม ถ้า C มีค่าน้อยเกินไปจะทำให้ ω_{in} มีริพเพิล (ripple) มาก แต่ถ้ามีขนาดใหญ่เกินไป ก็จะทำให้การตอบสนองของระบบช้าลง

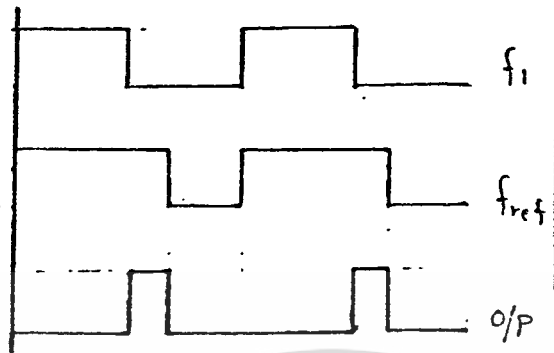
3.2-7 นำ ω_{in} ที่ได้จากการกรองพัลส์ของความถี่ที่เข้ามากับความถี่ อ้างอิงมาผ่านวงจรเปรียบเทียบระดับแรงดัน 2 ชุด ดังรูปที่ 3.2-6



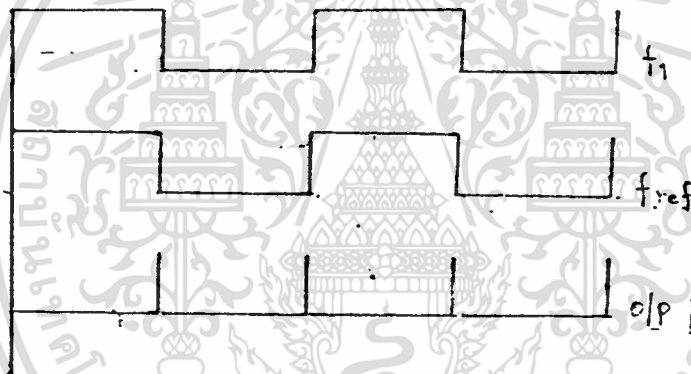
รูปที่ 3.2-6 แสดงการต่อวงจรเปรียบเทียบระดับแรงดัน 2 ชุด

จะเห็นว่าถ้าความถี่ของระบบที่เช็คได้ (f_1) มีความถี่มากกว่าความถี่ อ้างอิง (f_2) ก็จะทำให้มี ω_{in} สูงกว่า ผลคือเอาต์พุตของออปแอมป์ ตัวที่ 2 จะมีสถานะสูง แต่ถ้า f_1 มีความถี่น้อยกว่า f_2 ก็จะมี ω_{in} น้อยกว่า ฉะนั้นเอาต์พุตของออปแอมป์ตัวที่ 1 จะมีสถานะสูง ปัญหาที่เกิดขึ้น คือ ที่สถานะที่ $f_1 = 50$ เฮิรตซ์ แทนที่ออปแอมป์ทั้ง 2 จะมีเอาต์พุตสถานะต่ำทั้งคู่ แต่ปรากฏว่าเอาต์พุตของออปแอมป์ทั้ง 2 มีการเปลี่ยนแปลงสถานะสูงและ สถานะต่ำไปมาไม่แน่นอน จึงต้องออกแบบวงจรบางส่วน ดังบล็อกไดอะแกรมที่ 4

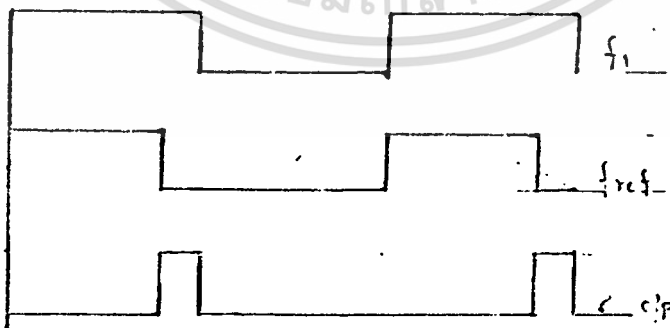
กรณี ความถี่ f_1 มากกว่า 50 เฮิรตซ์



กรณี ความถี่ f_1 มีค่าประมาณ 50 เฮิรตซ์



กรณี ความถี่ f_1 มีค่าน้อยกว่า 50 เฮิรตซ์



รูปที่ 9.2-8 แสดงสัญญาณที่ออกมาจากวงจรเปรียบเทียบความแตกต่าง
ของความกว้างพัลส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีความถี่มากกว่า 50 เฮิรตซ์ แล้วผลของความเปรียบเทียบกับความแตกต่างของความกว้างพัลส์ จะได้พัลส์ของความแตกต่างระหว่างความถี่ทั้ง 2 ทางขาเอาต์พุตของแอนท์เกต (Ant gate) ตัวที่ 1 แต่ถ้าความถี่น้อยกว่า 50 เฮิรตซ์ ก็จะได้พัลส์ของความแตกต่างระหว่างความถี่ทั้ง 2 ทางขาเอาต์พุตของแอนท์เกตตัวที่ 2 จากเอาต์พุตของแอนท์เกตตัวที่ 1 และ 2 จะนำมามอดูเลชันกับเอาต์พุตที่ออกจากเอ็กส์คลูซีฟ ออร์ (exclusive OR) ที่แอนท์เกตตัวที่ 3 และ 4 ฉะนั้นถ้าความถี่ที่เข้ามามีค่า 50 เฮิรตซ์ จะทำให้ขาเอาต์พุตของเอ็กคลูซีฟ ออร์ จะมีสถานะต่ำ ผลคือขาเอาต์พุตของแอนท์เกตตัวที่ 3 และ 4 มีสถานะต่ำด้วย ในการใช้งานเรากำหนดให้ช่วงความถี่ใช้งานอยู่ในช่วง 48.5 - 52.5 เฮิรตซ์ ผลคือจะได้พัลส์แคบๆทางเอาต์พุตของแอนท์เกตตัวที่ 3 หรือ 4 นำเอาต์พุตของแอนท์เกตตัวที่ 3 และ 4 มาเข้าอินพุตของเอ็กคลูซีฟ ออร์ เพื่อจะให้มันมีเอาต์พุตเพียง 1 เอาต์พุต แล้วนำผ่านวงจรอินเวอร์เตอร์ (inverter) เพื่อให้ได้พัลส์ตรงข้ามที่ใหญ่ขึ้น แล้วนำเข้าสู่วงจรขยายแรงดันแบบนอนอินเวอร์ตติ้ง แล้วถูกกรองผ่านวงจร R และ C เพื่อให้ได้แรงดันไฟฟ้าตรงเรียบๆ และมีขนาดแอมพลิจูดที่ใหญ่

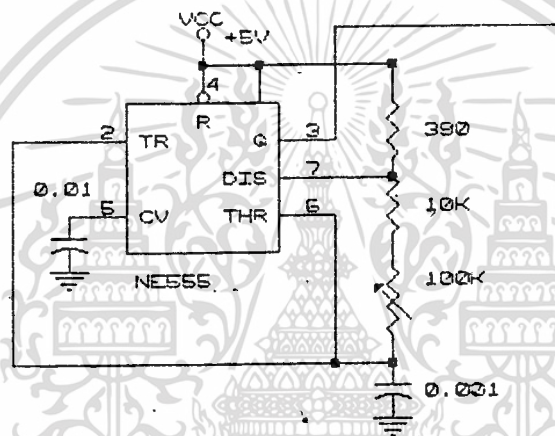
3.2-9 นำแรงดันไฟฟ้าตรงที่ได้จากส่วนวงจรกรองเข้าสู่วงจรเปรียบเทียบระดับแรงดันไฟฟ้า เพื่อเปรียบเทียบกับแรงดันไฟฟ้าตรงที่เราสร้างขึ้นจากการติวายเคอร์แรงดันไฟฟ้า 15 โวลท์ ลงมาเพื่อใช้เป็นแรงดันไฟฟ้าอ้างอิง กล่าวคือเอาต์พุตของแรงดันเปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้า จะมีสถานะสูง เมื่อความถี่ที่เข้ามามีค่าอยู่ในระหว่าง 48.5 ถึง 52.5 เฮิรตซ์ โดยให้แรงดันไฟฟ้าอ้างอิงเข้าขาบวกของ LM 911 และแรงดันไฟฟ้าตรงที่ได้จากวงจรกรองเข้าขาลบของ LM 911 ซึ่งจะเห็นว่าความถี่นอกเหนือจากความถี่ในช่วง 48.5-52.5 เฮิรตซ์ แล้วจะทำให้เอาต์พุตของ LM 911 มีสถานะต่ำตลอด เพราะแรงดันไฟฟ้าตรงที่เข้ามามีค่าน้อยกว่าแรงดันไฟฟ้าที่อ้างอิง ซึ่งเอาต์พุตของบล็อกไดอะแกรมที่ 4 นี้จะนำไปใช้เป็นส่วนของสัญญาณรีเซ็ตในส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของบล็อกไดอะแกรมที่ 5 ต่อไป

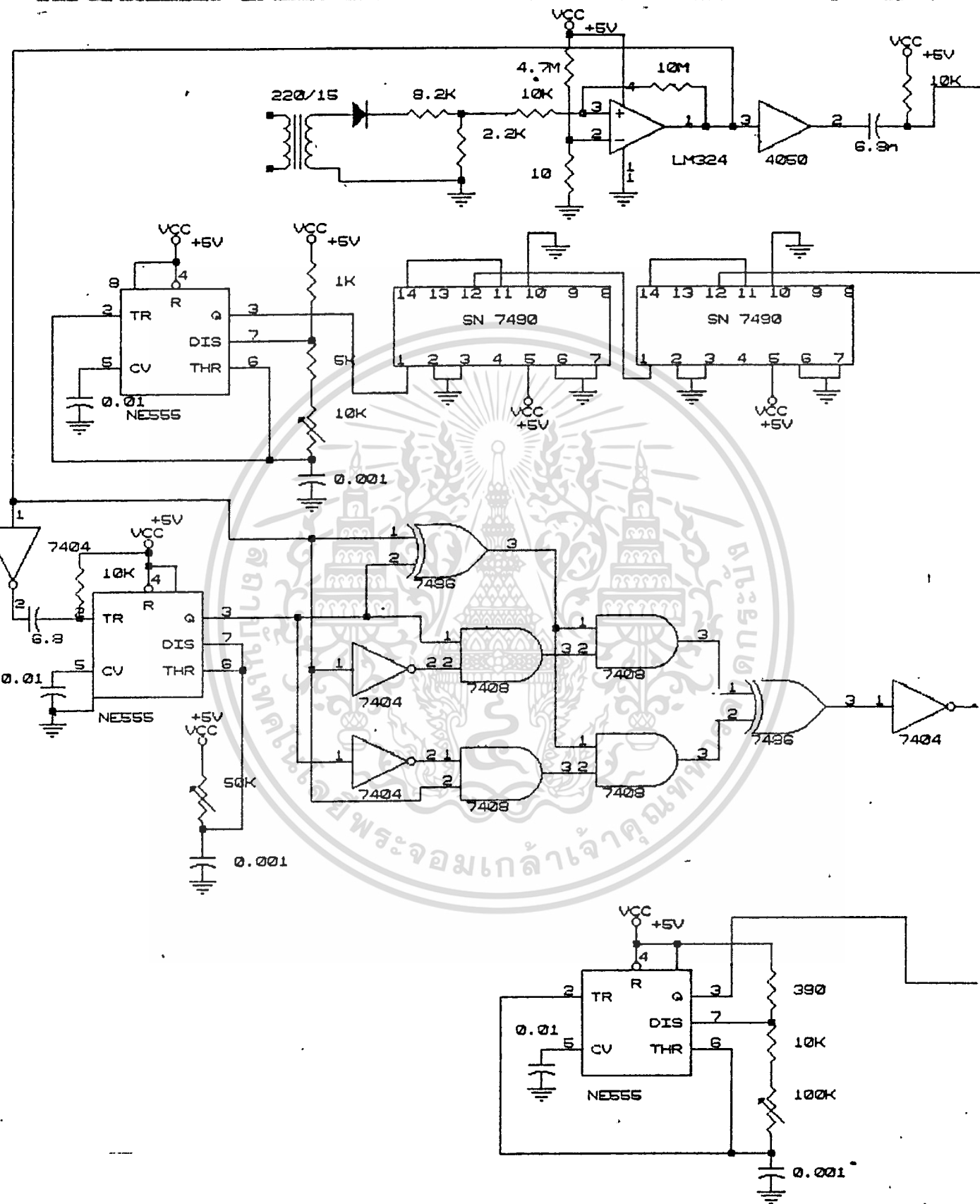
9.2-10 ในบล็อกไดอะแกรมที่ 5 เป็นการควบคุมการหมุนของติชโมเตอร์ ให้หมุนซ้ายหรือหมุนขวาและหยุดนิ่ง เพื่อปรับการเปิดปิดของวาล์วตัวที่สอง เพื่อให้ความถี่ 50 เฮิรตซ์ ณ ภาระทางไฟฟ้าต่างๆ ซึ่งอธิบายวงจรแต่ละขั้นตอนคือ

