



Generator set

จัดทำโดย

นายเดชา กนกพัฒน์กิจ

นายยิ่งยง ปุณณาภิรมย์

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์สุวงษ์ โสมพงศ์

อาจารย์วิระศักดิ์ วงศ์วิวัฒน์

ปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2532

ปริญญาโท ปีการศึกษา 2532

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง Generator set

ผู้จัดทำ

1. นายเดชา กนกพันธ์กิจ 29.1060
2. นายยิ่งยง ปุณณาภิรมย์ 29.1166

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์สว่างซ์ โสมพงศ์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์วีระศักดิ์ วงศ์วิวัฒน์)



026977

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

22 พ.ย. 2532

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	1
บทที่ 1 บทนำ	2
บทที่ 2 -โครงสร้างของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ	3
-การเกิดแรงดันไฟฟ้าตกคร่อม	6
-รูปแบบการบ่อนกระแสไฟฟ้าตรง เข้าสู่ขดลวดสนามแม่เหล็กกระตุ้น	11
-ทฤษฎีของสเตปป์มอเตอร์	13
บทที่ 3 อธิบายการทำงานของวงจรควบคุมแรงดันไฟฟ้าให้คงที่	17
บทที่ 4 อธิบายการทำงานของวงจรควบคุมความถี่ให้คงที่	22
บทที่ 5 การทดลองและผลการทดลอง	33
บทที่ 6 บทวิจารณ์และสรุปผลการทดลอง	36
กิตติกรรมประกาศ	38
ภาคผนวก	45
หนังสืออ้างอิง	46

Generator set

นายยิ่งยง ปุณณาภิรมย์ 29.1166

นายเดชา กนกพัฒนกิจ 29.1060

อาจารย์สุวงษ์ โสมนงค์ อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์วีระศักดิ์ วงศ์วิวัฒน์ อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2532

บทคัดย่อ

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นการควบคุมระดับแรงดันไฟฟ้าและความถี่ไฟฟ้าที่ผลิตจาก เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับอย่างอัตโนมัติที่ความถี่ 60 Hz ,220 v เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแส สลับโดยทั่วไปมีตัวขั้วทางกล (primover) หมุน เพื่อให้ฟลักซ์แม่เหล็กที่เกิดจากขดลวดสนามแม่ เหล็กกระตุ้นตัดกับส่วนของอาร์มาเจอร์ เพื่อให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลและเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของ ภาระทางไฟฟ้า ก็จะมีผลทำให้แรงดันไฟฟ้าและความถี่เปลี่ยนแปลงไปด้วย ในวิทยานิพนธ์นี้เราใช้ เครื่องยนต์แบบเบนซินเป็นตัวขั้วทางกล ขั้วเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับแบบ self excited โดยมีขดลวดจ่ายไฟฟ้าแยกเป็น 2 ชุดคือ ชุดหนึ่งจ่ายไฟกระแสสลับให้กับภาระทางไฟฟ้า ส่วนอีก ชุดจ่ายไฟกระแสสลับแล้วถูกแปลงเป็นไฟฟ้ากระแสตรงโดยคอมมิวเตเตอร์ (commutator) ภายใน ตัวมันเองแล้วป้อนไฟฟ้ากระแสตรงผ่านแปรงถ่านให้แก่ขดลวดสนามแม่เหล็กกระตุ้น ในขณะที่เริ่ม เติบโตเครื่องตอนแรกยังไม่มียฟลักซ์แม่เหล็กจากกระแสส่วนนี้ จึงต้องอาศัยฟลักซ์แม่เหล็กตกค้าง (residual flux) ช่วยในสถานะตอนแรก การควบคุมระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่ผลิต ออกมาให้คงที่ โดยการ ใช้ chopper มาควบคุมไฟฟ้ากระแสตรงก่อนผ่านแปรงถ่านเข้าสู่ขดลวด สนามแม่เหล็กกระตุ้น โดยให้ power transistor นำกระแสที่มุมต่างๆ เพื่อป้อนให้กับขดลวด สนามแม่เหล็กเมื่อภาระทางไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงไป ในการควบคุมนี้จะต้องทำควบคู่ไปกับการควบคุมความถี่ ซึ่งจะใช้วิธีการปรับอัตราการจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงให้เครื่องยนต์ทำงานที่ความเร็วรอบคงที่ ที่ภาระ ทางไฟฟ้าค่าต่าง ๆ โดยการ ใช้สเตปป์ (stepping motor) มาควบคุมปุมปรับคันเร่งของ เครื่องยนต์เบนซิน

บทที่ 1

บทนำ

ในปัจจุบันนี้มีการใช้ไฟฟ้าในชีวิตประจำวันเป็นจำนวนมากและนับว่าเป็นสิ่งจำเป็นในชีวิตของมนุษย์ จึงมีการพัฒนาให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้นเพื่อตอบสนองความต้องการดังกล่าว ในปฏิญานิพนธ์ฉบับนี้จึงเป็นการควบคุมแรงดันไฟฟ้าและความถี่ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับให้คงที่ ณ ภาระทางไฟฟ้าช่วงหนึ่ง โดยทั่วไปแล้วเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับจะต้องประกอบด้วยตัวขั้วทางกล ทำการขับเคลื่อนตัวเคลื่อนที่ (rotor) หมุนไปเพื่อให้พลังแม่เหล็กที่เกิดจากขดลวดสนามแม่เหล็กกระตุ้นตัดกับขดลวดอาร์มาเจอร์ เพื่อให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหล ตัวขั้วทางกลนี้เราใช้เครื่องยนต์เบนซินและมีระบบกระตุ้นสนามแม่เหล็กด้วยตัวเองแล้วทำการควบคุมให้แรงดันไฟฟ้าและความถี่ให้คงที่ ณ 220 โวลต์/ 60 เฮิร์ตซ เหตุที่ต้องควบคุมความถี่ที่ 60 เฮิร์ตซ แทนที่จะเป็น 50 เฮิร์ตซ เพราะพิกัดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับเป็น 60 เฮิร์ตซ แม้ว่าจะพยายามลดความเร็วของตัวขั้วทางกลให้น้อยสุดเพื่อให้ได้ความถี่ 50 เฮิร์ตซ แต่ก็ทำไม่ได้เนื่องจากป้อนปรับคั้นแรงบิดต่ำสุดหรือไม่ได้บิดเลย ความถี่ที่ออกมาจึงมากกว่า 50 เฮิร์ตซเลย ประโยชน์คือนำไปใช้ในพื้ที่นอกการจ่ายของการไฟฟ้าหรือใช้ในกรณีฉุกเฉินและที่นิยมกันมากคือใช้ในเรือประมงที่จับปลาอยู่กลางทะเล ส่วนรายละเอียดต่างๆ ในบทอื่นๆ มีดังนี้

-บทที่ 2 กล่าวถึงทฤษฎีของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ ในด้านโครงสร้างของมัน , ผลของอาร์มาเจอร์รีแอคชั่นที่ทำให้เกิดแรงดันตกคร่อมขึ้น , รูปแบบของตัวเอ็กไซต์ต่างๆ นอกจากนี้ยังกล่าวถึงทฤษฎีของสเตปป์มอเตอร์ โดยให้รายละเอียดด้านชนิดของสเตปป์มอเตอร์ ระบบการเอ็กไซต์ที่สเตเตอร์มีกี่แบบ

-บทที่ 3 กล่าวถึงวงจรที่ใช้ในการควบคุมแรงดันไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับให้คงที่ โดยการควบคุมในส่วนของแรงดันไฟฟ้าตรงที่ป้อนให้แก่สนามแม่เหล็กกระตุ้นด้วยการใช้วิธีของ chopper

-บทที่ 4 กล่าวถึงวงจรที่ใช้ในการควบคุมให้ความถี่ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับคงที่ โดยการใส่สเตปป์มอเตอร์มาควบคุมป้อนคั้นแรงของเครื่องยนต์เบนซิน

-บทที่ 5 เป็นการทดลองและผลการทดลองต่างๆ ในปฏิญานิพนธ์ฉบับนี้

-บทที่ 6 เป็นบทวิจารณ์และสรุป

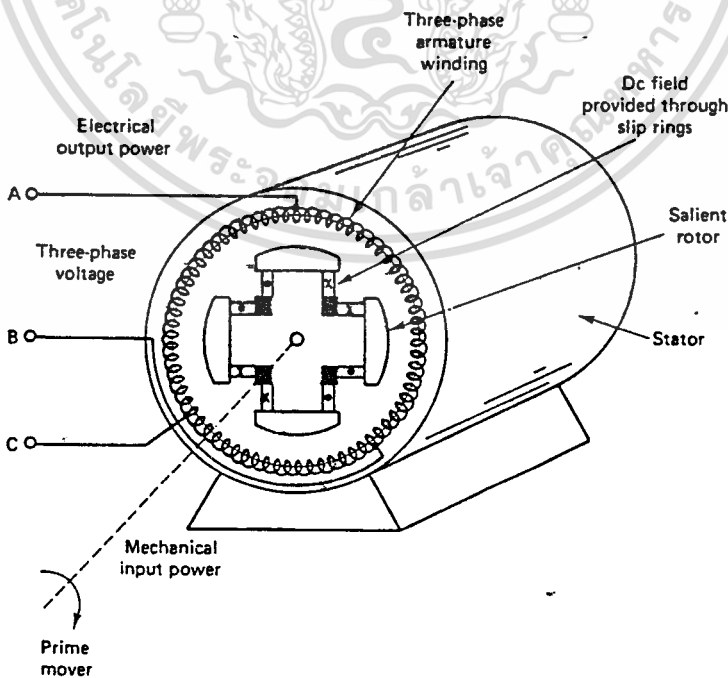
บทที่ 2

ทฤษฎีของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับและสเตปป์มอเตอร์ (stepping motor)

เครื่องจักรกลไฟฟ้าแบบซิงค์โครนัส (Synchronous machine) คือเครื่องกลไฟฟ้าที่ทำงานในขณะที่ตัวหมุนมีความเร็วเท่ากับสนามแม่เหล็กหมุน (rotating magnetic field) ที่เกิดจากอาร์มาเจอร์ (armature) ไม่ว่าจะเครื่องจักรกลไฟฟ้านั้นจะทำหน้าที่เป็นตัวจ่ายกำลังไฟฟ้้าออกมา (เครื่องกำเนิดไฟฟ้าสลับที่มีความเร็วคงที่) หรือ ตัวจ่ายกำลังออกมา (มอเตอร์กระแสไฟฟ้าสลับที่มีความเร็วคงที่) ก็ตาม จะอย่างไรก็ตามตัวอาร์มาเจอร์หรือขดลวดสนามแม่เหล็กกระตุ้น อาจจะอยู่ที่ตัวอยู่กับที่หรือที่ตัวหมุนก็ได้แล้วแต่จุดประสงค์ของการใช้งานและขนาดของเครื่องจักรกลไฟฟ้า ดังนั้นเครื่องจักรกลไฟฟ้าแบบซิงค์โครนัสจึงต้องมีความเร็วรอบที่คงที่เสมอ โดยไม่คำนึงว่าภาระทางไฟฟ้าที่มันได้รับนั้นจะมีมากน้อยเท่าใดก็ตาม ทั้งนี้ทั้งนั้นจำนวนขั้วแม่เหล็ก (pole) และความถี่ของเครื่องจักรกลไฟฟ้าแบบซิงค์โครนัสนั้นๆ ต้องคงที่ โดยปกติแล้วเครื่องจักรกลไฟฟ้าแบบซิงค์โครนัสนี้แยกออกเป็น 2 พวก คือ

1. เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับชนิดที่ต้องมีความเร็วคงที่ (Synchronous generator หรือ alternator นั้นเอง)
2. เครื่องที่ให้กำลังงานทางกลที่มีความเร็วคงที่ (Synchronous Motor)

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เราใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ ซึ่งสามารถแสดงโครงสร้างได้ดังรูป 2-1



รูปที่ 2-1 แสดง โครงสร้างของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ

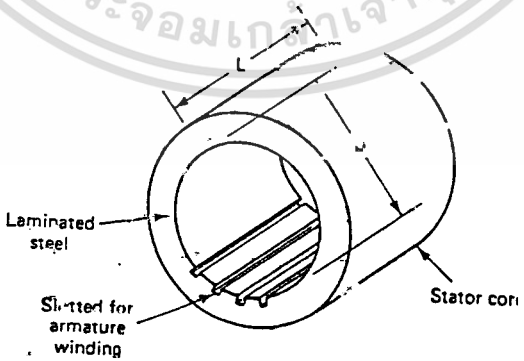
เรามีหลักการของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (generator action) ง่ายคือการเคลื่อนที่ของตัวนำตัดสนามแม่เหล็ก ถ้าขดลวดสนามแม่เหล็กกระตุ้นอยู่กับที่และส่วนตัวอาร์มาเจอร์หมุนไปเรียกว่า REVOLVING ARMATURE โดยส่วนของขดลวดสนามแม่เหล็กกระตุ้นเรียกว่า สเตเตอร์ (stator) และส่วนอาร์มาเจอร์เรียกว่า ตัวหมุน (rotor) แต่ถ้าขดลวดสนามแม่เหล็กกระตุ้นหมุนไป และส่วนอาร์มาเจอร์อยู่กับที่ เรียกว่าแบบ REVOLVING FIELD โดยขดลวดสนามแม่เหล็กกระตุ้นเรียกว่า ตัวหมุน และส่วนอาร์มาเจอร์เรียกว่า สเตเตอร์ ส่วนมากแล้วเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับจะเป็นแบบ REVOLVING FIELD เหตุผลที่นิยมสร้างแบบนี้คือ

1. เพื่อความสะดวกในการนำกระแสไฟเข้าที่ตัวหมุนซึ่งเป็นปริมาณไฟฟ้าที่มีจำนวนน้อยกว่าที่ส่วนอาร์มาเจอร์ โดยใส่ไฟผ่านแปรงถ่านที่สัมผัสอยู่กับวงแหวนลื่น (Slip ring) ที่ต่อยังขดลวดที่พันอยู่บนตัวหมุนอีกทีหนึ่ง ส่วนอาร์มาเจอร์นั้นก็ย้ายไปอยู่ที่ตัวอยู่กับที่ นั่นก็คือขดลวดของอาร์มาเจอร์พันอยู่บนตัวอยู่กับที่ ทั้งนี้เพื่อให้สามารถนำไฟฟ้าเข้าหรือออกได้จำนวนมาก
2. ส่วนของอาร์มาเจอร์ง่ายที่จะทำการระบายความร้อน
3. ไม่เกิด commutator action ขึ้นทำให้สามารถสร้างพิกัดให้มีขนาดใหญ่ได้

ใหญ่ๆได้

โครงสร้างของสเตเตอร์

ส่วนสเตเตอร์จะทำจากแผ่นเหล็กบางๆที่นำมาซ้อนกันเพื่อลดผลของการสูญเสียพลังงานจากกระแสไหลวนในแกนเหล็ก (eddy current loss) ให้น้อยลง แผ่นเหล็กที่ใช้จะมีค่าความซึมซามแม่เหล็ก (permeability) และความต้านทาน (resistivity) สูง ที่นิยมให้กันได้แก่ " Silicon iron " แสดงได้ดังรูปที่ 2-2



รูปที่ 2-2 แสดงโครงสร้างของสเตเตอร์

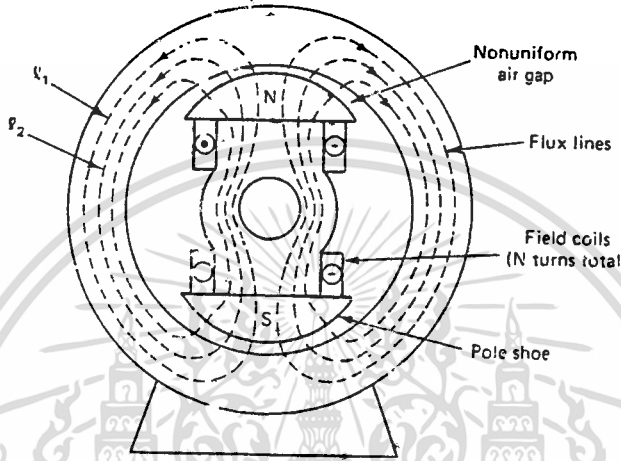
จากรูปที่ 2 จะเห็นว่า มีช่องสลิต (slot) สำหรับเป็นที่ใส่ตัวนำ ในเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับที่มีความเร็วรอบต่ำ (low speed) จะมีเส้นผ่าศูนย์กลาง (D) กว้างมาก เช่น hydroelectric generator จะมีจำนวนขั้วแม่เหล็กมาก และมีความยาวของแกน (L)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น เมื่ออนุญาตเห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า เช่น hydroelectric generator จะมีจำนวนขั้วแม่เหล็กมาก และมีความยาวของแกน (L) ไม่ควรกรณใดๆทางสน อักทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งหากมีการนำไปใช้

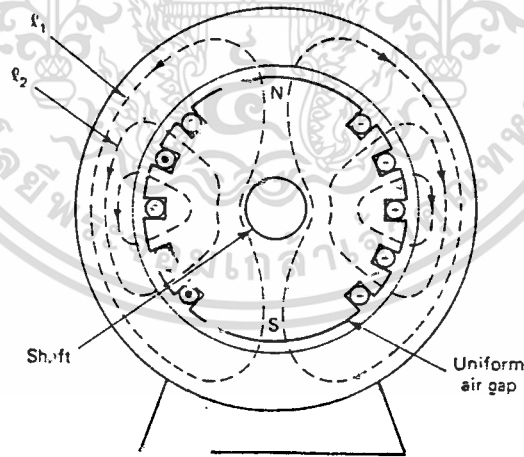
สิ้น ส่วนกรณีเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับที่มีความเร็วรอบสูง เช่น stream turbine ที่มีจำนวนขั้วแม่เหล็กเป็น 2 หรือ 4 ซึ่งมีความยาวของแกนมีค่ามากกว่าความกว้างของเส้นผ่าศูนย์กลางกลางของตัวหมุนหลายเท่าตัว

โครงสร้างของตัวหมุน

ตัวหมุน คือส่วนที่เคลื่อนที่ไปของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ สร้างได้ 2 แบบ ดังรูปที่ 2-3



รูปที่ 2-3 (ก) แสดงโครงสร้างของตัวหมุนแบบซาร์เลียน



รูปที่ 2-3 (ข) แสดงโครงสร้างของตัวหมุนแบบทรงกระบอก

1. ตัวหมุนแบบซาร์เลียน (Salient rotor) จะมีการบ่อนกระแสตรงเข้าไปในส่วนของขดลวดสนามแม่เหล็กกระตุ้น ทำให้เกิด $MFE(NI)$ ผลคือมีสนามแม่เหล็กเกิดขึ้นดังรูป 2-3(ก) ซึ่งส่วน pole shoe มีรูปร่างดังรูปเพื่อความหนาแน่นของสนามแม่เหล็กลัพธ์ (resultant flux density) ในช่องอากาศ (air gap) มีลักษณะเป็นรูปซายน์

(sinusoidal) ผลคือทำให้แรงดันที่ถูกสร้างขึ้นมามีลักษณะเป็นรูปซายน์ด้วย ตัวหมุนแบบซาร์เลียนนี้ใช้งานใน เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ ที่มีความเร็วรอบต่ำ จึงทำให้มีจำนวนขั้วแม่เหล็กไม่มากนักแต่ทั้งนี้ยังมีเหตุเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหล็กมาก

2. ตัวหมุนแบบทรงกระบอก (round rotor หรือแบบ cylindrical rotor) ดังรูป 2-3(ข) จะมีส่วนของขดลวดสนามแม่เหล็กกระตุ้น วางตัวอยู่ในช่องสลีทที่ตัวหมุนและช่องอากาศ มีลักษณะสม่ำเสมอ(uniform) และจากรูป 2-3(ข) จะเห็นว่าทางเดินของ I_1 มีการครอบคลุมตัวนำที่มีกระแสไหลมากกว่าทางเดินของ I_2 ฉะนั้นที่ทางเดินของ I_1 จะมีความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กเป็นรูปชายเนินด้วย ตัวหมุนแบบทรงกระบอก นี้จะใช้งานใน เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ ที่มีความเร็วรอบสูงและมีจำนวนขั้วแม่เหล็กน้อย

เราสามารถแสดงค่าแรงดันภายใน (E_g) ที่สร้างขึ้นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ ในสภาวะไม่มีภาระทางไฟฟ้าได้อย่างคร่าวๆคือ

$$E_g = K \cdot \phi \cdot \omega \tag{1}$$

เมื่อ ω คือความเร็วเชิงมุมของการหมุนของสนามแม่เหล็กในช่องอากาศ

ϕ คือ ความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กในช่องอากาศ

ส่วนอัตราการหมุนของสนามแม่เหล็กใน เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ จะมีส่วนสัมพันธ์กับความถี่ของแรงดันไฟฟ้าที่สร้างขึ้นในส่วนของสเตเตอร์คือ

$$f_g = (n_p \cdot P) / 120 \tag{2}$$

เมื่อ f_g คือความถี่ทางไฟฟ้าของแรงดันไฟฟ้าที่สร้างขึ้น

n_p คือความเร็วของตัวหมุนที่ถูกขับด้วยตัวขับทางกล (primever)

มีหน่วยเป็น รอบ/นาที

P คือจำนวนขั้วแม่เหล็กของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ

การเกิดแรงดันไฟฟ้าตกคร่อม (Generator Voltage drop)

เมื่อมีการป้อนภาระทางไฟฟ้าให้แก่ เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ จะทำให้มีกระแสไหลในส่วนของตัวนำในอาร์มาเจอร์ ซึ่งตัวนำในอาร์มาเจอร์จะมีค่าความต้านทานของมันอยู่ (armature resistance (R_a)) ฉะนั้นจึงทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมที่ตัวความต้านทานมีค่า

$$V_a = I_a \cdot R_a \tag{3}$$

เมื่อ V_a คือ แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมอยู่ที่ความต้านทานในแต่ละเฟส

I_a คือ กระแสที่ไหลในแต่ละเฟส (phase current) มีหน่วย แอมป์ (A)

R_a คือ ความต้านทานของตัวนำในแต่ละเฟสของส่วนอาร์มาเจอร์ มีหน่วยเป็น โอห์ม/เฟส

นอกจากนี้ตัวนำในส่วนอาร์มาเจอร์ยังส่งผลให้เกิดแรงดันไฟฟ้าตกคร่อม เนื่องจาก คาร์รีแอกแตนซ์รั่วซึม (leakage reactance) มีค่า

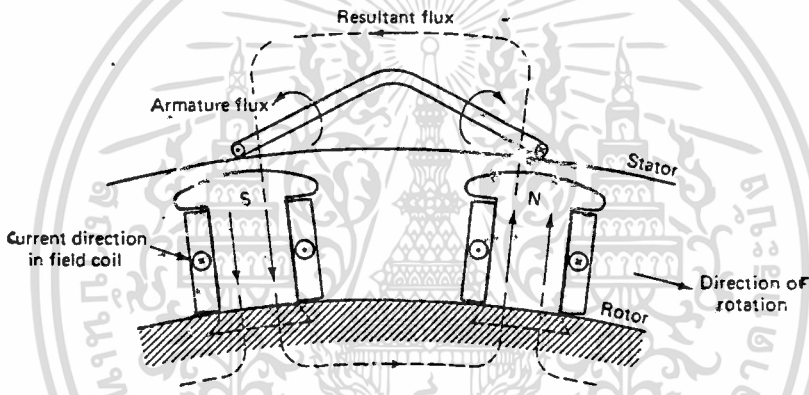
$$V_x = I_a \cdot X_a$$

ในส่วนอาร์มาเจอร์

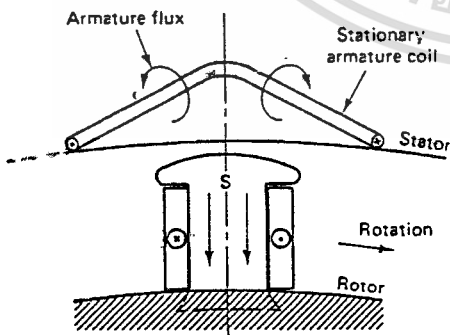
X คือค่ารีแอคแตนซ์รีแอคทีฟของตัวนำในส่วนอาร์มาเจอร์ของแต่ละเฟส มีหน่วยเป็น โอห์ม/เฟส