9.2-11 ใช้ฮอสเตเบิลสร้างความถี่ที่สามารถปรับเปลี่ยนแปลง ได้ตั้งแต่ 7-70 กิโลเฮิรตซ์ เพื่อใช้ปรับการควบคุมให้มีความเหมาะสมกับสภาพการทำงาน จากนั้นนำมามอดูเลชันกับสัญญาณขาออก ของวงจรเปรียบเทียบกับระดับแรงดันไฟฟ้า 2 ชุด ของบล็อกไดอะแกรมที่ 9 ดังรูปที่ 9.2-9



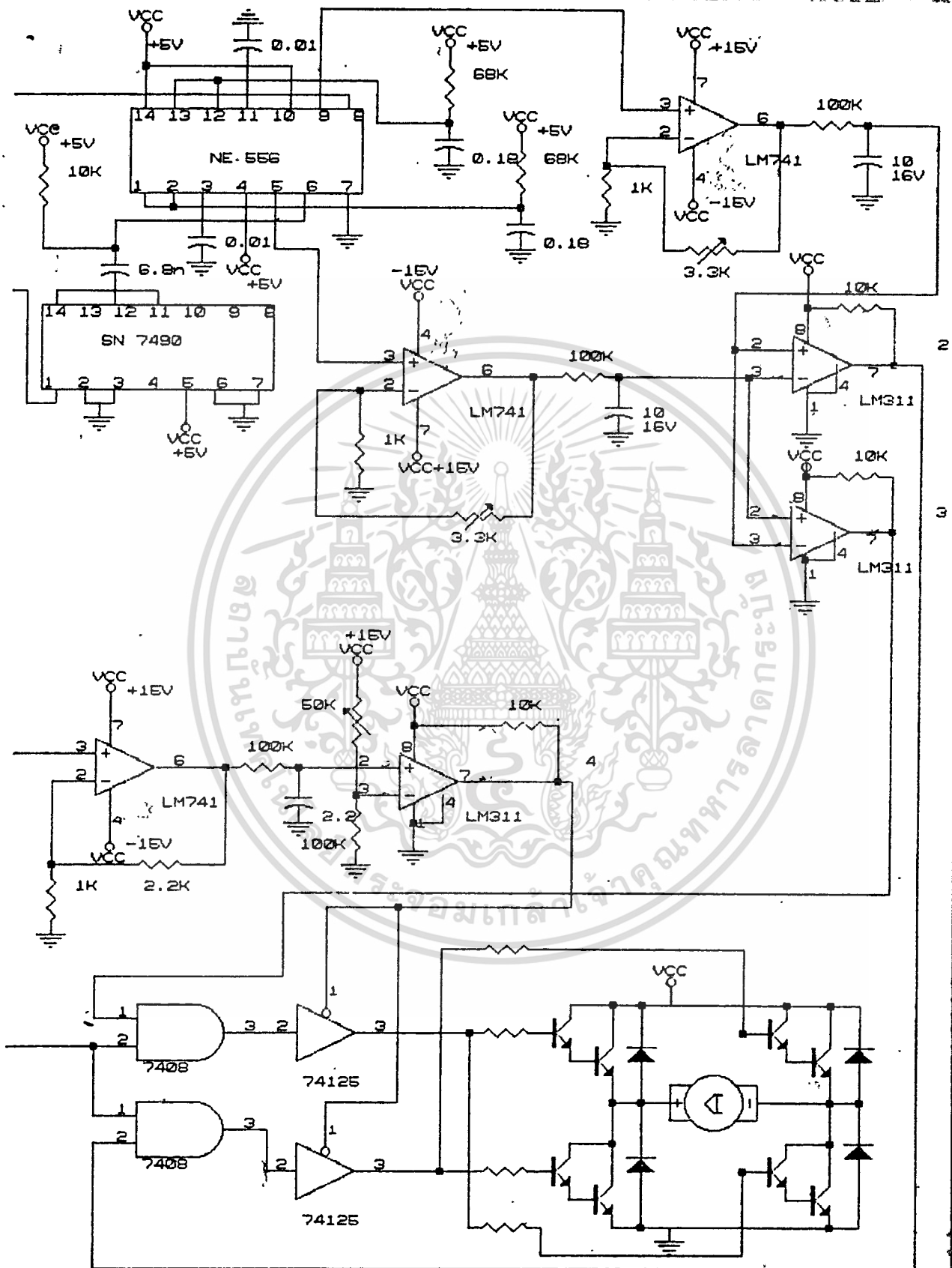
รูปที่ 9.2-9 แสดงการต่อวงจรสร้างความถี่ และวงจรมอดูเลชัน

จากวงจรจะเห็นว่าแอนท์เกตทั้ง 2 จะผลัดกันทำงาน ฉะนั้นจะเห็นว่าถ้าความถี่ของระบบที่เข้ามามีค่ามากกว่า 50 เฮิรตซ์ก็จะทำให้ขาออกของแอนท์เกตตัวที่ 1 มีสัญญาณนาฬิกาความถี่ออกมาแต่ถ้าความถี่ของระบบที่เข้ามามีค่าน้อยกว่า 50 เฮิรตซ์ ก็จะทำให้ได้สัญญาณนาฬิกาที่ขาออกของแอนท์เกตตัวที่ 2 จากนั้นนำมาต่อเข้ากับขาอินพุตของ ไอซีเบอร์ 74125 ซึ่งเป็น Buffer Gate แบบ three-state output โดยมีขาควบคุมการส่งผ่านสัญญาณอินพุตออกสู่ภายนอก ฉะนั้นขาควบคุมนี้เราจะนำเอาสัญญาณจากบล็อกไดอะแกรมที่ 4 ซึ่งทำหน้าที่รีเซ็ต ไม่ให้ป้อนสัญญาณนาฬิกาให้แก่ติชโมเตอร์ เมื่อความถี่ของระบบอยู่ในช่วงการใช้งาน จากนั้นจะนำเอาสัญญาณขาออกของบัฟเฟอร์นี้ไปเข้าสู่ภาควงจรขยาย ซึ่งจะใช้เฟาเวอร์ทรานซิสเตอร์ เพื่อให้สามารถขับติชโมเตอร์ได้



รูปที่ 9.2-10 แสดงวงจรควบคุมความถี่ให้คงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า



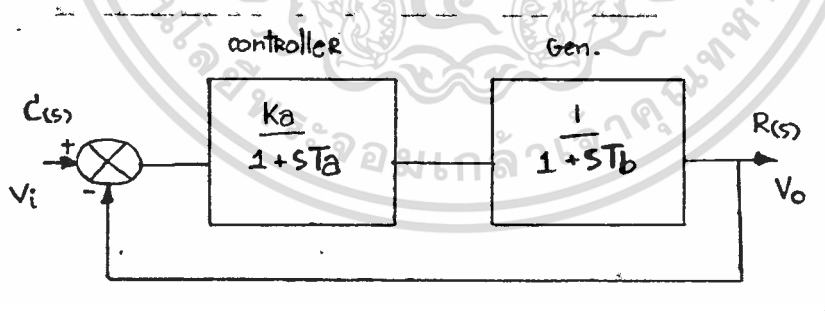
รูปที่ 9.2-10 แสดงวงจรควบคุมความถี่ให้คงที่

เอกสารอ้างอิง เอกสารที่ส่งมาไว้สำหรับการใช้งาน _____

หลักการทํางานและผลตอบสนองต่อการใช้งานที่ภาระทางไฟฟ้าต่างๆ

เมื่อนําสวิตช์ทั้งหมดมาประกอบเข้าด้วยกัน และเริ่มเดินเครื่องใช้งาน น้ำจะไหลผ่านวาล์วทั้งสองตัวและผ่านเข้าไปยังตัวรีเลย์ของกังหันเกิดการหมุนขึ้นและ มีเกียร์ทดรอบเพิ่มความเร็วจนทำให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับหมุนด้วยความเร็วซินโครนัส และจ่ายกำลังไฟฟ้าให้แก่โหลด ที่แรงดันไฟฟ้า 220 โวลต์ และความถี่ 50 เฮิร์ตซ ซึ่งถ้ามีการเปลี่ยนแปลงภาระทางไฟฟ้าเกิดขึ้นทั้งความถี่ และแรงดันไฟฟ้าขาออกของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับก็จะเปลี่ยนแปลง ส่วนควบคุมก็จะทำการควบคุมปรับการเปิดปิดของวาล์วตัวที่สองและปรับควบคุมกระแสที่ให้แก่ขดลวดสนามแม่เหล็กกระตุ้น เพื่อให้แรงดันไฟฟ้าและความถี่ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับให้คงที่ที่ 220 โวลต์ 50 เฮิร์ตซ

ซึ่งในการควบคุมจะแบ่งการทํางานออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกจะทำการควบคุมแรงดันไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับให้คงที่ซึ่งมีส่วนของชุดควบคุม และเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ ดังแสดงในบล็อกไดอะแกรมรูป 4.1



รูปที่ 4.1 บล็อกไดอะแกรมของส่วนควบคุมแรงดันไฟฟ้าให้คงที่
จากบล็อกไดอะแกรม จะได้ทรานสเฟอ์ฟังก์ชันดังสมการ

$$C(s)/R(s) = \frac{K_a}{T_a T_b} \frac{1}{s^2 + s(T_a + T_b) + [(1 + K_a)/T_a T_b]}$$

K_u คือค่าเกน (gain), ขยายของชุดควบคุม

T_u คือค่าไทม์คอนสแตนต์ของชุดควบคุม

T_d คือค่าไทม์คอนสแตนต์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

กรณี $K_u \gg$ มีค่ามากๆ จะได้

$$C(s)/R(s) = \frac{w_n^2}{s + 2\delta w_n s + w_n^2}$$

โดย

$$w_n = \sqrt{(K_u / T_u T_d)}$$

$$\delta = (T_u + T_d) / (2\sqrt{(T_u T_d K_u)})$$

จาก $C(s)/R(s) = \frac{w_n^2}{(s + \delta w_n + jw_d)(s + \delta w_n - jw_d)}$

เมื่อ $w_d = w_n \sqrt{(1 - \delta^2)}$

แปลงอินเวอร์สลาปลาซจะได้

$$C(t) = 1 - e^{-\delta w_n t} \sin(w_d t + t \tan^{-1}(\sqrt{(1 - \delta^2)} / \delta))$$

เมื่อ $t \geq 0$

จะเห็นได้ว่าเราจะสามารถควบคุมเสถียรภาพและ ความไวต่อการตอบสนองได้จาก การปรับที่ชุดควบคุมคือ ค่า K_u ซึ่งผลของการปรับค่า K_u จะทำให้ค่า δ และ w_n เปลี่ยนแปลงตามไปด้วย