ผลกระทบการปรากฏการณ์ของอาร์มาเจอร์รีแอคชัน (Armature Reaction)

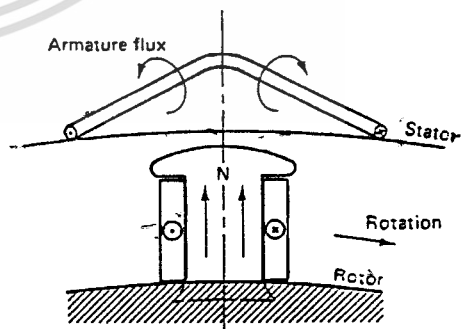
ถ้าส่วนของขดลวดสนามแม่เหล็กกระตุ้นในเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ ถูกกระตุ้นด้วยกระแสตรงและไม่มีกระแสไหลในส่วนอาร์มาเจอร์ จะได้เส้นทางการเดินของฟลักซ์แม่เหล็กดังรูป 2-3 และเมื่อมีการป้อนภาระทางไฟฟ้า ก็จะทำให้ตัวนำภายในอาร์มาเจอร์มีกระแสไหล ซึ่งผลของกระแสนี้จะสร้างสนามแม่เหล็กของมันเองขึ้นมา จึงทำให้เกิดฟลักซ์แม่เหล็กขึ้น 2 ค่าในช่องอากาศซึ่งกระทำซึ่งกันและกัน ทำให้ได้ผลรวมของฟลักซ์แม่เหล็กลัพธ์ (resultant flux) มีการเปลี่ยนแปลงไป เราเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า armature reaction เราอธิบายได้ดังรูป



รูปที่ 2-4 (ก) กรณี unity power factor



รูปที่ 2-4 (ข) กรณี PF = 0 lagging



รูปที่ 2-4 (ค) PF = 0 leading

รูปที่ 2-4 ฟลักซ์แม่เหล็กที่เกิดจากผลของอาร์มาเจอร์รีแอคชัน

จากรูป แสดงส่วนโครงสร้างของขดลวดสนามแม่เหล็กกระตุ้น ที่หมุนไปในทิศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น มิใช่เพื่อเผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ทางการค้าตามเข็มนาฬิกา สมมติว่าการวางตัวนำในช่องสล๊อต บนส่วนอาร์มาเจอร์เป็นแบบ full pitch มิใช่กรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมั่วแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งหากมีการนำไปใช้

เมื่อระยะระหว่างขั้วแม่เหล็กของตัวหมุนอยู่ในทิศตรงข้ามกับ coil side ดังรูปที่ 2-4(ก) จะทำให้เกิดการสร้างแรงดันไฟฟ้ามีค่าสูงสุดในตัวนำที่อาร์มาเจอร์ (armature coil) ถ้ากระแสในตัวนำมีทิศทางเดียวกับแรงดันไฟฟ้าที่สร้างขึ้นมา(กรณี unity power factor) จะก่อให้เกิดฟลักซ์แม่เหล็กหมุนไปรอบตัวนำตามทิศลูกศรดังรูปที่ 2-4(ก) จะเห็นว่าทิศทางของฟลักซ์แม่เหล็กที่สร้างจากอาร์มาเจอร์ (armature coil flux) จะมีทิศเสริมกับฟลักซ์แม่เหล็กของขั้วแม่เหล็กเหนือ(north pole) และมีทิศทางตรงกันข้ามกับฟลักซ์แม่เหล็กของขั้วแม่เหล็กใต้(south pole) ภายใต้อินทิเกรตของระยะความกว้างของคอยล์ (coil span) ฉะนั้นผลรวมของฟลักซ์แม่เหล็กลัพธ์จึงมีค่าคงเดิม แต่มุมของการ saturation ใน pole shoes จะต่างออกไปจากเดิมเล็กน้อย ฉะนั้นสุดท้ายกรณีนี้จะเป็นการลดฟลักซ์แม่เหล็กลัพธ์ที่ตัดผ่านตัวนำในส่วนของอาร์มาเจอร์เล็กน้อย

ส่วนในรูป 2-4(ข) นั้นจะเป็นแบบกระแสในตัวนำอาร์มาเจอร์มีมุมตามหลังแรงดันไฟฟ้าที่ขั้ว (V_c) อยู่ 90 องศา (zero power factor lagging current) ฉะนั้นกระแสที่ไหลในตัวนำของอาร์มาเจอร์มีค่าสูงสุด เมื่อขั้วแม่เหล็กใต้ อยู่ระหว่างกึ่งกลางของแกนคอยล์ (coil axis) จากรูปเราจะเห็นว่าส่วนของฟลักซ์แม่เหล็กที่เกิดจากตัวนำของอาร์มาเจอร์ มีทิศทางตรงกันข้ามกับฟลักซ์แม่เหล็กของขั้วแม่เหล็กใต้ จึงเป็นการลดฟลักซ์แม่เหล็กลัพธ์ในช่องอากาศ ลง เรียกว่า demagnetize

สำหรับกรณีที่กระแสในตัวนำอาร์มาเจอร์มีมุมนำหน้าแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วอยู่ 90 องศา (zero power factor leading current) จะมีกระแสในตัวนำของอาร์มาเจอร์ มีค่าสูงสุดเมื่อขั้วแม่เหล็กเหนืออยู่ระหว่างกึ่งกลางของแกนคอยล์ ดังรูปที่ 2-4(ค) จะเห็นว่าฟลักซ์แม่เหล็กที่เกิดจากส่วนอาร์มาเจอร์จะมีทิศเสริมกับฟลักซ์แม่เหล็กของขั้วแม่เหล็กเหนือ ทำให้ฟลักซ์แม่เหล็กลัพธ์ในช่องอากาศ เพิ่มขึ้น เราเรียกว่าการ magnetize

ผลของปรากฏการณ์อาร์มาเจอร์รีแอกชันจะทำให้มีการเปลี่ยนแปลงขนาดและการกระจายของฟลักซ์แม่เหล็กที่สร้างจากขดลวดสนามแม่เหล็กกระตุ้น ส่งผลให้ฟลักซ์แม่เหล็กลัพธ์ที่ช่องอากาศมีการเปลี่ยนแปลงไป อาจจะทำให้แรงดันภายในที่สร้างขึ้นมีค่ามากขึ้นหรือต่ำลง

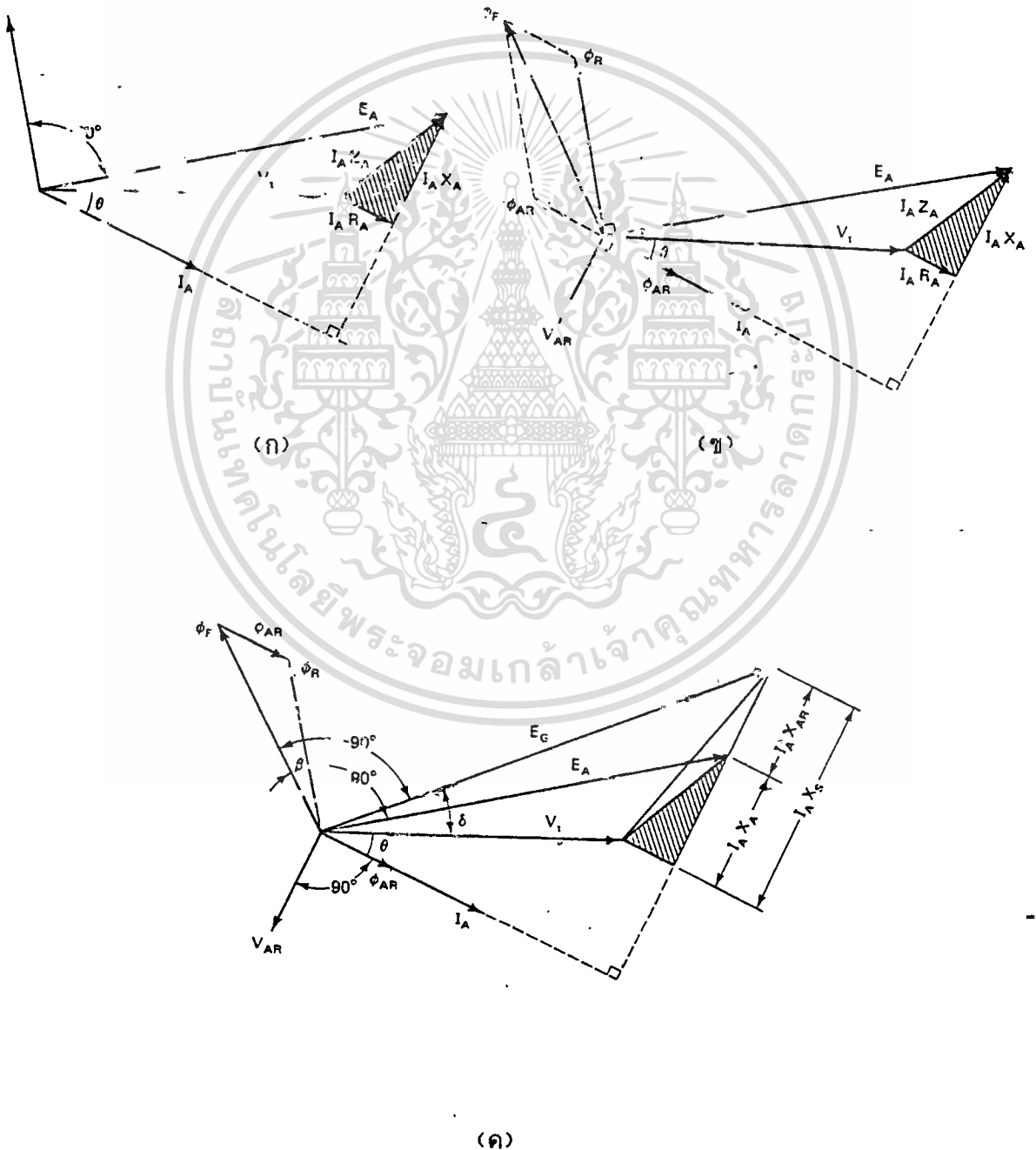
ดังนั้นจะเห็นได้ว่าเมื่อ เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ จ่ายไฟฟ้าออกไปนั้นจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าที่ขั้ว อันเนื่องมาจากสาเหตุ 3 ประการคือ

1. แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมอยู่ที่ความต้านทานของตัวนำในส่วนของอาร์มาเจอร์
2. แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมอยู่ที่รีแอกแตนซ์ที่รั้วซึมของตัวนำในส่วนของอาร์มาเจอร์
3. แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมอยู่ที่รีแอกแตนซ์ (reactance) อันเนื่องมาจากปฏิกิริยาของอาร์มาเจอร์ เมื่อต้องจ่ายกระแสออกไปยังวงจรภายนอก



การเขียนเฟสเซอร์แสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรต่าง (General phasor diagram)

เมื่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับมีการโอนภาระทางไฟฟ้า ส่วนของอาร์มาเจอร์จะมีกระแสไหล ก่อให้เกิดแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมขึ้นในส่วนของความต้านทานของตัวนำ, รีแอกแตนซ์รั่วซึม และผลของปรากฏการณ์ของอาร์มาเจอร์รีแอกชัน ในส่วนของอาร์มาเจอร์ เราสมมุติว่ากระแสที่ไหลในส่วนอาร์มาเจอร์มีมุมตามหลังแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วไปเป็นมุม θ (load angle) ถ้าเราให้แรงดันไฟฟ้าที่ขั้วเป็นตัวอ้างอิง (reference) ในการเขียนเฟสเซอร์ จะสามารถเขียนได้ดังรูปที่ 2-5