ซึ่ง ถ้า $\delta = 0$ กราฟของ $C(t)$ เทียบกับเวลาจะเป็นรูปไม่เสถียร

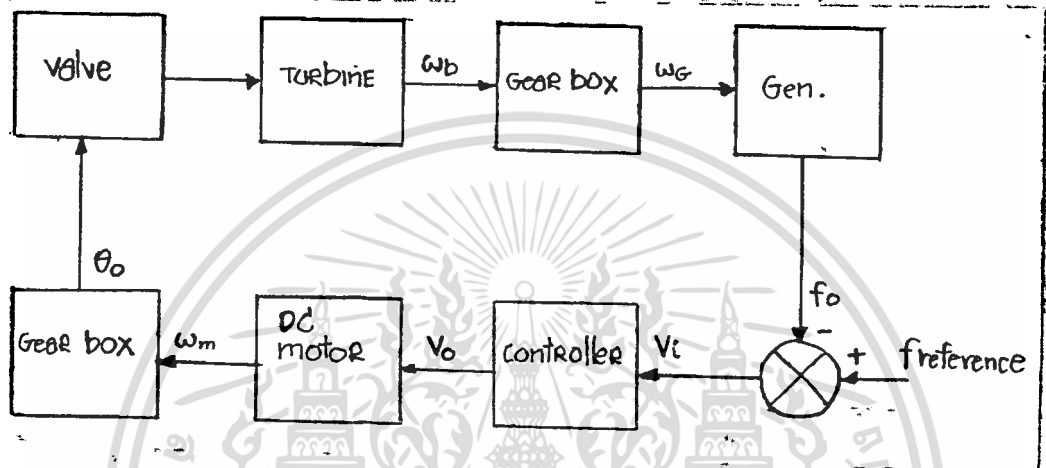
$0 < \delta < 1$ กราฟจะเป็นแบบ อันเดอร์แดมป์

$\delta = 1$ กราฟเป็นแบบ คริติคอลแดมป์

$\delta > 1$ กราฟเป็นแบบ โอเวอร์แดมป์

ซึ่งในการใช้งาน จะเลือกใช้งานตามความเหมาะสมเพื่อให้มีเสถียรภาพและมีความไวต่อการตอบสนองที่ดี

ในส่วนที่สอง จะเป็นการควบคุมความถี่ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับให้คงที่ซึ่งเขียนเป็นบล็อกไดอะแกรมได้ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 แสดงบล็อกไดอะแกรมของส่วนควบคุมความถี่ให้คงที่ เนื่องจากทั้งกังหัน, เกียร์ทดรอบ และเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับนั้น มีความเร็วเชิงมุมเป็นสัดส่วนต่อกันในอัตราส่วนที่คงที่ และยังเป็นสัดส่วนกับความถี่ของแรงดันไฟฟ้าขาออกของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ

$$N_g / N_r = K_g$$

$$N_g = 120f/p$$

N_g คือความเร็วซินโครนัสของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า, รอบ/นาที

N_r คือความเร็วรอบของกังหัน

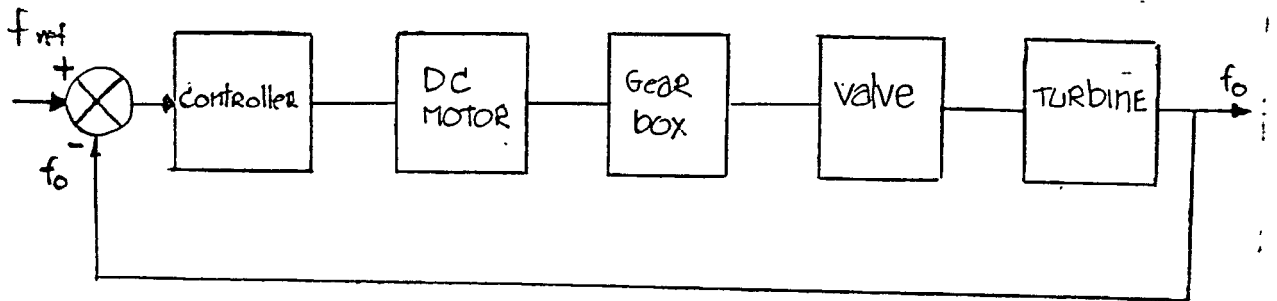
K_g คืออัตราทดรอบของเกียร์ทดรอบ

f คือความถี่ของแรงดันไฟฟ้าขาออก

p คือจำนวนขั้วแม่เหล็ก

ดังนั้นเราจึงสามารถลดรูปของบล็อกไดอะแกรมได้เป็นดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 แสดงบล็อกไดอะแกรมที่ได้จากการลดรูป
ดังนั้นจะได้ทรานสเฟอ์ฟังก์ชันเป็น

$$C(s)/R(s) = \frac{K_1/A}{s^4 + s^3 * B/A + s^2 * C/A + s/A + K_1/A}$$

$$K_1 = K_A K_m K_v$$

$$A = T_b T_v T_m$$

$$B = [(T_v T_m) + [T_b (T_v + T_m)]$$

$$C = (T_b + T_v + T_m)$$

ซึ่งในการควบคุมก็จะสามารถปรับเซ็ทได้ทีชุดควบคุมคือที่ค่า K_A เพื่อให้สามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ และใช้เวลาในการเข้าสู่สภาวะเต็มได้ในเวลาอันสั้น ซึ่งค่าพารามิเตอร์ต่างๆของอุปกรณ์แต่ละชนิดนั้นได้มาจากการทดลอง เมื่อได้ค่าพารามิเตอร์ต่างๆแล้วก็จะพิจารณาเลือกใช้ค่า K_A ที่เหมาะสมสำหรับการใช้งาน

$$t_a := 0.3 \quad t_b := 9.5 \quad t := 0, 0.05 \dots 20$$

$$k_a := 250$$

$$\omega_n := \sqrt{\frac{k_a}{t_a \cdot t_b}}$$

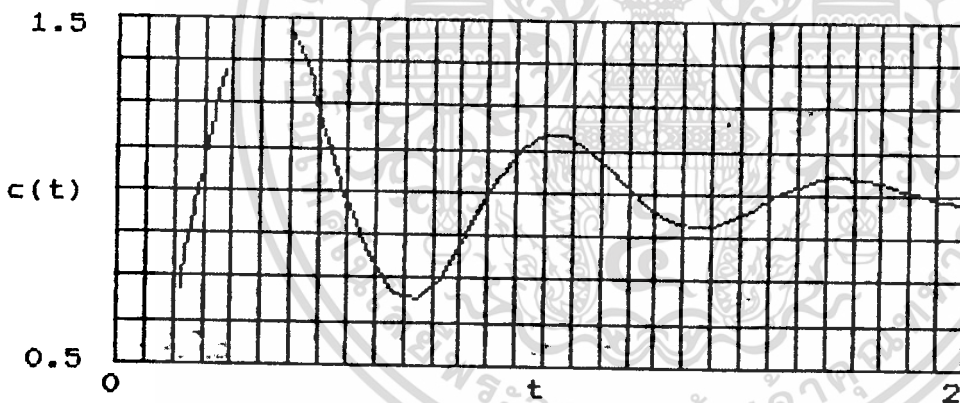
$$\phi := \frac{t_a + t_b}{2 \cdot \sqrt{t_a \cdot t_b \cdot k_a}}$$

$$\omega_n = 9.366$$

$$\phi = 0.184$$

$$c(t) := 1 - \frac{(-1) \cdot [\phi \cdot \omega_n \cdot t]}{\sqrt{1 - \phi^2}} \cdot \sin \left[\omega_d \cdot t + \operatorname{atan} \left[\frac{\sqrt{1 - \phi^2}}{\phi} \right] \right]$$

$$\omega_d := \omega_n \cdot \sqrt{1 - \phi^2}$$



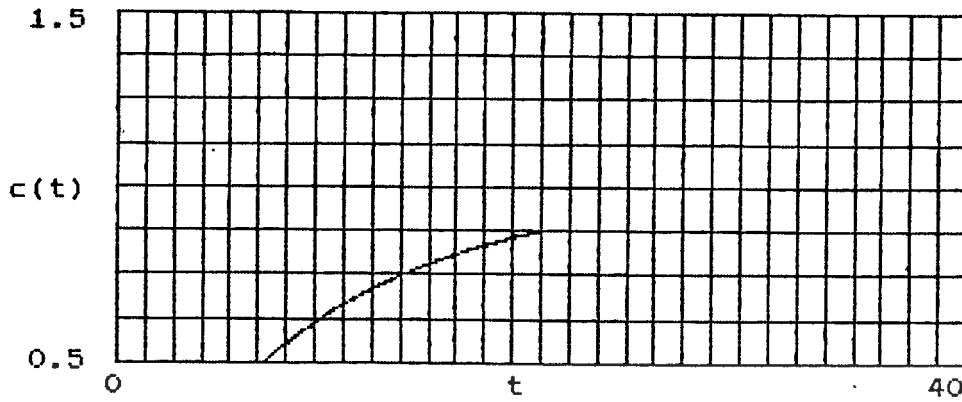
$$k_a = 250$$

$$t := 5.8$$

$$c(t) = 1$$

$$\phi = 0.184$$

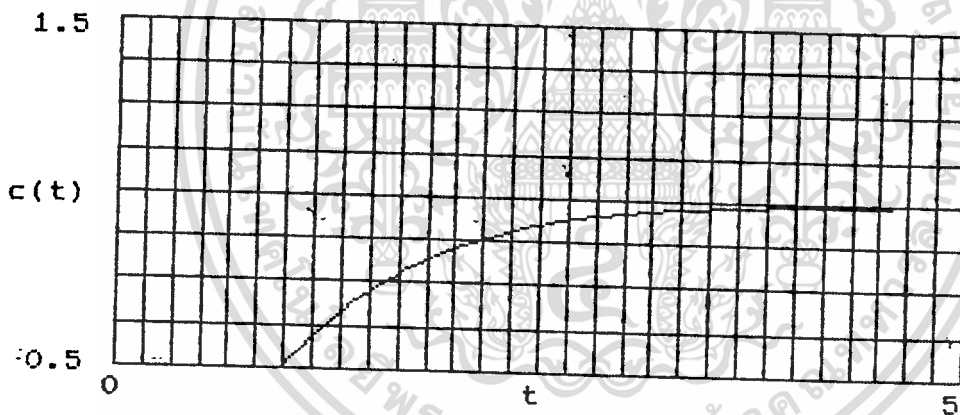
c(t)	
0	
0.102	
0.365	
0.713	
1.062	
1.344	
1.513	
1.554	
1.479	
1.321	
1.125	
0.934	
0.787	
0.705	
0.695	
0.746	
0.84	
0.95	
1.053	
1.129	
1.168	
1.167	
1.133	
1.079	
1.017	
0.962	
0.923	



$$k_a = 1$$

$$t := 52$$

$$c(t) = 0.996$$



$$t := 5.8$$

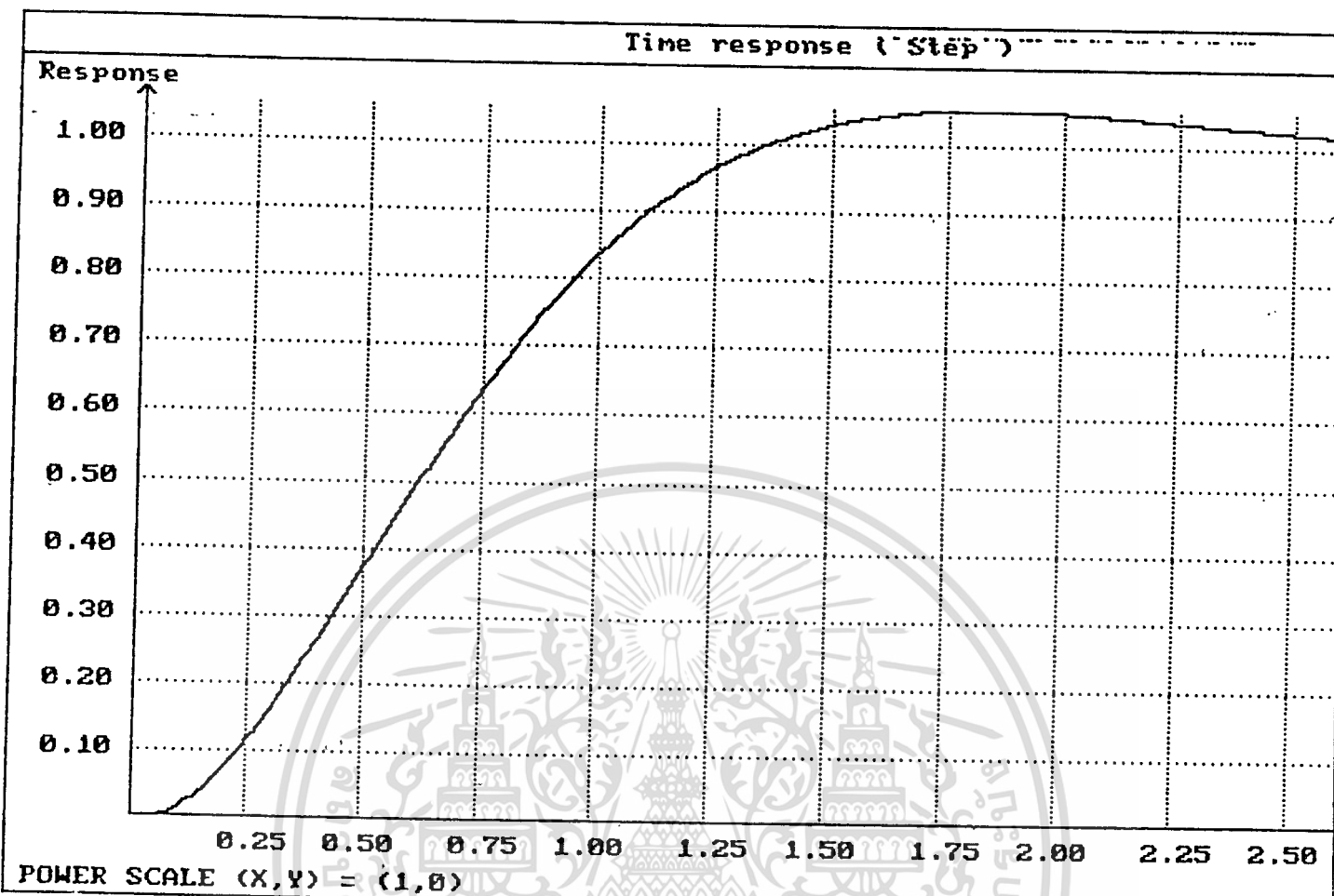
$$k_a := 100$$

$$c(t) = 0.999$$

$$\phi = 1.004$$

รูปที่ 4.4 แสดงผลตอบสนองที่ค่าการควบคุมต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



$$J = 0.09$$

$$B = 0.0004$$

$$R_m = 1$$

$$K_v = 0.6$$

$$K_m = 1.2$$

$$T_m = 0.06$$

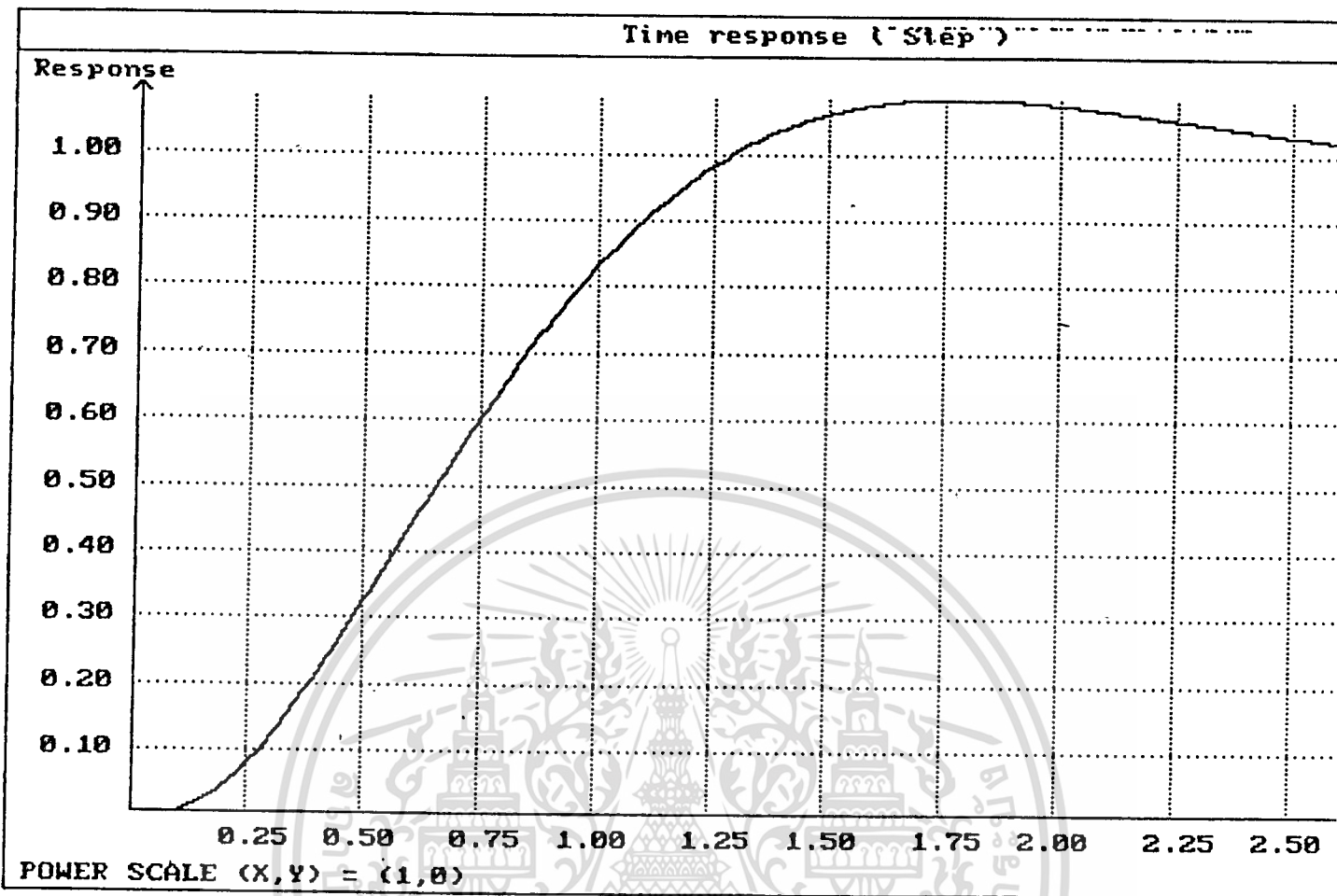
$$T_v = 1.2 T_m$$

$$T_b = 50 T_m$$

$$K_b = 0.07$$

$$K_n = 2$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

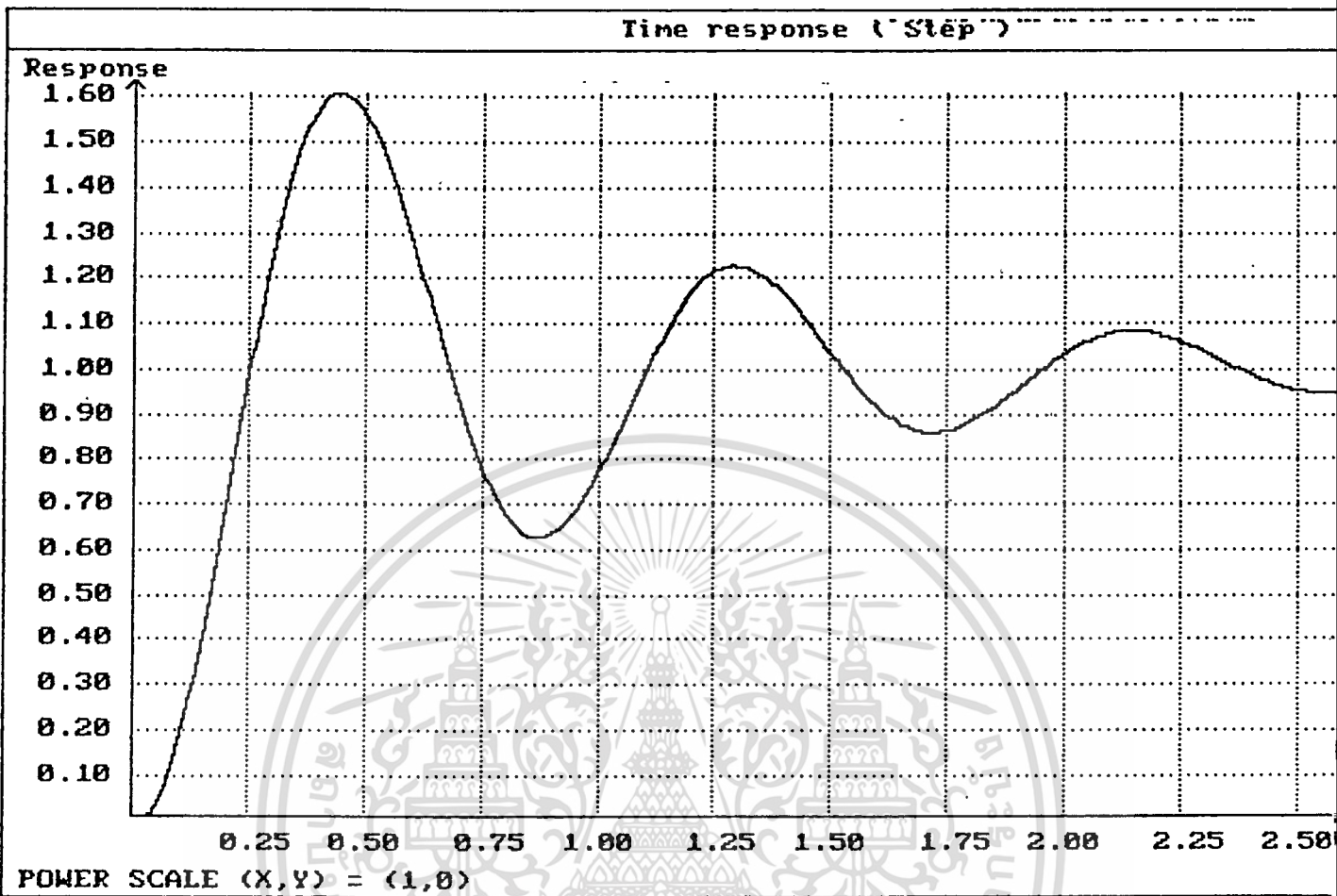


$$T_v = 10T_m$$

$$T_r = 50T_m$$

$$K_s = 2$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



$$T_v = 1.2T_m$$

$$T_b = 50T_m$$

$$K_b = 0.07$$

$$K_m = 20$$

รูปที่ 4.4 แสดงผลตอบสนองที่ค่าการควบคุมต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

วิจารณ์และสรุปผล

โครงการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาออกแบบในการผลิตพลังงานไฟฟ้า โดยพลังงานน้ำ และเลือกใช้อุปกรณ์ต่างๆและทดลองประกอบใช้งาน แต่ปัญหาที่เกิดขึ้นทางด้านการเลือกและจัดหาซื้ออุปกรณ์ต่างๆ เช่น เกียร์ทดรอบ วาล์วน้ำ และ ดิซึมอเตอร์ ที่ทำการออกแบบเลือกใช้ ซึ่งอุปกรณ์บางอย่างมีราคาแพง และบางชนิดใช้เวลาในการจัดซื้อ และอาจจะต้องทดลองใช้เป็นจำนวนมาก เพราะข้อมูลบางอย่างได้มาจากการทดลอง จึงไม่สามารถทำการทดลองได้ จึงได้ทำการนำเสนอแนวทางปฏิบัติ และการวิเคราะห์ และพยายามแสดงให้เห็นถึง วิธีการในการควบคุมความถี่ และแรงดันไฟฟ้า ตามหลักการทางทฤษฎีที่ได้ศึกษามา โครงการนี้จึงเพียงแสดงให้เห็นถึงแนวทางและหลักการทางทฤษฎีที่เป็นไปได้

กิติกรรมประกาศ

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ข้าพเจ้าได้ด้วยความอนุเคราะห์เป็นอย่าง
ดีจากบุคคลหลายท่าน ในการจัดหาเครื่องมือ แหล่งข้อมูล ความรู้ ตลอดจน
คำปรึกษาโดยเฉพาะอย่างยิ่งอาจารย์มณฑล ธิลาจินดาไกรฤกษ์ อาจารย์ที่ปรึกษา
นอกจากนี้ยังได้รับคำแนะนำ และความช่วยเหลือจากการปฏิบัติงานแห่งชาติ
ตลอดจนรุ่นพี่และเพื่อน ๆ จึงขอขอบคุณไว้ ณ ที่นี้

สุดท้ายนี้หวังว่าวิทยานิพนธ์ฉบับนี้คงเป็นประโยชน์ และแนวทาง
สำหรับรุ่นน้อง ๆ และผู้ที่ต้องการศึกษาต่อไป



ผู้จัดทำ

หนังสืออ้างอิง

1. BENJAMIN C.KUO , " Automatic control systems " 4th edition 1989, New Delhi
2. S.B. Dewan A Strauphen " Power Semiconductor circuit"
3. Samuel Weber , " Circuit for electronic engineer "
4. Bryan Norris , " Digital Integrated Circuit and Operational - Amplifier and Optoelectronic Circuit Design"
5. Alexander B. Kuznetsov , " Hydro Electric Stations " , Russian edition 1982
6. M.S. Thacker , " Elements of Electrical Power Station Design " , New Delhi 1981
7. Sawad Memkamon , " Selection of Mechanical Equipments in Micro Hydro Development "
8. A.E. Fitzgerald , Charles Kingsley , Jr., Stephen D.Umans. " Electric Machinery " 4th edition 1986



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LM556/LM556C Dual Timer

General Description

The LM556 Dual timing circuit is a highly stable controller capable of producing accurate time delays or oscillation. The 556 is a dual 555. Timing is provided by an external resistor and capacitor for each timing function. The two timers operate independently of each other sharing only V_{CC} and ground. The circuits may be triggered and reset on falling waveforms. The output structures may sink or source 200 mA.