(ค)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูใช้งานเพื่อจุดประสงค์ทางการศึกษา ไม่อนุญาตให้เอามาใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 2-5 การเขียนเฟสเซอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มี PF เป็น lagging, lagging
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2-5(ก) นั้น E_u เป็นแรงดันไฟฟ้าที่เกิดจากผลของฟลักซ์แม่เหล็กหลัก (ϕ_m) และมีมุมตามหลังอยู่ 90 องศา ผลต่างทางเวกเตอร์ของ E_u กับ V_u คือค่าอิมพีแดนซ์ตกคร่อม (impedance drop) มีค่า $I_a * Z_u$ ภายในส่วนอาร์มาเจอร์ ซึ่งประกอบด้วยผลของแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมความต้านทานในตัวนำในส่วนของอาร์มาเจอร์ $I_a * R_u$ ในทิศทางเดียวกับกระแสที่ไหลในตัวนำของอาร์มาเจอร์ (inphase) และแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมเนื่องจากรีแอกแตนซ์รั่วซึมในส่วนของอาร์มาเจอร์ $I_a * X_u$ มีมุมนำกระแสในตัวนำของอาร์มาเจอร์อยู่ 90 องศา ถ้าเรานำผลของอาร์มาเจอร์รีแอกแตนซ์จะทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าขึ้นมา (V_{ur}) ซึ่งมีมุมตามหลังฟลักซ์แม่เหล็กที่สร้างจากส่วนอาร์มาเจอร์ (ϕ_{ur}) อยู่ 90 องศา ดังรูปที่ 2-5(ข)

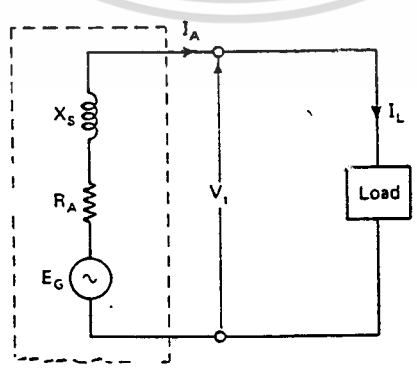
สุดท้ายเราจะได้เฟสเซอร์โดยทั่วไปดังรูป 2-5(ค) ค่าแรงดันไฟฟ้าภายในที่สร้างขึ้น (E_g) เกิดขึ้นในสภาวะไม่มีภาระทางไฟฟ้า และจากรูป 2-5(ค) จะเห็นว่า $V_{ur} = I_a * X_{ur}$ เมื่อ X_{ur} คือค่ารีแอกแตนซ์ที่สร้างจากปรากฏการณ์อาร์มาเจอร์รีแอกแตนซ์นั้นมีทิศทางเดียวกันกับ $I_a * X_u$ และผลรวมของแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมของ V_{ur} และ $I_a * X_u$ เรียกว่า reactance drop ที่สร้างขึ้นในส่วนอาร์มาเจอร์ นั่นคือ

$$I_a (X_u * X_{ur}) = I_a * X_g$$

เมื่อ $X_g = X_u + X_{ur}$

ซึ่งค่าแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมนี้เราเรียกว่า Synchronous reactance voltage drop และ X_g นี้เรียกว่า Synchronous reactance ส่วนมุม ซึ่งอยู่ระหว่าง E_g และ V_u นี้เรียกว่า power angle หรือ torque angle ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ ส่วนมุมคือมุมที่เลื่อนไปของฟลักซ์แม่เหล็กหลักที่ช่องอากาศเมื่อเทียบกับตำแหน่งไม่มีภาระทางไฟฟ้า

เราสามารถเขียนวงจรสมมูลย์ (equivalent circuit) ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับได้ดังรูปที่ 2-6.



รูปที่ 2-6 แสดงวงจรสมมูลย์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ

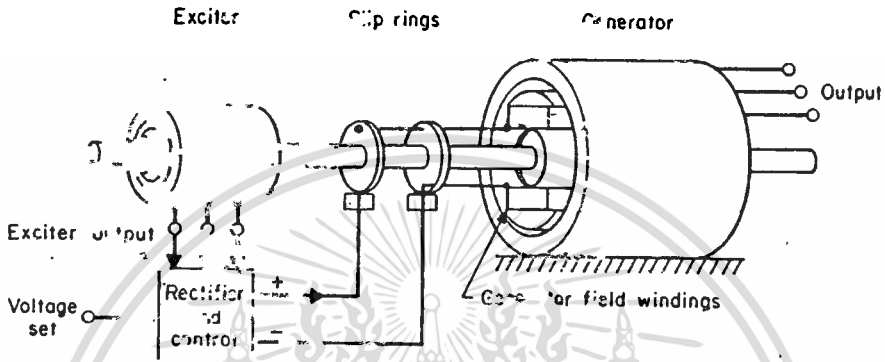
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปแบบการป้อนกระแสไฟฟ้าตรงเข้าสู่ขดลวดสนามแม่เหล็กกระตุ้น(exciters)

ตัวอิเล็กทรอนิกส์เตอร์ (exciters) เป็นตัวป้อนกระแสไฟฟ้าตรงให้แก่ส่วนขดลวดสนามแม่เหล็กกระตุ้นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับเพื่อสร้างสนามแม่เหล็กหมุน ใช้ในการควบคุมขนาดแรงดันไฟฟ้าที่สร้างขึ้นในส่วนอาร์มาเจอร์ เราแบ่งรูปแบบของอิเล็กทรอนิกส์เตอร์อย่างคร่าวๆได้คือ

- 1. แบบตัวอิเล็กทรอนิกส์เตอร์ธรรมดา (Slip ring rotating exciter) แสดงดังรูปที่

๘-7(ก) ล่าง

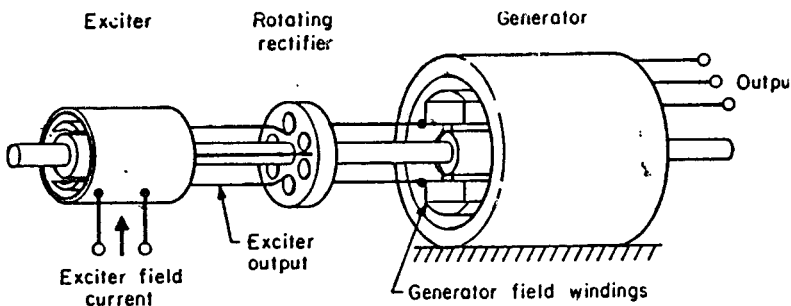


รูปที่ 2-7(ก) แสดงการอิเล็กทรอนิกส์เตอร์แบบธรรมดา

จากรูปมีการป้อนกระแสไฟฟ้าตรงเข้าขดลวดสนามแม่เหล็กกระตุ้นโดยผ่านทางแปรงถ่านที่สัมผัสอยู่กับวงแหวนลื่น(Slip ring) โดยใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับขนาดเล็กเป็นแหล่งกำลังไฟฟ้า(source power) ซึ่งมีส่วนของสนามแม่เหล็กกระตุ้นเป็นขั้วแม่เหล็กถาวร แล้วนำเอาแรงดันไฟฟ้าทางขาออกมาทำการแปลงให้กระแสเป็นไฟฟ้าตรงโดยใช้วงจรเรกติฟาย์(rectify) และมีวงจรควบคุมแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายออกมาให้มีค่าคงที่ (Voltage regulation) จากนั้นนำขั้วป้อนเข้าสู่แปรงถ่านต่อไป

- 2. แบบไม่มีการใช้แปรงถ่านและวงแหวนลื่น(rotating-rectifier brushless exciter) แสดงได้ดังรูปที่

2-7(ข)

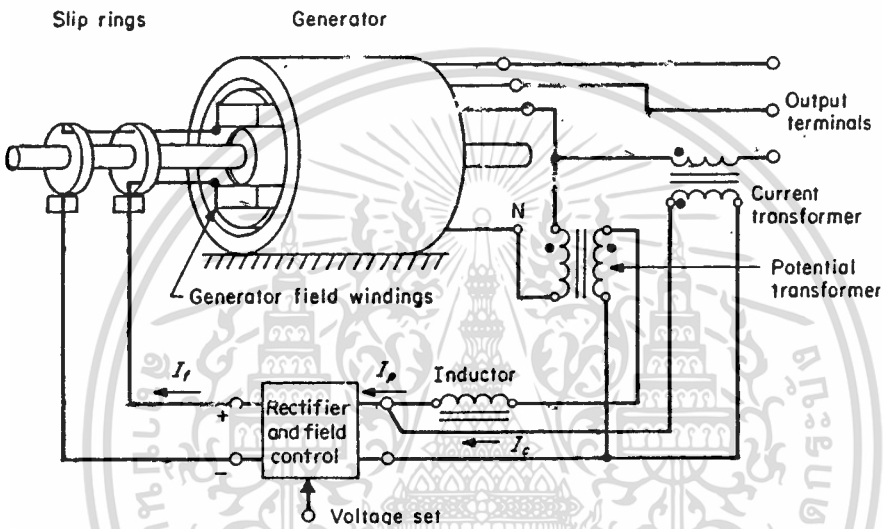


รูปที่ 2-7 (ข) แสดงการอิเล็กทรอนิกส์เตอร์แบบไม่มีวงแหวนลื่นและแปรงถ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปมีการใช้ตัวอิเล็กทรอนิกส์ที่เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับขนาดเล็ก โดยมีส่วนของขดลวดสนามแม่เหล็กอยู่กับที่ และส่วนของอาร์มาเจอร์หมุนไป แรงดันไฟฟ้าที่ออกมาจากส่วนอาร์มาเจอร์จะถูกเรกติไฟร์ด้วยไดโอดที่ติดตั้งอยู่บนส่วนอาร์มาเจอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับขนาดเล็กผลคือจะได้แรงดันไฟฟ้าตรงสำหรับป้อนให้แก่ขดลวดสนามแม่เหล็กกระตุ้นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับตัวเมเนต์ และมีวงจรควบคุมแรงดันเพื่อควบคุมให้แรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับตัวเมเนต์มีค่าคงที่

3. แบบอิเล็กทรอนิกส์ด้วยตนเอง (static exciter) แสดงได้ดังรูป 2-7(ค)



รูปที่ 2-7 (ค) แสดงการอิเล็กทรอนิกส์ด้วยตัวมันเอง

จากรูปส่วนของกระแสไฟฟ้าตรงที่ป้อนให้แก่ขดลวดสนามแม่เหล็กกระตุ้นได้มาจากส่วนแรงดันขวออกของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับของมันเอง โดยให้หม้อแปลงกระแส (current transformer) ป้อนกระแส I_c กลับมาและมีหม้อแปลงแรงดัน (potential transformer) ป้อนกระแส I_p กลับมาเข้าสู่ส่วนสนามแม่เหล็กกระตุ้นดังรูป แล้วมีอินเตอร์เฟสต่อร่วมด้วยเพื่อให้กระแสทั้ง 2 มีการทำมุมซึ่งกันและกัน (phase shift) เกิดขึ้น โดยออกแบบให้มีการโอเวอร์เอ็กซิตเกิน (overexcite) เล็กน้อยแล้วมีระบบควบคุมกระแสอิเล็กทรอนิกส์ที่เกินนี้อีกครั้ง เพื่อให้แรงดันไฟฟ้าที่ขั้วมีค่าคงที่ ข้อดีของการโอเวอร์เอ็กซิตเกินคือสภาวะที่มีการเพิ่มภาระทางไฟฟ้าอย่างทันทีทันใด เช่น การเริ่มเดินเครื่องมอเตอร์ ระบบจะมีการปรับตัวอย่างรวดเร็วเพื่อให้แรงดันที่ขั้วมีค่าเข้าใกล้ค่าคงที่