- Adjustable duty cycle
- Output can source or sink 200 mA
- Output and supply TTL compatible
- Temperature stability better than 0.005% per °C
- Normally on and normally off output

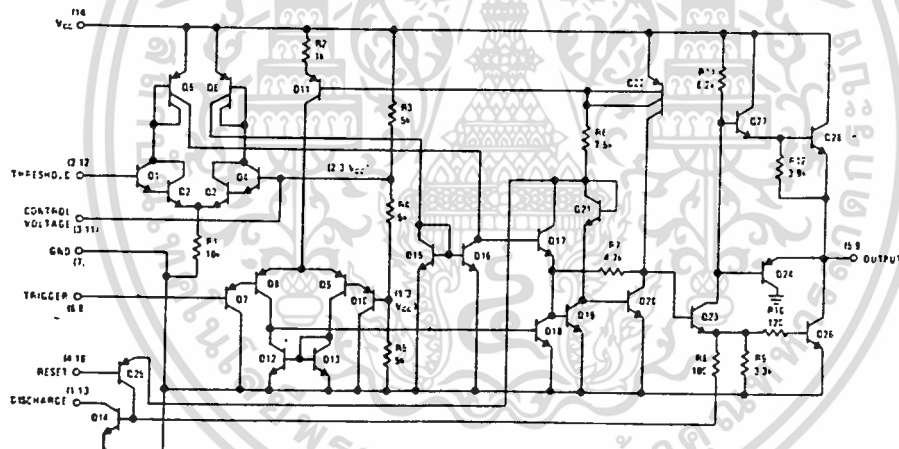
Features

- Direct replacement for SE556/NE556
- Timing from microseconds through hours
- Operates in both astable and monostable modes
- Replaces two 555 timers

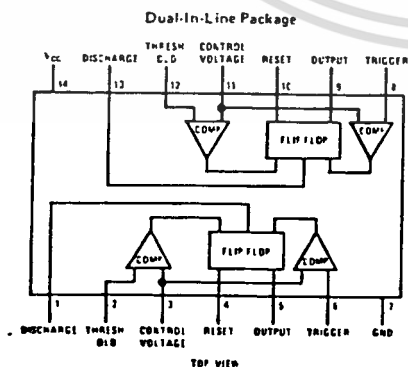
Applications

- Precision timing
- Pulse generation
- Sequential timing
- Time delay generation
- Pulse width modulation
- Pulse position modulation
- Linear ramp generator

Schematic Diagram



Connection Diagram



Order Number LM556CN
See NS Package N14A

Order Number LM556J or LM556CJ
See NS Package J14A

Absolute Maximum Ratings

Supply Voltage	±12V
Power Dissipation (Note 1)	300 mW
Differential Input Voltage	±1V
Operating Temperature Range LM565H	-55°C to +125°C
LM565CH, LM565CN	0°C to 70°C
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C
Lead Temperature (Soldering, 10 sec)	300°C

Electrical Characteristics (AC Test Circuit, $T_A = 25^\circ\text{C}$, $V_C = \pm 6\text{V}$)

PARAMETER	CONDITIONS	LM565			LM565C			UNITS
		MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
Power Supply Current			8.0	12.5		8.0	12.5	mA
Input Impedance (Pins 2, 3)	$-4\text{V} < V_2, V_3 < 0\text{V}$	7	10			5		k Ω
VCO Maximum Operating Frequency	$C_0 = 2.7\text{pF}$	300	500		250	500		kHz
Operating Frequency Temperature Coefficient			-100	300		-200	500	ppm/ $^\circ\text{C}$
Frequency Drift with Supply Voltage			0.01	0.1		0.05	0.2	%/V
Triangle Wave Output Voltage		2	2.4	3	2	2.4	3	V_{p-p}
Triangle Wave Output Linearity			0.2	0.75		0.5	1	%
Square Wave Output Level		4.7	5.4		4.7	5.4		V_{p-p}
Output Impedance (Pin 4)			5			5		k Ω
Square Wave Duty Cycle		45	50	55	40	50	60	%
Square Wave Rise Time			20	100		20		ns
Square Wave Fall Time			50	200		50		ns
Output Current Sink (Pin 4)		0.6	1		0.6	1		mA
VCO Sensitivity	$f_0 = 10\text{ kHz}$	6400	6600	6800	6200	6600	7200	Hz/V
Demodulated Output Voltage (Pin 7)	$\pm 10\%$ Frequency Deviation	250	300	350	200	300	400	mV _{p-p}
Total Harmonic Distortion	$\pm 10\%$ Frequency Deviation		0.2	0.75		0.2	1.5	%
Output Impedance (Pin 7)			3.5			3.5		k Ω
DC Level (Pin 7)		4.25	4.5	4.75	4.0	4.5	5.0	V
Output Offset Voltage $ V_7 - V_6 $			30	100		50	200	mV
Temperature Drift of $V_7 - V_6$			500			500		$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
AM Rejection		30	40			40		dB
Phase Detector Sensitivity K_D		0.6	.68	0.9	0.55	.68	0.95	V/radian

Note 1: The maximum junction temperature of the LM565 is 150°C, while that of the LM565C and LM565CN is 100°C. For operation at elevated temperatures, devices in the TO-5 package must be derated based on a thermal resistance of 150°C/W junction to ambient or 45°C/W junction to case. Thermal resistance of the dual-in-line package is 100°C/W.

Applications Information (Continued)

generated. Figure 12 shows a circuit configuration that will perform this function.

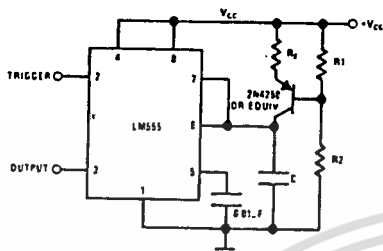


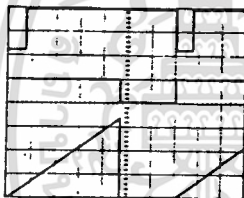
FIGURE 12.

Figure 13 shows waveforms generated by the linear ramp.

The time interval is given by:

$$T = \frac{2/3 V_{CC} R_E (R_1 + R_2) C}{R_1 V_{CC} - V_{BE} (R_1 + R_2)}$$

$$V_{BE} \approx 0.6V$$



V_{CC} = 5V
T_{ON} = 20 μs
R₁ = 67 kΩ
R₂ = 100 kΩ
R_E = 2.7 kΩ
C = 0.01 μF

Top Trace Input 3V Div
Middle Trace Output 1V Div
Bottom Trace Capacitor Voltage 1V Div

FIGURE 13. Linear Ramp

50% DUTY CYCLE OSCILLATOR

For a 50% duty cycle, the resistors R_A and R_B may be connected as in Figure 14. The time period for the out-

put high is the same as previous, $t_1 = 0.693 R_A C$. For the output low it is $t_2 =$

$$\left[\frac{(R_A R_B)/(R_A + R_B)}{2R_B - R_A} \right] \text{CLn} \left[\frac{R_B - 2R_A}{2R_B - R_A} \right]$$

Thus the frequency of oscillation is $f = \frac{1}{t_1 + t_2}$

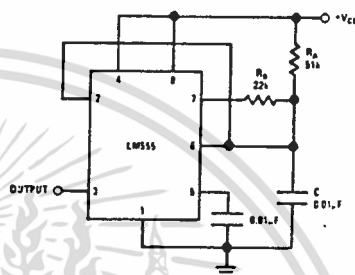


FIGURE 14. 50% Duty Cycle Oscillator

Note that this circuit will not oscillate if R_B is greater than $1/2 R_A$ because the junction of R_A and R_B cannot bring pin 2 down to $1/3 V_{CC}$ and trigger the lower comparator.

ADDITIONAL INFORMATION

Adequate power supply bypassing is necessary to protect associated circuitry. Minimum recommended is 0.1μF in parallel with 1μF electrolytic.

Lower comparator storage time can be as long as 10μs when pin 2 is driven fully to ground for triggering. This limits the monostable pulse width to 10μs minimum.

Delay time reset to output is 0.47μs typical. Minimum reset pulse width must be 0.3μs, typical.

Pin 7 current switches within 30 ns of the output (pin 3) voltage.

Absolute Maximum Ratings

Supply Voltage	+18V
Power Dissipation (Note 1)	600 mW
Operating Temperature Ranges	
LM556C	0°C to +70°C
LM556	-55°C to +125°C
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C
Lead Temperature (Soldering, 10 seconds)	300°C

Electrical Characteristics ($T_A = 25^\circ\text{C}$, $V_{CC} = +5\text{V}$ to $+15\text{V}$, unless otherwise specified)

PARAMETER	CONDITIONS	LM556			LM556C			UNITS
		MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
Supply Voltage		4.5		18	4.5		16	V
Supply Current (Each Timer Section)	$V_{CC} = 5\text{V}$, $R_L = \infty$		3	5		3	6	mA
	$V_{CC} = 15\text{V}$, $R_L = \infty$ (Low State) (Note 2)		10	11		10	14	mA
Timing Error, Monostable								%
Initial Accuracy			0.5			0.75		%
Drift With Temperature	$R_A, R_B = 1\text{k}\Omega$ to $100\text{k}\Omega$, $C = 0.1\mu\text{F}$, (Note 3)		31			50		ppm/°C
Accuracy Over Temperature			1.5			1.5		%
Drift With Supply			0.05			0.1		%/V
Timing Error, Astable								%
Initial Accuracy			1.5			2.25		%
Drift With Temperature			90			150		ppm/°C
Accuracy Over Temperature			2.5			3.0		%
Drift With Supply			0.15			0.30		%/V
Trigger Voltage	$V_{CC} = 15\text{V}$	4.8	5	5.2	4.5	5	5.5	V
	$V_{CC} = 5\text{V}$	1.45	1.67	1.9	1.25	1.67	2.0	V
Trigger Current			0.1	0.5		0.2	1.0	μA
Reset Voltage	(Note 4)	0.4	0.5	1	0.4	0.5	1	V
Reset Current			0.1	0.4		0.1	0.6	mA
Threshold Current	(Note 5)		0.03	0.1		0.03	0.1	μA
Control Voltage Level And Threshold Voltage	$V_{CC} = 15\text{V}$	6.6	10	10.4	9	10	11	V
	$V_{CC} = 5\text{V}$	2.9	3.33	3.8	2.6	3.33	4	V
Pin 1, 13 Leakage Out/High			1	100		1	100	nA
Pin 1, 13 Sat Output Low	(Note 6) $V_{CC} = 15\text{V}$, $I = 15\text{mA}$		150	240		180	300	mV
	$V_{CC} = 4.5\text{V}$, $I = 4.5\text{mA}$		70	100		80	200	mV
Output Voltage Drop (Low)	$V_{CC} = 15\text{V}$							
	$I_{SINK} = 10\text{mA}$		0.1	0.15		0.1	0.25	V
	$I_{SINK} = 50\text{mA}$		0.4	0.5		0.4	0.75	V
	$I_{SINK} = 100\text{mA}$		2	2.25		2	2.75	V
	$I_{SINK} = 200\text{mA}$		2.5			2.5		V
	$V_{CC} = 5\text{V}$							
	$I_{SINK} = 5\text{mA}$		0.1	0.25				V
	$I_{SINK} = 5\text{mA}$					0.25	0.35	V
Output Voltage Drop (High)	$I_{SOURCE} = 200\text{mA}$, $V_{CC} = 15\text{V}$		12.5			12.5		V
	$I_{SOURCE} = 100\text{mA}$, $V_{CC} = 15\text{V}$	13	13.3		12.75	13.3		V
	$V_{CC} = 5\text{V}$	3	3.3		2.75	3.3		V
Rise Time of Output			100			100		ns
Fall Time of Output			100			100		ns
Matching Characteristics	(Note 7)							
Initial Timing Accuracy			0.05	0.2		0.1	2.0	%
Timing Drift With Temperature			± 10			± 10		ppm/°C
Drift With Supply Voltage			0.1	0.2		0.2	0.5	%/V

Note 1: For operating at elevated temperatures the device must be derated based on a $+150^\circ\text{C}$ maximum junction temperature and a thermal resistance of $+150^\circ\text{C/W}$ junction to ambient for both packages.