ทฤษฎีของสเตปป์มอเตอรื

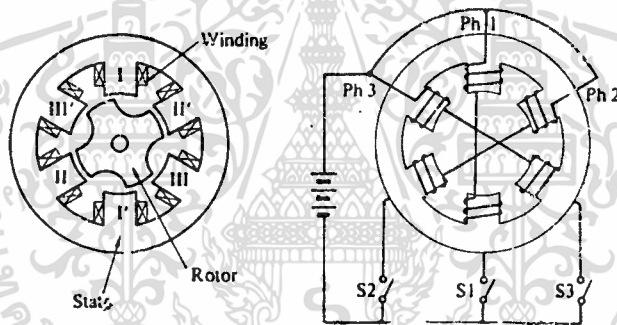
สเตปป์มอเตอรื เป็นดีซีมอเตอรืชนิดหนึ่ง ที่ไม่ต้องอาศัยแปรงถ่านในการทำงานของสเตปป์มอเตอรื เราจะใช้วงจรซีควเอนเชียล(Sequencial) เป็นตัวกำเนิดสัญญาณขับผ่านส่วน power driver เข้าสู่สเตปป์มอเตอรื ซึ่งเป็นการทำงานในลักษณะลูปเปิด(open loop)

ถ้าเราแบ่งสเตปป์มอเตอรืออกตามลักษณะตัวหมุน จะแบ่งได้เป็น

1. ACTIVE เป็นสเตปป์มอเตอรื ซึ่งยังแบ่งออกได้เป็นแบบ แม่เหล็กถาวร (Permanent magnetic หรือ PM) กับ DC ENERGIZE
2. REACTIVE VARIABLE หรือ VR
3. HYBRID เป็นแบบรวมทั้ง PM และ VR เข้าด้วยกัน

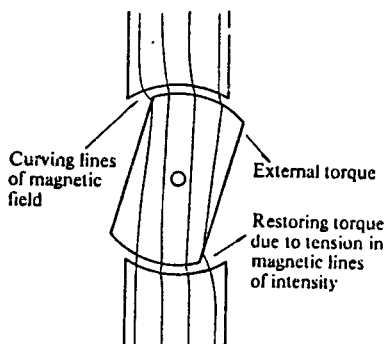
โครงสร้างและการทำงานของสเตปป์มอเตอรื

ภายในสเตปป์มอเตอรืประกอบด้วย สเตเตอร์ , ตัวหมุน , และ winding ประกอบกันดังรูปที่ 2-8 (สมมติเป็นมอเตอรืแบบ 3 เฟส)



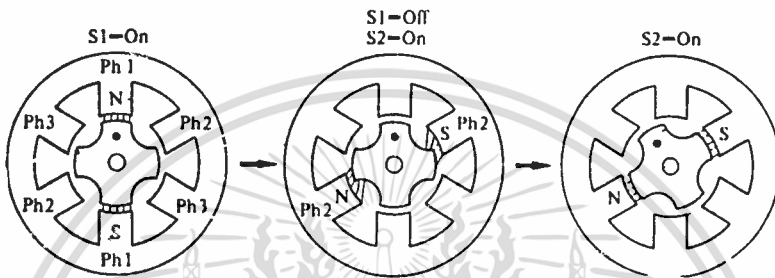
รูปที่ 2-8 แสดง CROSS SECTION ของสเตปป์มอเตอรืแบบ 3 เฟส และ WINDING

เนื่องจากสเตปป์มอเตอรืแบบ VR นี้ ตัวหมุนเป็นเหล็กอ่อน (SOFT IRON) ซึ่งมีความสมบัติคือ จะพยายามปรับตัวเองให้อยู่ในแนวที่เส้นแรงแม่เหล็กผ่านมากที่สุด ดังเช่นในรูปที่ 2-9 เมื่อเกิดเส้นแรงแม่เหล็กขึ้นที่สเตเตอร์ตัดผ่านตัวหมุน โดยตัวหมุนก็จะพยายามปรับตัวเองให้เส้นแรงแม่เหล็กตัดผ่านตัวหมุนมากที่สุด โดยตัวหมุนจะหมุนตัวเองและจะทำให้เกิดมุมของการหมุนขึ้น ทั้งนี้มอเตอรืจะหยุดหมุนเมื่อ เส้นแรงแม่เหล็กตัวผ่านตัวมันมากที่สุด

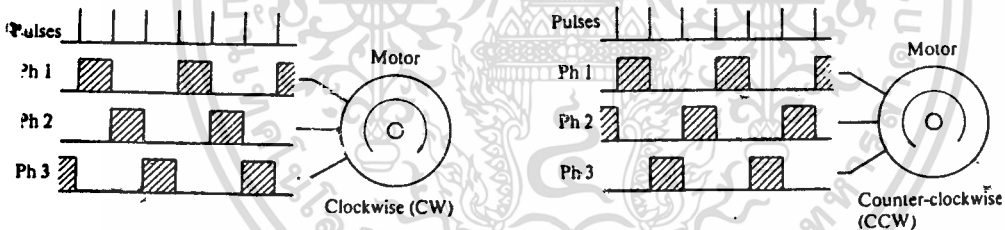


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษามาก่อน ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 2-9 แสดงเส้นแรงแม่เหล็กที่ทำให้เกิดแรงบิด (torque)
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำให้สเตปป์มอเตอรืหมุนได้โดยอาศัยหลักการนี้ แต่ต้องให้เกิดเส้นแรงแม่เหล็กเกิดขึ้นถัดไปเรื่อยๆ ังรูปที่ 2-10, 2-11 แสดงถึงการหมุนของมอเตอรื โดยทิศทางขึ้นอยู่กับวงจรขับ (drive circuit) ขดลวดว่าจะให้ไปทางไหน และเมื่อต้องการให้มอเตอรืหยุดก็หยุดการขับตัวหมุน มอเตอรืก็จะหยุด ณ ตำแหน่งสุดท้ายที่มีการขับที่สเตเตอรื ดังนั้นเราจะสามารถรู้ตำแหน่งของมอเตอรืได้ โดยการนับจำนวนพัลส์ (Pulse) ที่ป้อนให้มอเตอรืและใช้สูตร

$$\text{มุมที่เปลี่ยนไป} = \text{STEP ANGLE} * \text{จำนวนพัลส์}$$


รูปที่ 2-10 แสดงการเคลื่อนที่ทีละสเตป เมื่อ EXCITATION เฟส 1 และ เฟส 2

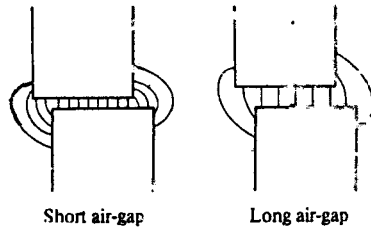


รูปที่ 2-11 แสดงการ EXCITATION แบบเดินหน้าและถอยหลัง

โครงสร้างพื้นฐานของสเตปป์มอเตอรืแบบ VR

ช่องอากาศระหว่างซีสเตเตอรื ซึ่งจะแปรผกผันกับแรงบิดและความแน่นอนของตำแหน่ง ดังนั้นถ้าต้องการให้สเตปป์มอเตอรืมีแรงบิดสูง และตำแหน่งแน่นอน ก็จะต้องมีช่องอากาศช่องแคบๆ

จากรูปที่ 2-12 เป็นการเปรียบเทียบระหว่างสเตปป์มอเตอรืที่มีช่องอากาศกว้างกับช่องอากาศแคบ จะเห็นได้ว่ามอเตอรืที่มีช่องอากาศแคบ จะมีความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กสูงกว่า ดังนั้นแรงบิดจึงมากกว่า และความหนาแน่นของตำแหน่งจึงสูงกว่ามอเตอรืที่มีช่องอากาศแคบ



รูปที่ 2-12 เปรียบเทียบของเส้นแรงแม่เหล็กระหว่างช่องอากาศมากกับช่องอากาศแคบ การกระตุ้นเฟสขดลวดสเตเตอร์

ดังที่รู้กันแล้วว่าในการทำให้สเตปมอเตอร์หมุนได้นั้น จะต้องทำการกระตุ้นเฟสของขดลวดสเตเตอร์ ให้เรียงกันไปเรื่อยๆทางใดทางหนึ่ง ถ้าต้องการให้หมุนกลับก็กระตุ้นเฟสในทิศทางกลับกัน ซึ่งมีการกระตุ้นเฟสสเตเตอร์อยู่ 3 แบบ คือ

1. กระตุ้นเฟสเดียวเรียกว่า SINGLE PHASE EXCITATION
2. กระตุ้นสองเฟสเรียกว่าแบบ TWO PHASE EXCITATION
3. กระตุ้นโดยใช้แบบ 1 และ 2 สลับกันเรียกว่าแบบ ONE-TWO PHASE EXCITATION หรือแบบ HALF STEP OPERATION

	R	1	2	3	4	5	6	7	8
Phase 1									
Phase 2									
Phase 3									
Phase 4									
Pulses									

Note: Symbol 'R' indicates 'reset'.

รูปที่ 2-13 แสดงการ EXCITATION SEQUENCE แบบเฟสเดียว

Clock state	R	1	2	3	4	5	6	7	8
Phase 1									
Phase 2									
Phase 3									
Phase 4									

Clock state (A)	R	1	2	3	4	5				
Clock state (B)	R	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Phase 1		■	■			■	■	■		
Phase 2			■	■	■			■	■	■
Phase 3				■	■	■			■	■

รูปที่ 2-15 แสดงการ EXCITATION SEQUENCE แบบอาร์ฟเฟส

การขับสแตปปีงแบบกระตุ้นสองเฟส ในการกระตุ้นแต่ละครั้งนั้นจะกระตุ้นทีเดียวก่อนกันทั้ง 2 เฟสแต่ความเร็วจะเท่ากับแบบการกระตุ้นเฟสเดียว ส่วนการขับแบบครึ่งเฟสความเร็วจะลดลงครึ่งหนึ่ง เมื่อป้อนความถี่ของพัลส์เร็วเท่ากัน

จากหลักการทำงานของสแตปปีงมอเตอร์ จึงจะเห็นข้อได้เปรียบของสแตปปีงกับมอเตอร์กระแสตรง คือ สแตปปีงเราจะสามารถรู้ตำแหน่งของมอเตอร์ได้ตลอดเวลาอย่างแน่นอนแม่นยำ ดังนั้นสำหรับงานที่ต้องการควบคุมตำแหน่งที่แน่นอนจึงใช้สแตปปีงมอเตอร์ทำงาน เช่น พวкмอเตอร์ที่ใช้ใน PRINTER PLOTTER ROBOT ในโรงงานอุตสาหกรรมที่ทำงานเกี่ยวกับตำแหน่งไม่ต้องอาศัยแรงบิดมาก

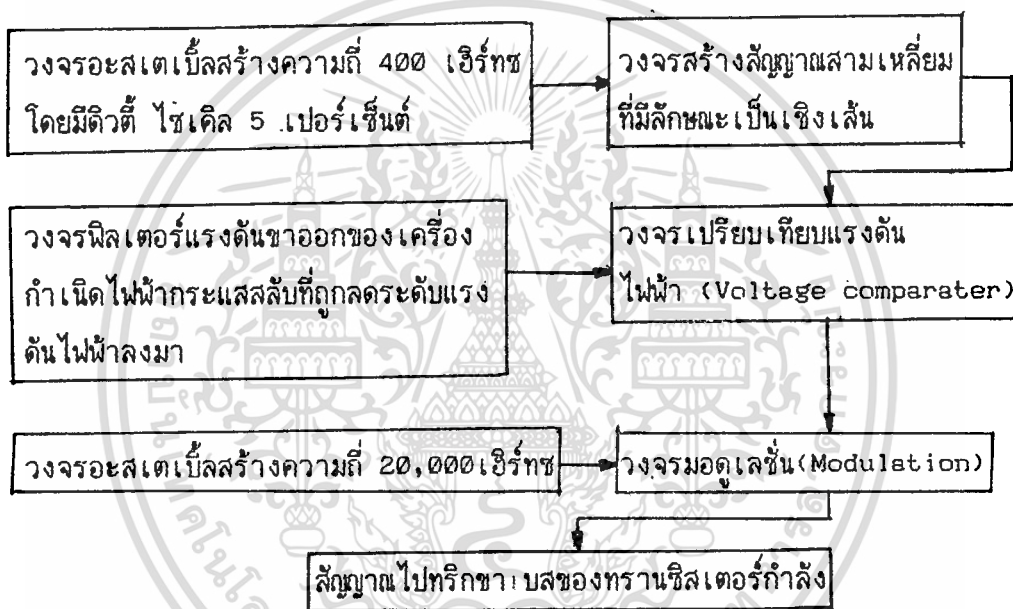
บทที่ 3

การควบคุมแรงดันไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับให้คงที่

ในการควบคุมแรงดันขาออกของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับนั้น ก่อนอื่นเราจะต้องทราบคุณสมบัติของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับที่ใช้ และลักษณะของภาระทางไฟฟ้าที่นำมาใช้งานก่อน เพื่อให้การออกแบบควบคุมได้อย่างถูกต้องและเหมาะสมกับภาระทางไฟฟ้าชนิดนั้น