Note 2: Supply current when output high typically 1 mA less at $V_{CC} = 5\text{V}$.

Note 3: Tested at $V_{CC} = 5\text{V}$ and $V_{CC} = 15\text{V}$.

Note 4: As reset voltage lowers, timing is inhibited and then the output goes low.

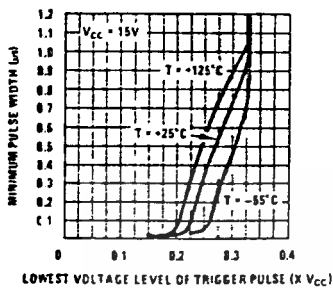
Note 5: This will determine the maximum value of $R_A + R_B$ for 15V operation. The maximum total ($R_A + R_B$) is 20 M Ω .

Note 6: No protection against excessive pin 1, 13 current is necessary providing the package dissipation rating will not be exceeded.

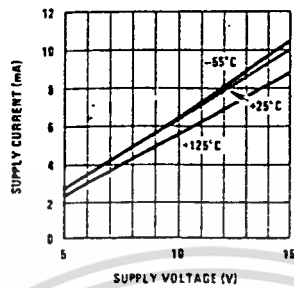
Note 7: Matching characteristics refer to the difference between performance characteristics of each timer section.

Typical Performance Characteristics

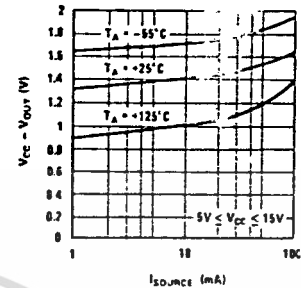
Minimum Pulse Width
Required for Triggering



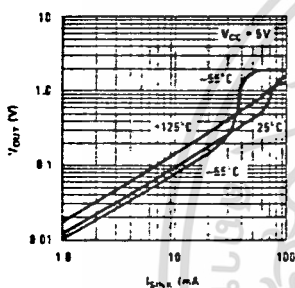
Supply Current vs Supply
Voltage (Each Section)



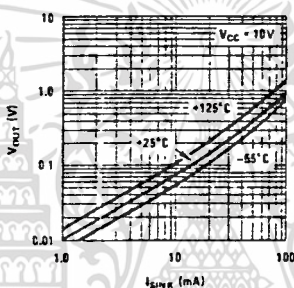
High Output Voltage,
Output Source Cur.



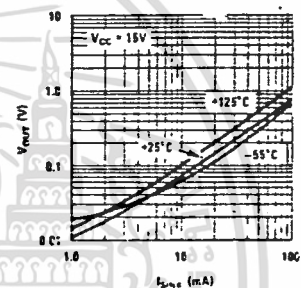
Low Output Voltage vs
Output Sink Current



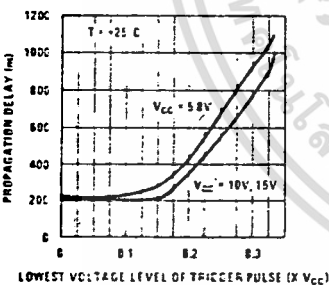
Low Output Voltage vs
Output Sink Current



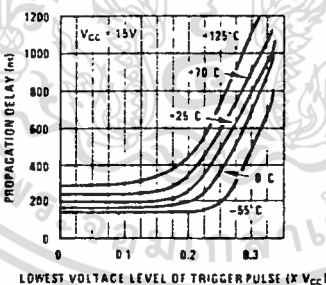
Low Output Voltage vs
Output Sink Current



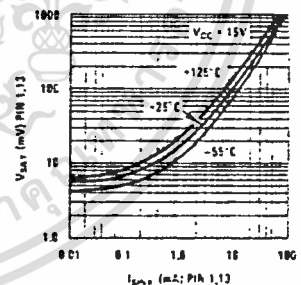
Output Propagation Delay vs
Voltage Level of Trigger Pulse



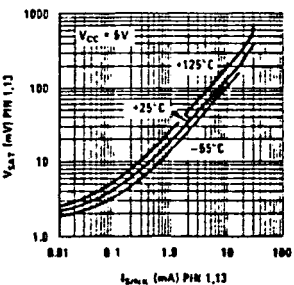
Output Propagation Delay vs
Voltage Level of Trigger Pulse



Discharge Transistor (Pin 1,13)
Voltage vs Sink Current



Discharge Transistor (Pin 1,13)
Voltage vs Sink Current



54125/74125 Quadruple Bus Buffer Gate with Three-State Output

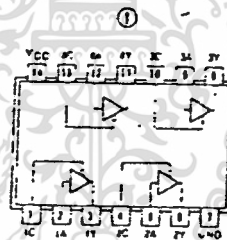
	Schottky TTL			High-Speed TTL			Low-Power Schottky TTL			Standard TTL			Tow-Power TTL		
	Device Type	Package		Device Type	Package		Device Type	Package		Device Type	Package		Device Type	Package	
T.I.										SN54125	JD	WJ			
FAIRCHILD										SN74125	JD	WJ			
MOTOROLA							74LS125	PQ							
N.S.C.							SN74LS125	PQ							
PHILIPS							DM74LS125	Q		74C125	ND				
SINETICS							NT4LS125	Q							
SIEMENS										54125					
FUJITSU															
HYACHI															
MITSUBISHI										74C125	PJ				
NEC										74125	PJ				
TOSHIBA															

Electrical Characteristics SN54LS125/SN74LS125

Absolute maximum ratings over operating free-air temperature range					
Supply voltage V_{CC}	7V	Duration: max. 100ms	54LS	-85°C to +175°C	
Input voltage	7V	Duration: max. 100ms	54LS	0°C to +75°C	
Storage temperature range					
-65°C to +150°C					
Recommended operating conditions					
SN54LS125					
Supply voltage V_{CC}	5V	5V	5V	5V	5V
Input voltage	0.1V	0.1V	0.1V	0.1V	0.1V
Output current	10mA	10mA	10mA	10mA	10mA
Operating free-air temperature T_A	-55°C	0°C	75°C	125°C	175°C

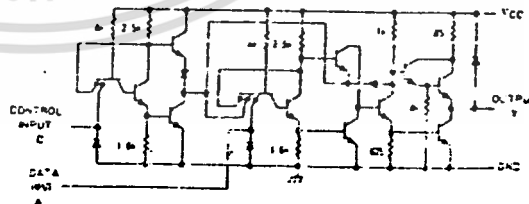
Electrical characteristics over recommended operating free-air temperature range					
PARAMETER	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
V_{OH} High-level output voltage	$V_{CC} = \text{MIN.}$ $V_{IH} = 2V$ $V_{IL} = 0.8V$ $I_{OL} = \text{MAX.}$	2.4		2.8	V
V_{OL} Low-level output voltage	$V_{CC} = \text{MIN.}$ $V_{IH} = 2V$ $V_{IL} = 0.8V$ $I_{OL} = \text{MAX.}$	0.35		0.5	V
I_{OH} High-level output current	$V_{CC} = \text{MAX.}$ $V_{IH} = 2V$ $V_{IL} = 0.8V$ $V_O = 2.4V$			20	mA
I_{OL} Low-level output current	$V_{CC} = \text{MAX.}$ $V_{IH} = 2V$ $V_{IL} = 0.8V$ $V_O = 0.5V$			20	mA
I_{CC} Supply current	$V_{CC} = \text{MAX.}$ DATA INPUT = 0V OUTPUT CONTROL = 1.5V		11	20	mA
t_{PD} Propagation delay time	$V_{CC} = 5V$ $C_L = 50pF$ $R_L = 60\Omega$		9	15	ns
t_{PLH} Propagation delay time from low to high			12	20	ns
t_{PLH} Propagation delay time from high to low			15	25	ns
t_{F} Output enable time from high to low			20		ns
t_{R} Output disable time from low to high			20		ns

Pin Assignment (Top View)



positive logic:
Y = A
Output is off (disabled) when C is high

Schematic (each gate)



125 CIRCUIT

Resistor values shown are nominal and in ohms

1. For functions see 74LS125 and 74LS125. The 74LS125 is a low-power Schottky TTL device. The 74LS125 is a low-power Schottky TTL device. The 74LS125 is a low-power Schottky TTL device.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5408/7408 Quaduple 2-Input Positive-AND Gate

	Schottky TTL			High-Speed TTL			Low-Power Schottky TTL			Standard TTL			Low-Power TTL		
	Device Type		Package	Device Type		Package	Device Type		Package	Device Type		Package	Device Type		Package
	C	P	M	C	P	M	C	P	M	C	P	M	C	P	M
T.I.	SN54S08		14				SN54LS08		14				SN5408		14
	SN74S08		14				SN74LS08		14				SN7408		14
FAIRCHILD	FMS5408		14	FMS408		14	FMS408		14	FMS408		14	FMS408		14
	FMS7408		14	FMS7408		14	FMS7408		14	FMS7408		14	FMS7408		14
MOTOROLA	MC3081		14	MC3081		14	MC3081		14	MC3081		14	MC3081		14
	MC3081		14	MC3081		14	MC3081		14	MC3081		14	MC3081		14
N.S.C.	CM5408		14	CM5408		14	CM5408		14	CM5408		14	CM5408		14
	CM7408		14	CM7408		14	CM7408		14	CM7408		14	CM7408		14
PHILIPS	N74S08		14	N7408		14	N74S08		14	N74S08		14	N7408		14
	N74S08		14	N7408		14	N74S08		14	N74S08		14	N7408		14
SIGNETICS	S5408		14	S5408		14	S5408		14	S5408		14	S5408		14
	S7408		14	S7408		14	S7408		14	S7408		14	S7408		14
SIEMENS	FLH381		14	FLH381		14	FLH381		14	FLH381		14	FLH381		14
	FLH381		14	FLH381		14	FLH381		14	FLH381		14	FLH381		14
FUJITSU	F74LS08		14	F74LS08		14	F74LS08		14	F74LS08		14	F74LS08		14
	F74LS08		14	F74LS08		14	F74LS08		14	F74LS08		14	F74LS08		14
HITACHI	HT74LS08		14	HT74LS08		14	HT74LS08		14	HT74LS08		14	HT74LS08		14
	HT74LS08		14	HT74LS08		14	HT74LS08		14	HT74LS08		14	HT74LS08		14
MITSUBISHI	M54LS08		14	M54LS08		14	M54LS08		14	M54LS08		14	M54LS08		14
	M74LS08		14	M74LS08		14	M74LS08		14	M74LS08		14	M74LS08		14
NEC	μ74LS08		14	μ74LS08		14	μ74LS08		14	μ74LS08		14	μ74LS08		14
	μ74LS08		14	μ74LS08		14	μ74LS08		14	μ74LS08		14	μ74LS08		14
TOSHIBA	T5408		14	T5408		14	T5408		14	T5408		14	T5408		14
	T7408		14	T7408		14	T7408		14	T7408		14	T7408		14

Electrical Characteristics SN54LS08; SN74LS08

absolute maximum ratings over operating free-air temperature range

Supply voltage V_{CC}	7V	Operating free-air temperature range	SN54LS08	-55°C to +125°C
Input voltage	7V	Storage temperature range	SN54LS08	-65°C to +150°C
Maximum power dissipation	500 mW	Recommended operating conditions	SN54LS08	-55°C to +125°C