ในการควบคุมนี้จะต้องมีการตั้งสัญญาณจากแรงดันไฟฟ้าขาออกของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามานำไว้ในวงจรควบคุมของเรา

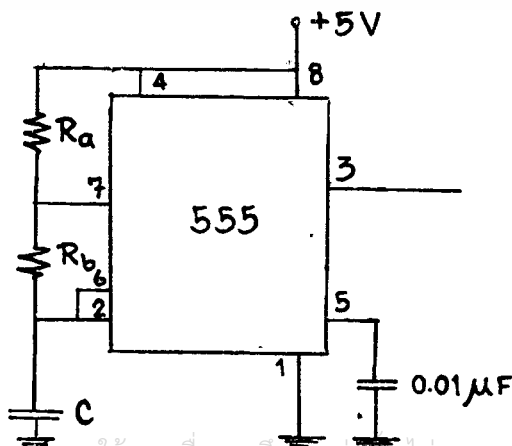
ซึ่งเราเขียนในรูปบล็อกไดอะแกรม (block diagram) ได้คือ



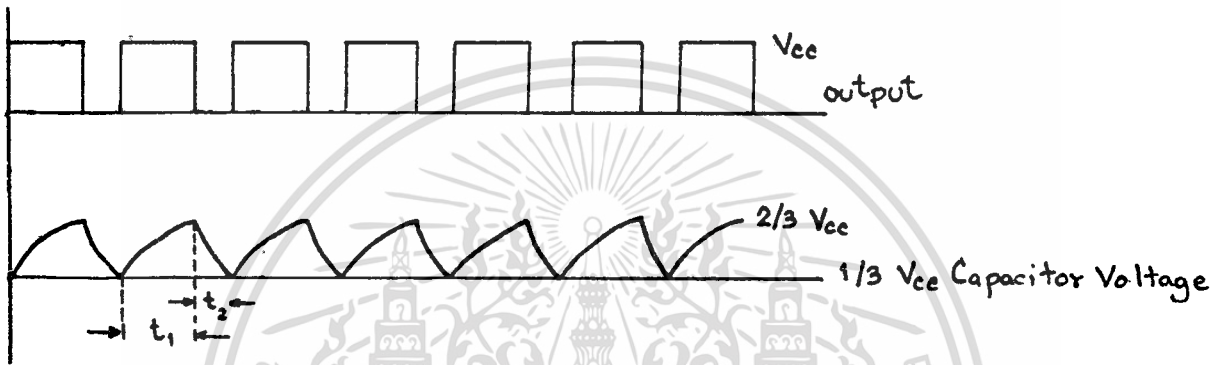
ซึ่งเราอธิบายบล็อกไดอะแกรมแต่ละส่วนได้ดังนี้

3.1 วงจรสร้างสัญญาณความถี่ 400 เฮิรตซ์ ที่มีดีวีที ไซเคิล 5 เพอร์เซ็นต์

ซึ่งเราสามารถวิเคราะห์ห้วงจรอะอสเตเบิลได้ดังรูปที่ 3-1



จากรูปตัวต้านทาน R_u และ R_b ทำหน้าที่เป็น timing transistor เมื่อวงจรได้รับแรงดันไบอัสจากแหล่งจ่ายกำลังตัวเก็บประจุ C ที่ทำหน้าที่เป็น timing capacitance คาปาซิเตอร์แทนที่จะสะสมประจุผ่านตัวต้านทาน R_u และ R_b จนกระทั่งแรงดันตกคร่อมมีค่าเป็น $2/3 V_{cc}$ จะทำให้วงจร Upper Capacitance กระตุ้นเฟลিপฟล็อปซึ่งอยู่ภายในตัว IC และมีผลให้ตัวเก็บประจุ C เริ่มคายประจุผ่านตัวความต้านทาน R_u แรงดันที่ตกคร่อมตัว C ก็จะลดลงและมีค่าเหลือเป็น $1/3 V_{cc}$ แล้ววงจร lower comparator ใน IC ก็จะถูกกระตุ้น แล้วเริ่มทำงานวงจรใหม่อีกครั้ง ดังรูปที่ 3-2



รูปที่ 3-2 แสดงสัญญาณที่ขาออกของอะอสเตเบิลและสัญญาณการชาร์จและดิชาร์จของคาปาซิเตอร์ ตัวเก็บประจุ C จะทำการเก็บประจุและคายประจุสลับกันไปอย่างสม่ำเสมอ ทำให้แรงดันตกคร่อม C มีค่าระหว่าง $2/3 V_{cc}$ และ $1/3 V_{cc}$ ตามลำดับ แรงดันไฟฟ้าที่เอาต์พุตของวงจรมีค่าสูงในขณะที่ตัว C ทำการเก็บประจุจึงทำให้ค่า t_1 คือช่วงเวลาที่ เอาต์พุต มีแรงดันไฟฟ้าสูง ดังนั้น

$$t_1 = -(R_u + R_b) * C \ln \left\{ \frac{(V_{cc} - (2/3 * V_{cc}))}{(V_{cc} - (1/3 * V_{cc}))} \right\}$$

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

และแรงดันไฟฟ้าที่เอาต์พุต จะมีค่าต่ำในขณะที่ตัว C ทำการคายประจุ ซึ่งทำให้ t_2 คือช่วงเวลาที่เอาต์พุตมีแรงดันไฟฟ้าต่ำ ดังนั้น

$$t_2 = 0.693 * R_u * C$$

ช่วงเวลารวมสำหรับการสะสมและการคายประจุคือ

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

ซึ่งค่า T คือช่วงเวลาความกว้างของพัลส์หนึ่งลูกคลื่น

ดังนั้นความถี่ของพัลส์ที่เอาต์พุต คือ

$$f = 1/T = 1.443 / (R_u + 2R_b) * C \text{ เฮิรตซ์}$$

การหาค่าดีวีดีไซเคิล คืออัตราส่วนของช่วงเวลาที่เอาต์พุต (output) มี

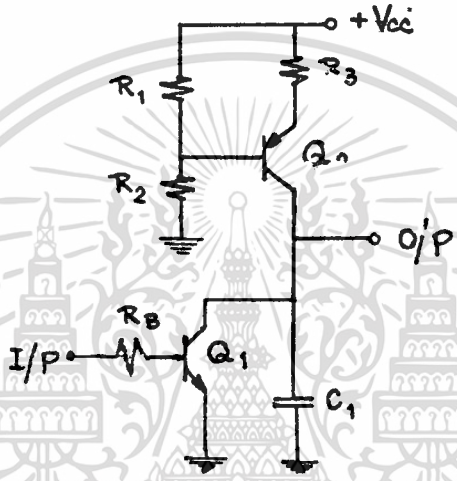
แรงดันไฟฟ้าสูงกับช่วงเวลาที่หมดของพัลส์หนึ่งลูกคลื่น ดังนั้นดีวีดีไซเคิลมีค่า

$$D = t_1 / T = \left\{ \frac{(R_u + R_b)}{R_u + 2R_b} \right\}$$

เมื่อ D คือตัวดีไซเคิล

ซึ่งจะเห็นว่าค่าความต้านทานของ R_u และ R_o จะเป็นตัวกำหนดค่าตัวดีไซเคิล ฉะนั้นถ้าออกแบบให้ $R_o \gg R_u$ จะได้ค่าตัวดีไซเคิลใกล้เคียง 50 เปอร์เซ็นต์ แต่ถ้า R_u น้อยเกินไปผลคือ แรงดันไฟฟ้าขาออกของ IC555 มีค่าเท่ากับ V_{cc} ที่ป้อนให้

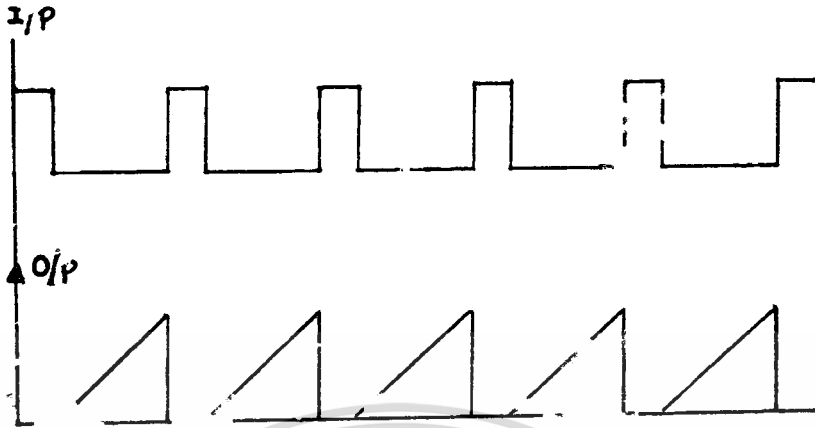
3.2 จากนั้นนำสัญญาณจากขาออกของอะอสเตเบิลมาใช้ในการสร้างสัญญาณรูปสามเหลี่ยมที่มีลักษณะเป็นเชิงเส้น ในที่นี้เราใช้วงจร Constant current ramp generator ซึ่งมีวงจรดังรูปที่ 3-3



รูปที่ 3-3 แสดงวงจรสร้างสัญญาณสามเหลี่ยม

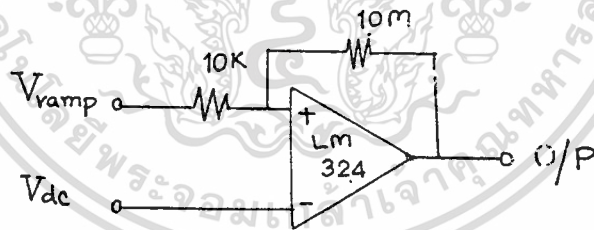
เราสามารถหาพารามิเตอร์ในวงจรได้คือ จากรูปโวลท์เตจดีไวเดอร์ (voltage divider) ระหว่าง R_1 และ R_2 จะให้ค่า V คงที่แก่ Q_2 ซึ่งเป็นแบบ PNP ฉะนั้นแรงดันที่คร่อม R_3 มีค่าคงที่ $= (V - V_{E2})$ ผลก็คือ I_{E2} มีค่าคงที่มีค่า $= (V - V_{E2}) / R_3$ เนื่องจาก I_C มีค่าประมาณ I_E ฉะนั้นได้ว่า I_C มีค่าคงที่ด้วยจึงทำให้ I_C ของ Q_2 มีค่าคงที่ผลคือ แรงดันไฟฟ้า (Capacitor voltage) ของ C_1 มีลักษณะเป็นเชิงเส้น การคำนวณหาค่า C_1 ได้จากสูตร $V_o = (I_C * t) / C_1$ ค่า V_o นั้นจะมีลักษณะเป็นเชิงเส้นตรงเท่ากับ V_{CE2} มีค่าเพียงพอที่ Q_2 ทำงานอยู่ในสภาวะแอกทีฟ (active region) ถ้า Q_2 ทำงานในสภาวะเซตดูเลท (saturate region) ค่า V_o จะถูกคลีบ (clip) การหาค่า V_o นั้นเนื่องจาก V_o มีค่าคงที่นั้นได้ $V_o = V_{cc} - V_{R3} - V_{CE2}$ (active = 3v

ลักษณะการทำงานเมื่อสัญญาณอินพุท (input) อยู่ที่ระดับศูนย์โวลท์แล้ว Q_1 จะไม่ทำงานผลคือ C_1 จะถูกชาร์จ (charge) จาก Q_2 ผ่าน C_1 ลงกราวด์ (ground) มีลักษณะเป็นเชิงเส้นเพิ่มขึ้นเรื่อยๆและเมื่อสัญญาณอินพุทอยู่มีสถานะสูง (high) จะทำให้ Q_1 ทำงานผลคือ C_1 จะดิชาร์จ (discharge) อย่างรวดเร็วและได้ $V_o = V_{CE(sat)}$ ของ Q_1 ซึ่งจะได้สัญญาณดังรูปที่ 3-4