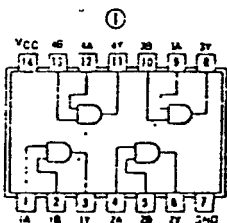
recommended operating conditions

PARAMETER	SN54LS08		SN74LS08		UNIT
	MIN	MAX	MIN	MAX	
Supply voltage V_{CC}	4.5	5.5	4.75	5.25	V
Input voltage V_{in}	0	5	0	5	V
Input current I_{in}	-1	1	-1	1	mA
Output voltage V_{out}	0	5	0	5	V
Output current I_{out}	-10	10	-10	10	mA
Operating free-air temperature T_A	-55	125	-55	125	°C

electrical characteristics over recommended operating free-air temperature range

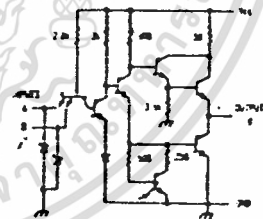
PARAMETER	TEST CONDITIONS†	MIN	TYP‡	MAX	UNIT
V_{OH} High-level output voltage	$V_{CC} = \text{MIN.}$, $I_O = -10 \text{ mA}$	2.7	3.4	5	V
V_{OL} Low-level output voltage	$V_{CC} = \text{MIN.}$, $I_O = 10 \text{ mA}$	0.25	0.4	0.5	V
I_{IH} High-level input current	$V_{in} = 5 \text{ V}$, $V_{CC} = \text{MAX.}$	-1	0	1	mA
I_{IL} Low-level input current	$V_{in} = 0 \text{ V}$, $V_{CC} = \text{MAX.}$	-1	0	1	mA
I_{OS} Short-circuit output current	$V_{CC} = \text{MAX.}$, $V_{in} = 5 \text{ V}$	-100	100	100	mA
I_{OZH} Supply current	$V_{CC} = \text{MAX.}$, Total outputs high	2.4	2.8	3.0	mA
I_{OZL} Supply current	$V_{CC} = \text{MAX.}$, Total outputs low	2.4	2.8	3.0	mA
I_{CC} Supply current	$V_{CC} = 5 \text{ V}$, Average per gate (50% duty cycle)	0.25	0.3	0.4	mA
t_{PLH} Propagation delay time, low-to-high-level output	$V_{CC} = 5 \text{ V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$, $C_L = 15 \text{ pF}$, $R_L = 200 \Omega$	8	15	18	ns
t_{PHL} Propagation delay time, high-to-low-level output	$V_{CC} = 5 \text{ V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$, $C_L = 15 \text{ pF}$, $R_L = 200 \Omega$	8	15	18	ns

Pin Assignment (Top View)

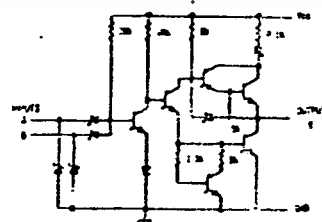


positive logic:
 $V = AB$

Schematics (each gate)



*5408 CIRCUIT



*7408 CIRCUIT

Resistor values shown are nominal and in ohms.

† For conditions shown as MIN or MAX, use the appropriate value specified under recommended operating conditions.

‡ All typical values are at $V_{CC} = 5 \text{ V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$.

* High-level output should be shorted at a time, and for SN54S/74S, duration of output short circuit should not exceed one second.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการสื่อสารเท่านั้น ไม่สามารถนำข้อมูลไปใช้ประโยชน์อื่นใด

5427/7427 Triple 3-Input Positive-NOR Gate

	Schottky TTL				High-Speed TTL				Low-Power Schottky TTL				Standard TTL				Low-Power TTL			
	Device Type		Package		Device Type		Package		Device Type		Package		Device Type		Package		Device Type		Package	
			C	P	M	O					C	P	M	O						
T.I.									SN54LS27				SN5427							
FAIRCHILD									SN74LS27				SN7427							
MOTOROLA									MM54LS27/MM54LS27				MM5427/MM5427							
N.S.C.									SN74LS27				SN7427							
PHILIPS									CU54LS27				CU5427							
SIGNETICS									D54LS27				D5427							
SIEMENS									N74LS27				N7427							
FUJITSU									N74LS27				N7427							
HITACHI									HD74LS27				HD7427							
MITSUBISHI									MS3LS27				MS3277							
NCC									74LS27											
TOSHIBA																				

Electrical Characteristics SN54LS27/SN74LS27

absolute maximum ratings over operating free-air temperature range

Supply voltage V_{CC}	TV	Operating free-air temperature range	SN54LS	-55°C to 125°C
Input voltage	TV	Storage temperature range	SN54LS	0°C to 175°C
Maximum output current	5.0V	Storage temperature range		-55°C to 175°C

recommended operating conditions

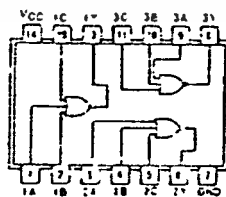
	SN54LS27		SN74LS27		UNIT
	MIN	MAX	MIN	MAX	
Supply voltage V_{CC}	4.5	5.5	4.5	5.5	V
Maximum output current I_{OL}	-48	-48	-48	-48	mA
Maximum output current I_{OH}	0	0	0	0	mA
Operating free-air temperature T_A	-55	125	-55	125	°C

electrical characteristics over recommended operating free-air temperature range

PARAMETER	TEST CONDITIONS†	MIN	TYP‡	MAX	UNIT
V_{OH} High-level output voltage		2			V
V_L Low-level output voltage			0.8		V
V_I Input clamping voltage	$V_{CC} - 0.5V$, $I_I = -15mA$		-1.5		V
V_{OH} High-level output voltage	$V_{CC} - 0.5V$, $V_L = V_{OL}$, $I_{OH} = -48mA$	2.7	3.4		V
V_{OL} Low-level output voltage	$V_{CC} - 0.5V$, $V_{OH} = 2.7V$, $I_{OL} = 48mA$		0.25	0.4	V
I_I Input current at maximum input voltage	$V_{CC} - 0.5V$, $V_I = 2V$		0.1		mA
I_{OH} High-level output current	Data inputs: $V_{CC} - 0.5V$, $V_{OH} = 2.7V$		20		mA
I_{OL} Low-level output current	Data inputs: $V_{CC} - 0.5V$, $V_{OL} = 0.4V$		-0.4		mA
I_{OS} Short-circuit output current	$V_{CC} - 0.5V$, $V_L = 0.4V$	-70		-100	mA
I_{CCM} Supply current	Total outputs high	2.0		4	mA
I_{CCL} Supply current	Total outputs low	3.4		6.8	mA
I_{CC} Supply current	Average per gate (50% duty cycle)	0.8			mA
t_{PLH} Propagation delay time, low-to-high	$V_{CC} = 5V$, $T_A = 25°C$		10	15	ns
t_{PHL} Propagation delay time, high-to-low	$C_L = 15pF$, $R_L = 2k\Omega$		10	15	ns

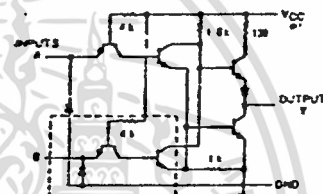
Pin Assignment (Top View)

①

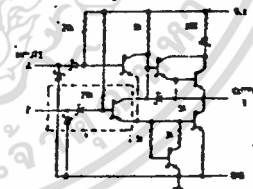


positive logic:
 $V = A \cdot B \cdot C$

Schematics (each gate)



The portion of the schematic within the dashed lines is repeated for the C input of the 27.



The portion of the schematic within the dashed lines is repeated for the C input of the LS27.

LS27 CIRCUIT

Resistor values shown are nominal and in ohms.

† For conditions shown as MIN or MAX, use the appropriate value specified under recommended operating conditions.
‡ Typical values are at $V_{CC} = 5V$, $T_A = 25°C$.

• Not more than one output should be started at a time.

[illegible]

Electrical Characteristics SN54LS04 SN74LS04

steady maximum ratings over operating freedom temperature range

Supply voltage VCC	V _V	Gain along the x	S ₁ Id ₁ S	-10% at 125°C
Supply voltage	V _V	Temperature range	S ₁ Id ₁ S	0°C at 10°C
		Storage temperature range		-80°C at 150°C

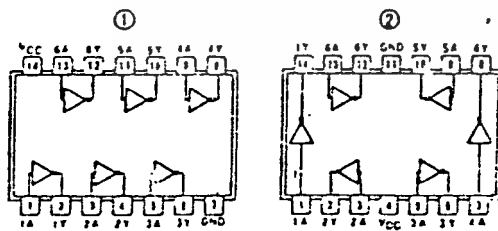
recommended operating conditions

	SMYTH SC4			SMYTH SC4			UNIT
	DATE	HOW	WALL	DATE	HOW	WALL	
Survey, average FCC	1.5	0	0.5	1.75	0	0.75	✓
High water below current top			-0.02			-0.02	✓
Low water below current top			0			-0.05	✓
Jumping hole at transition T2	-0.55		1.71	0		0	✓

electrical characteristics over recommended operating free-air temperature range

PARAMETER	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
V_{IH} High-level input voltage		2			V
V_{IL} Low-level input voltage				0.8	V
V_I Input clamp voltage	$V_{CC} = \text{MIN.}$ $I_{IH} = -0.5 \text{ mA}$			-1.5	V
V_{OH} High-level output voltage	$V_{CC} = \text{MIN.}$ $V_{OL} = V_{IL} \text{ MAX.}$ $I_{OH} = -0.5 \text{ mA}$	2.1	3.4		V
V_{OL} Low-level output voltage	$V_{CC} = \text{MIN.}$ $I_{OL} = 0.5 \text{ mA}$ $V_{OH} = 2.1 \text{ V}$			0.4	V
I_I Input current at maximum input voltage	$V_{CC} = \text{MAX.}$ $V_I = V_I$			0.1	mA
I_{IH} High-level input current	$V_{CC} = \text{MAX.}$ $V_{IH} = 2.7 \text{ V}$			25	μA
I_{IL} Low-level input current	$V_{CC} = \text{MAX.}$ $V_{IL} = 0.8 \text{ V}$			-0.8	mA
I_{OS} Short-circuit output current	$V_{CC} = \text{MAX.}$ $V_{OL} = 0 \text{ V}$			100	mA
I_{CC1} Supply current	$V_{CC} = \text{MAX.}$ $V_{OL} = 0 \text{ V}$ $V_{IH} = 2.7 \text{ V}$ $V_{IL} = 0.8 \text{ V}$			1.2	mA
I_{CC2} Supply current	$V_{CC} = \text{MAX.}$ $V_{OL} = 0 \text{ V}$ $V_{IH} = 2.7 \text{ V}$ $V_{IL} = 0.8 \text{ V}$			3.6	mA
I_{CC} Supply current	$V_{CC} = 3 \text{ V}$ $T_A = 25^\circ \text{C}$ $R_L = 2 \text{ k}\Omega$			0.4	mA
t_{PLH} Propagation delay time, low-to-high	$V_{CC} = 3 \text{ V}$ $T_A = 25^\circ \text{C}$ $C_L = 15 \text{ pF}$ $R_L = 2 \text{ k}\Omega$		9	15	ns
t_{PLL} Propagation delay time, high-to-low	$V_{CC} = 3 \text{ V}$ $T_A = 25^\circ \text{C}$ $C_L = 15 \text{ pF}$ $R_L = 2 \text{ k}\Omega$		10	15	ns

Pin Assignments (Top View)



reading left:

 $\gamma = 1$

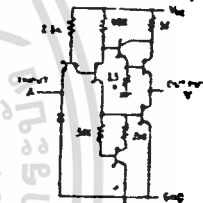
Schematics (each gate)



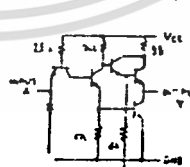
20:49	81	82	83	84
64	40	40	130	14
64	40	40	130	14

Input clamp diodes not on
3030L / 3070L * circuits.

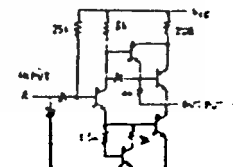
24. LDC CIRCUITS:



SG4 CIRCUIT



IN 4 CIRCUIT



1354 CIRCUIT

Reaction values shown are limiting and are shown

If conditions shown as with a MAX, use the appropriate value located under recommended operating conditions.

Typical values are at $V_{CC} = 5V$, $T_A = 25^\circ C$.

* No; only the one target present by accident at a time, and for 5454N/5478W and 5454S; 5474E, direction of movement should not exceed 1 second.

Actuators . . . Types and Uses

WHY ACTUATED VALVES?

Demand for actuated valves is ever increasing because of the prohibitive cost of labor associated with manually operated valves, especially those in remote locations and for computer automated piping systems.