รูปที่ 3-4 แสดงสัญญาณอินพุตของ Q_1 และสัญญาณสามเหลี่ยมที่ได้

3.3 สัญญาณสามเหลี่ยมนี้จะนำมาเข้าวงจรเปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้ากับสัญญาณอีกส่วนหนึ่งที่ได้จากการกรอง (filter) สัญญาณแรงดันไฟฟ้าขาออกของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ ดังรูปที่ 3-5



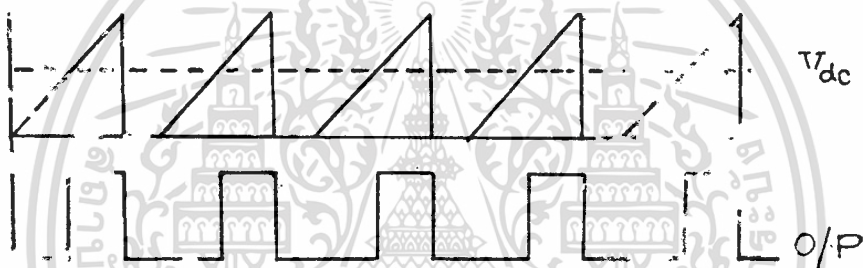
รูปที่ 3-5 แสดงวงจรเปรียบเทียบระดับแรงดันไฟฟ้า

โดยใช้ออปแอมป์ เบอร์ LM 324 ซึ่งส่วนแรงดันไฟฟ้าตรง (d.c. voltage) ที่ปรับค่าได้ตามแรงดันไฟฟ้าขาออกของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับนี้ มีวิธีการสร้างได้จากการนำเอาแรงดันไฟฟ้าขาออกมาลดระดับแรงดันไฟฟ้าลง (step down) ด้วยหม้อแปลงขนาด 220/12V จากนั้นนำมาผ่านบริดจ์เร็คติไฟเยอร์ (bridge rectify) ทำให้ได้ฟูลเวฟบริดจ์ (full wave bridge) แล้วนำมากรองทำให้ได้แรงดันไฟฟ้าตรง (d.c. voltage)

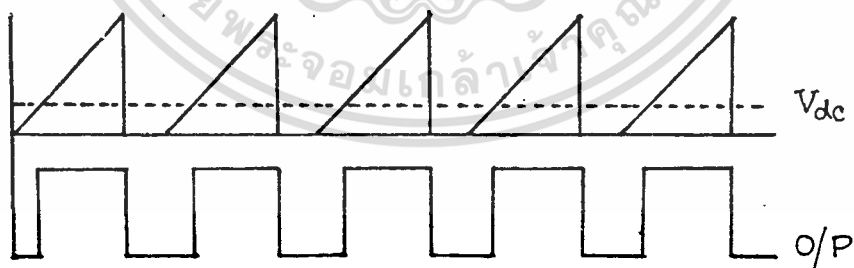
เรียบๆแต่ไม่ควรใช้คาร์ปาซีเตอร์ขนาดใหญ่เกินไปเพราะจะทำให้การตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าขาออกของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้ช้า โดยให้สัญญาณสามเหลี่ยมเข้าขาบวกของไม่ว่างกรณใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ออปแอมป์ และแรงดันไฟฟ้าตรงเข้าขาลบของออปแอมป์ ฉะนั้นเมื่อใดก็ตามที่สัญญาณสามเหลี่ยมมากกว่าแรงดันไฟฟ้าตรง ก็จะได้สัญญาณสี่เหลี่ยมทางขาออกของออปแอมป์ ซึ่งสามารถปรับความกว้างของพัลส์สี่เหลี่ยมได้ตามแรงดัน

ไฟฟ้าตรงที่เข้ามา กล่าวคือในสภาวะที่แรงดันไฟฟ้าขาออกสูงกว่า 220 โวลท์ก็จะได้แรงดันไฟฟ้าตรงเพิ่มขึ้นกว่าเดิม ผลคือสัญญาณสี่เหลี่ยมจะแคบลงทำให้ทรานซิสเตอร์กำลังมีมุมนำกระแสมากขึ้นจึงทำให้แรงดันเฉลี่ย (V_{mean}) ที่ป้อนเข้าขดลวดสนามแม่เหล็กกระตุ้นลดลงมีผลทำให้ฟลักซ์แม่เหล็กลดลงจึงทำให้แรงดันไฟฟ้าขาออกของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับลดลงมา แต่ถ้าแรงดันไฟฟ้าขาออกมีค่าน้อยกว่า 220 โวลท์แล้ว ค่าแรงดันไฟฟ้าตรงจะต่ำลง จึงได้สัญญาณสี่เหลี่ยมกว้างขึ้นผลคือ แรงดันเฉลี่ยที่ป้อนเข้าขดลวดสนามแม่เหล็กกระตุ้นมากขึ้น ทำให้แรงดันไฟฟ้าขาออกเพิ่มขึ้น ซึ่งสามารถเขียนสัญญาณได้ดังรูป 3-6



(ก) กรณีแรงดันไฟฟ้าขาออกมากกว่า 220 โวลท์

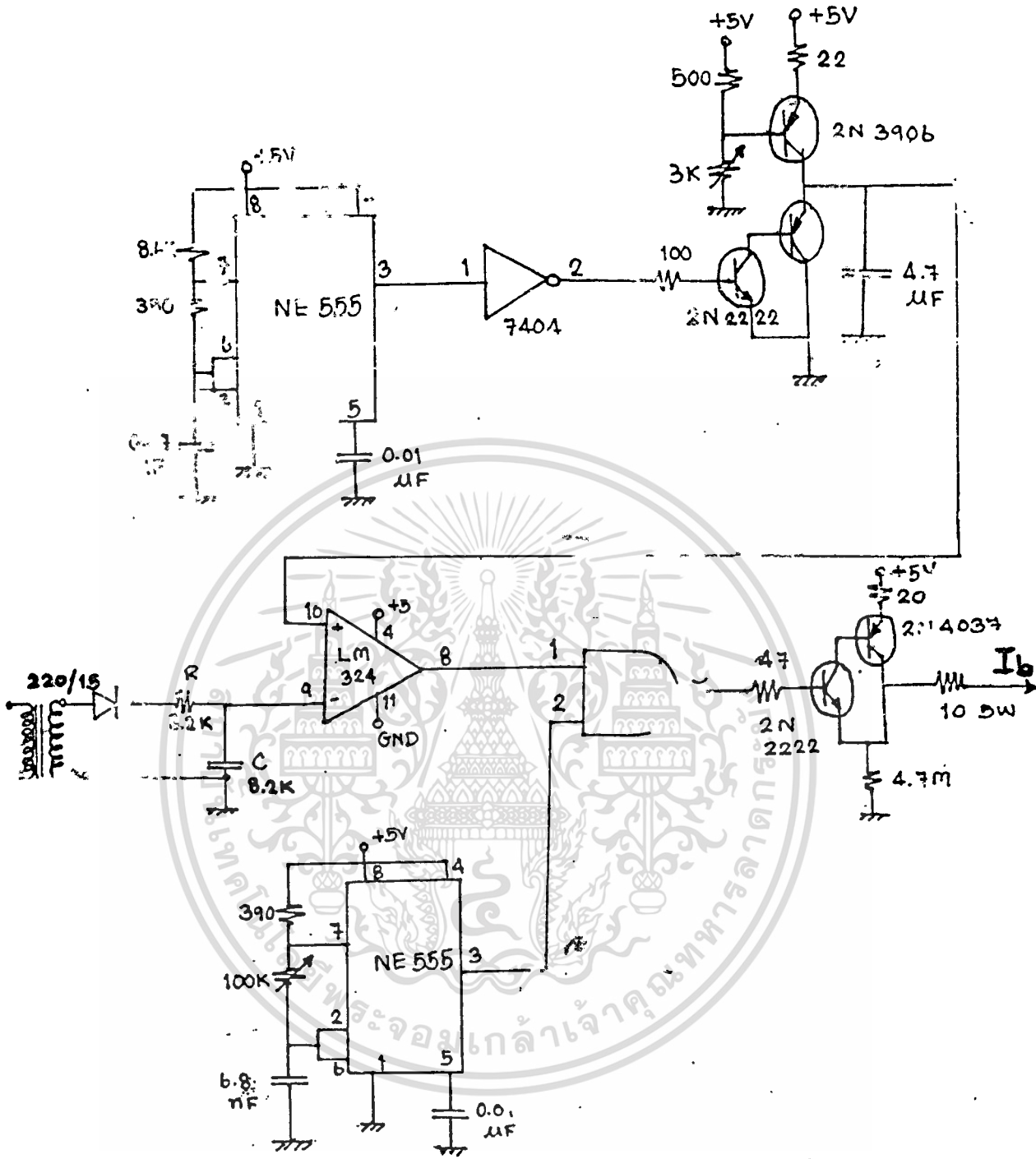


(ข) กรณีแรงดันไฟฟ้าขาออกต่ำกว่า 220 โวลท์

รูปที่ 3-6 แสดงสัญญาณสี่เหลี่ยมที่เปลี่ยนแปลงไปตามแรงดันไฟฟ้าตรงที่เข้ามา

3.4 จากพัลส์สี่เหลี่ยมนี้เราจะนำมอดูเลชันกับสัญญาณนาฬิกา (clock) ที่มีความถี่ 20 กิโลเฮิร์ตซ ซึ่งสร้างมาจากวงจรอะอสเตเบิล

3.5 ในส่วนของวงจรขยายกระแสเราใช้ทรานซิสเตอร์ ช่วยโดยให้ทำงานในสภาวะเขตทุเลท เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ซึ่งสามารถตรวจสอบได้จาก V_{ce} มีค่าต่ำมากและไม่มีความถี่ไฟฟ้าตรงยกกระดืบ ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

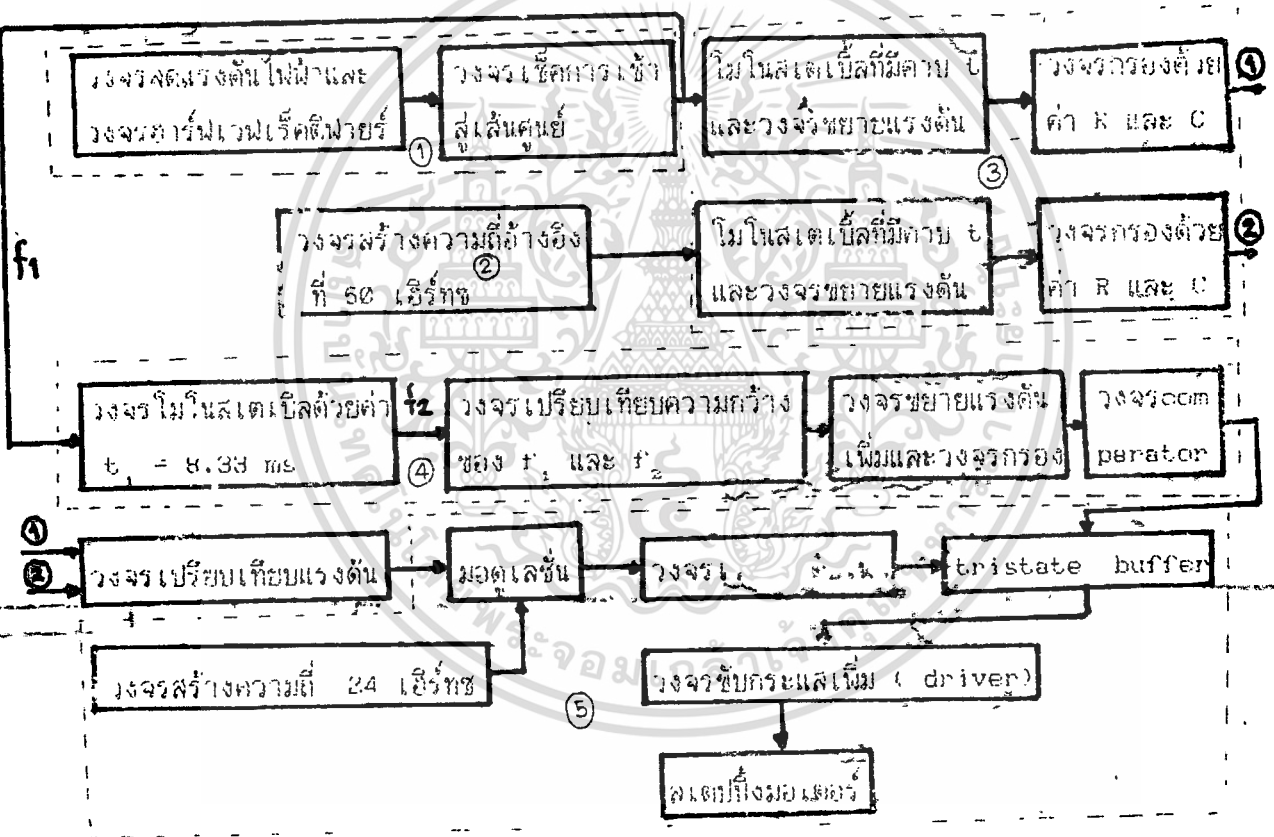


3-7 รูปแสดงวงจรรวมที่ใช้ควบคุมแรงดันให้คงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