Actuated valves can boost profits and productivity by:

- Providing closer control of critical processes by eliminating human error.
- Adapting easily and economically to full modulating control and computer systems.
- Allowing automatic sequence of valve operation in multistage systems that are difficult, if not impossible to coordinate manually.
- Availability with a variety of cost and labor saving options that allow them to fit process requirements and industrial environments more closely.
- Helping satisfy safety requirements by providing fail safe modes and eliminating the need for workers to manually operate a valve carrying hazardous fluids.

HOW IS AN ACTUATOR SELECTED?

Choosing the type of actuator is not simply a matter of evaluating the features and cost of the actuator alone, but also the cost of supplying motive power, installation, maintenance, service life and possible future replacement.

There are two basic types of actuators—electric and pneumatic and both have their advantages and disadvantages. If both electricity and air are available, the first consideration is to select the type of power desired.

Both electric and pneumatic actuators are available in approximately equal torque output ratings in the sizes available from NIBCO. For 2" and larger valves, pneumatic actuators are much less expensive. However, the smaller size, lighter weight and generally simpler installation favors electric actuators in many applications.

Speed control of both electric and pneumatic actuators is another important consideration. Closing a valve too quickly on a flowing fluid can cause hydraulic shock and subsequent damage to the valve and related piping. The speed of both pneumatic and electric actuators can be tailored to the application. Some pneumatics can be adjusted in-line to obtain the correct cycle time for a specific application.

Electric actuators supplied by NIBCO employ the motor-gear train actuator principal (see Fig. 1). This gear train or gear reduction principal is a much slower operating unit than a solenoid valve. Open and close speeds of two seconds to one minute or longer, depending on valve size become a desirable feature in order to eliminate surges and hydraulic shock in the piping system.

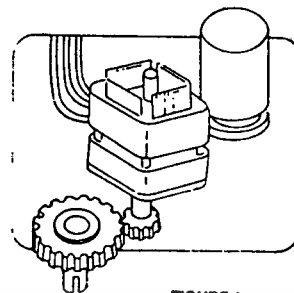


FIGURE 1

Electric actuators are excellently suited to cold or damp environments and for applications where clean, dry air is not available, or air pressure is insufficient. In cold environments actuators should be equipped with heaters and thermostats. These actuators can withstand the upper temperature limitations generally associated with butterfly valves. NIBCO has many enclosure options which permit actuators to be adaptable to most hazardous and corrosive environments.

Electric actuated valves provide versatile electric motor drives to provide the ultimate in remote control service. Choose from many actuator models, as determined by valve size and required closing speed, each with a choice of motor enclosures (NEMA 4 watertight or NEMA 7 explosion proof). See page 43 for additional information.

Additional features include universal mounting position, simplified installation and disassembly, special adjustment plates for quick, accurate setting of cam-operated limit switches, and exclusive disengageable manual override on models MAR-10, 25, 50, 100, 160, 250. All electric actuators for butterfly valves have mechanical brakes to prevent drift caused by flow dynamics. Each actuated valve is factory assembled and thoroughly tested before delivery.

FEATURES

- Ideally suited for automated or computer controlled fluid handling systems, wherever the valve is not easily accessible, or simply to cut labor costs.
- Powered by 120 VAC high torque, integral single phase reversible motor with built in overload protection.
- Designed for quick installation, easy maintenance.
- Permanently lubricated "module gear train" permits wide range of speeds, withstands stall torque.
- Nickel plated output shafts provide maximum corrosion protection.
- Mechanical, visual output shaft position indicator.
- Two SPDT switches useable for position running light indication.
- Sizes available to operate 2" through 24" butterfly valve

NIBCO INC., ELKHART, INDIANA

Electric Actuators

TECHNICAL DATA

Operation

All units standard reversible

MA-4R and MA-8R Unidirectional (all other units available as unidirectional upon request.)

Limit Switches

Models MA-4R, MA-8R and MAR-8; 5 amps rated at 125 VAC and 250 VAC UL listed. All other models UL and CSA listed; 15 amps and 1/3 hp, 125 or 250 VAC; 1/2 amp, 125 VDC; 1/4 amp, 250 VDC; 5 amps, 120 VAC "L" (lamp load).

Conduit Entry

Provision (std.) 1/2" conduit. 3/4" on MAR-100, -120, -160, -250, -800, -1600 and -4000.

Ambient Temperature

Minus 40 degrees F. to plus 150 degrees F.

Lubrication

High temperature grease for gears; self-lubricating bearings.

Mounting Positions

Universal.

Weight

MA-4, MA-8 and MAR-8 — 3.5 pounds.

MAR-9, -10, -12, -13, -24, -25, -49, -50, -89 and -90 — 12.5 to 14.5 pounds (depending on model).

MAR-100, -120, -160, -250 and -800 — 34 pounds.

MAR-1600 — 93 pounds.

MAR-4000 — 120 pounds.

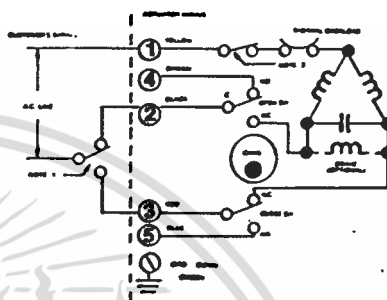
Enclosures

NEMA-4 — Weatherproof.

NEMA-7 — Hazardous location. Meets NEMA standards for use in hazardous locations: Class I, Groups C and D, Class I Groups E, F and G. CSA approved models available.

STANDARD WIRING DIAGRAMS

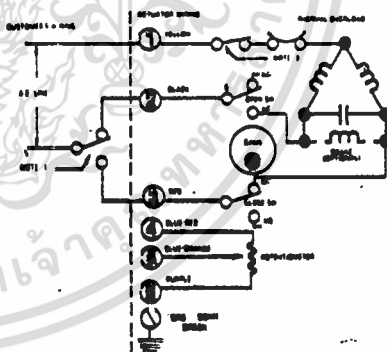
Standard Reversible



NOTES:

1. Switch shown for illustration only.
2. Actuator is shown in open position.
3. Manual lockout switch is standard on units MAR-100 through : AR-4000 and doesn't function off cam shown.
4. Power to terminal "3" operates unit into close position.
5. Power to terminal "2" operates unit into open position.
6. Wiring from the normally open contacts of the switches is provided for light indication.

Reversible with Potentiometer



NOTES:

1. Switch shown for illustration only.
2. Actuator is shown in open position.
3. Manual lockout switch is standard on units MAR-100 through : MAR-4000 and doesn't function off cam shown.
4. Power to terminal "3" operates unit into close position.
5. Power to terminal "2" operates unit into open position.

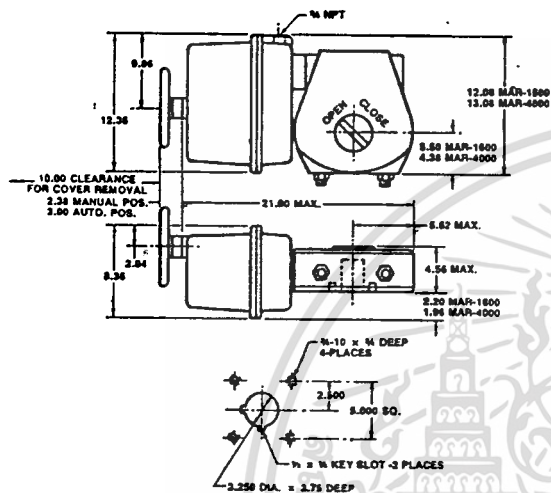
NIBCO INC., ELKHART, INDIANA

Electric Actuators

MODELS

MAR-1600
MAR-4000

With Manual Override



TORQUE RATINGS

(at 60Hz) in seconds/90° turn and torque in pound inches

Model	55 Sec	125 Sec
MAR-1600	21,000	—
MAR-4000	—	48,000

CURRENT RATINGS

in amps, at standard available speeds in seconds/90° turn (locker motor)

Model	Volts AC	55 Sec	125 Sec
MAR-1600	120	7.00	—
	220	3.20	—
MAR-4000	120	—	7.00
	220	—	3.20

MAR-50-10 mounted on
LD-2000 butterfly valve.

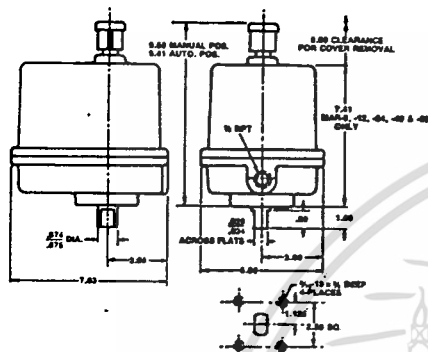


NIBCO INC., ELKHART, INDIANA

MODELS

MAR-9	MAR-10
MAR-24	MAR-25
MAR-49	MAR-50
MAR-89	MAR-90

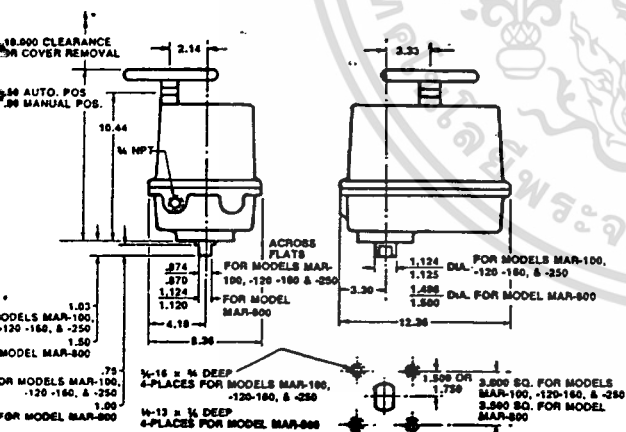
Without Manual Override	With Manual Override
	
6.7 min.	6.7 min. 7.1 min.



MODELS

MAR-100
MAR-160
MAR-250
MAR-800

With Manual Override



TORQUE RATINGS

(at 60Hz) in seconds/90° turn and torque in pound inches

Model	0.33 Sec	2 Sec	5 Sec	10 Sec	15 Sec	30 Sec	60 Sec
MAR-9 & -10	—	120	—	275	—	300	400
MAR-24 & -25	—	—	—	400	—	500	600
MAR-49 & -50	—	600	—	600	—	700	700
MAR-89 & -90	—	—	1000	—	1000	—	—

CURRENT RATINGS

In amps, at standard available speeds in seconds/90° turn (locked rotor)

Model	Volts AC	0.33 Sec	2 Sec	5 Sec	10 Sec	15 Sec	30 Sec	60 Sec
MAR-9 & -10	120	—	0.75	—	0.70	—	0.65	0.65
	220	—	0.45	—	0.45	—	0.35	0.35
MAR-12 & -13	120	2.80	—	—	—	—	—	—
	220	1.00	—	—	—	—	—	—
MAR-24 & -25	120	—	—	—	0.75	—	0.65	0.65
	220	—	—	—	0.45	—	0.35	0.35
MAR-49 & -50	120	—	2.00	—	0.80	—	0.65	0.65
	220	—	0.95	—	0.50	—	0.45	0.45
MAR-69 & -90	120	—	—	1.75	—	0.60	—	—
	220	—	—	0.80	—	0.40	—	—

TORQUE RATINGS

(at 60Hz) in seconds/90° turn and torque in pound inches

Model	1.25 Sec	3 Sec	8 Sec	12 Sec	16 Sec	30 Sec	60 Sec
MAR-100	—	—	—	—	1500	1800	—
MAR-160	—	—	1920	—	2000	2500	—
MAR-250	—	3500	3000	—	4000	5000	5000
MAR-800	—	—	—	10,000	—	10,000	—

CURRENT RATINGS

In amps, at standard available speeds in seconds/90° turn (locked rotor)

Model	Volts AC	1.25 Sec	3 Sec	8 Sec	12 Sec	16 Sec	30 Sec	60 Sec
MAR-100	120	—	—	—	—	1.75	1.70	—
	220	—	—	—	—	0.80	0.75	—
MAR-120	120	7.00	—	—	—	—	—	—
	220	3.20	—	—	—	—	—	—
MAR-160	120	—	—	1.80	—	1.80	1.70	—
	220	—	—	0.95	—	0.90	0.75	—
MAR-250	120	—	7.00	2.50	—	2.50	1.75	1.70
	220	—	3.20	1.25	—	1.10	0.90	0.75
MAR-800	120	—	—	—	7.00	—	2.80	—
	220	—	—	—	3.20	—	1.25	—

NIBCO INC., ELKHART, INDIANA