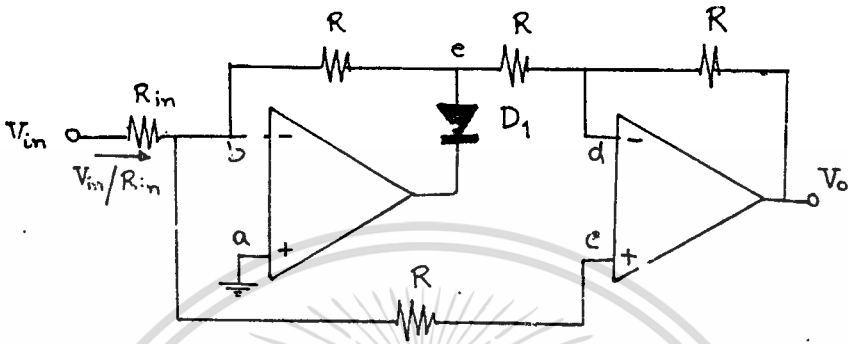
ในการควบคุมความถี่ของแรงดันไฟฟ้าขาออกที่ออกมาจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับให้คงที่ ณ ภาระทางไฟฟ้าต่างๆนั้น ทำได้โดยการควบคุมความเร็วของเครื่องยนต์ให้คงที่ โดยการให้สลิปเบี่ยงมอเตอร์มาทำการดึงคั้นเร่งหรือผ่อนคั้นเร่ง โดยเราจะต้องนำเอาแรงดันไฟฟ้าขาออกของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับมาทำการตรวจสอบความถี่ ณ ค่าภาระทางไฟฟ้าต่างๆ ซึ่งเราสามารถเขียนในรูปบล็อกไดอะแกรมได้คือ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากบล็อกไดอะแกรมเราแบ่งอธิบายเป็น 4 ส่วน ดังเส้นประในรูป คือ

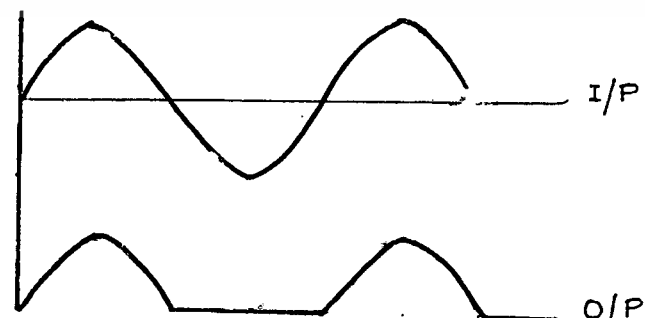
4.1 ในบล็อกไดอะแกรมที่ 1 แสดงส่วนของวงจรระดับแรงดันไฟฟ้าขาออกของ เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับลงมาเราใช้หม้อแปลงแบบ 220/15V และนำมาเข้าสู่วงจรอาร์ฟ เวย์เวร์คิตไฟฟ้ายี่ที่สร้างมาจากออปแอมป์และไดโอดตั้งวงจรด้านล่าง



รูปที่ 4-1 แสดงวงจรอาร์ฟเวย์เวร์คิตไฟฟ้ายี่

การอธิบายวงจรถ้า V_{in} เป็นบวก จะพบว่าจุด a ขึ้นต่อลงกว่า a' ผลคือทำให้จุด b เสมือนเป็นกราวด์ส่วนจุด c จะไม่มีกระแสไหลเพราะอิมพีแดนซ์ที่สูงมาก ผลคือจุด c จะมีแรงดันไฟฟ้ามีค่าเท่ากับศูนย์โวลต์ ฉะนั้นกระแส V_{in}/R_{in} จะไหลไปยังจุด e ทำให้ได้แรงดันไฟฟ้าที่จุด e มีค่า $= -(V_{in} * R) / R_{in}$ เนื่องจากที่จุด f มีแรงดันไฟฟ้าเท่ากับศูนย์โวลต์ผลคือจะมีกระแสไหลผ่านจุด f มีค่าเท่ากับ $[(-V_{in}/R_{in}) * R] / R$ เพราะฉะนั้นได้แรงดันไฟฟ้าที่ขาออกของ วงจรมีค่า $V_o = [(-V_{in}/R_{in}) * R] * [(1/R) * R]$

แสดงว่า V_o มีค่าเท่ากับ $(V_{in} * R) / R_{in}$ ซึ่งจะมีเฟสเดียวกัน ส่วนในช่วง V_{in} เป็นลบ ผลคือทำให้ D_1 ถูกรีเวิร์สไบอัส (reverse bias) จึงได้ $V_o =$ ออฟเซตโวลต์เตจ (offset voltage) ของออปแอมป์ เหตุที่ไม่ใช้ไดโอดต่อเป็นวงจรอาร์ฟเวย์เวร์คิตไฟฟ้ายี่โดยตรง เพราะลักษณะของสัญญาณที่ได้มีขนาดเล็กและคาบเวลาแคบกว่าลักษณะของไซน์ (sine) ที่เข้ามาทำให้การตรวจสอบความถี่ผิดพลาดได้ ลักษณะของสัญญาณ ณ จุดต่างๆแสดงได้ดังรูปที่ 4-2

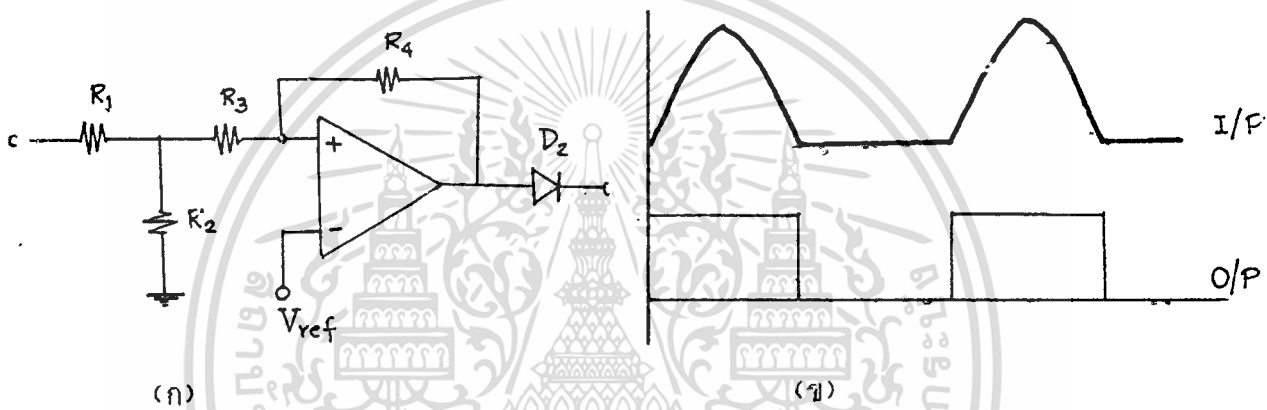


รูปที่ 4-2 แสดงสัญญาณอินพุทและเอาต์พุทที่ออกจากวงจรอาร์ฟเวย์เวร์คิตไฟฟ้ายี่

4.2 จากสัญญาณอาร์ฟเวย์เวร์คิตไฟฟ้ายี่จะนำเข้าสู่วงจรเช็กระดับเข้าสู่เส้นศูนย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า (Zero crossing detector) โดยการใช้ออปแอมป์เบอร์ LM324 โดยการใส่โวลต์เตจ ไม่ว่าการณ์ใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

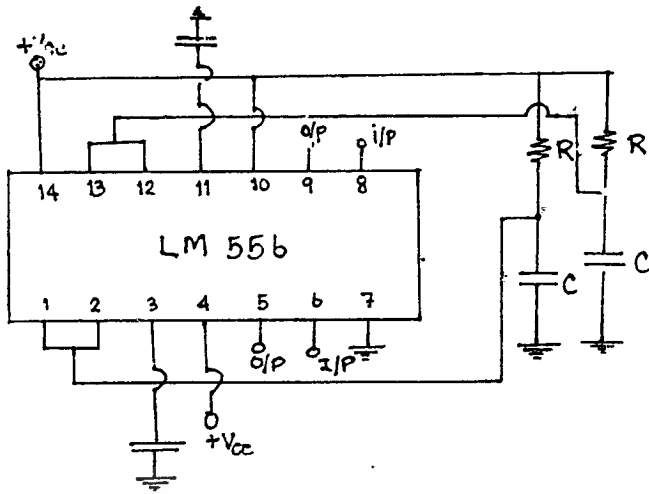
ดีไวต์เดอร์ลงมา โดยการใช้ความต้านทาน R_1 และ R_2 เพื่อให้ระดับแรงดันไฟฟ้าเหมาะสมกับการใช้งานของ LM324 แล้วนำป้อนเข้าขาบวกของออปแอมป์ ส่วนขาลบนั้นต่อกับแรงดันไฟฟ้าตรงที่ใช้เป็นแรงดันอ้างอิง โดยออกแบบให้มีค่าเข้าใกล้ศูนย์ ค่าของ R_3 และ R_4 ทำหน้าที่เป็นฮิสเตอร์ซิสของวงจร แก้ปัญหาในสภาวะที่สัญญาณอินพุตเข้ามามีสัญญาณรบกวนเข้ามาทำให้การเช็คจุดตัดเส้นศูนย์ของฮาร์ฟเวฟเร็คติฟายร์ผิดพลาดได้ ส่วนไดโอด D_2 จะทำหน้าที่ป้องกันแรงดันป้อนกลับ จะได้อวงจรและสัญญาณ ณ จุดต่างๆดังรูปที่ 4-3



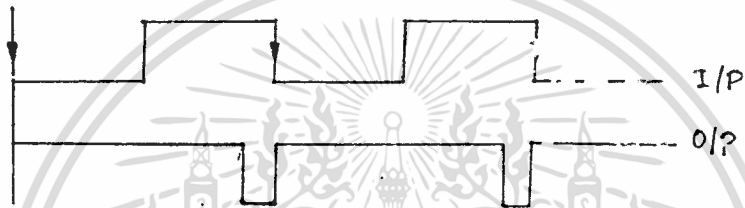
รูปที่ 4-3 (ก) แสดงวงจรที่ใช้ (ข) แสดงสัญญาณเอาต์พุตที่ออกมา เมื่อเทียบอินพุต

4.3 ในบล็อกไดอะแกรมที่ 2 จะใช้วงจรอะสแตเบิลสร้างสัญญาณนาฬิกาที่มีความถี่ 60,000 เฮิรท์ซ แล้วทำการหารลงด้วยวงจรหาร 10 โดยใช้ IC เบอร์ SN 7490 3 ครั้ง เพื่อให้ได้ความถี่ = 60 เฮิรท์ซ สำหรับใช้เป็นความถี่อ้างอิง เหตุที่ไม่สร้างความถี่ 60 เฮิรท์ซ เลยเพราะจะทำให้เกิดความผิดพลาด (error) ได้มากกว่าสร้างความถี่สูงๆแล้วหารลง

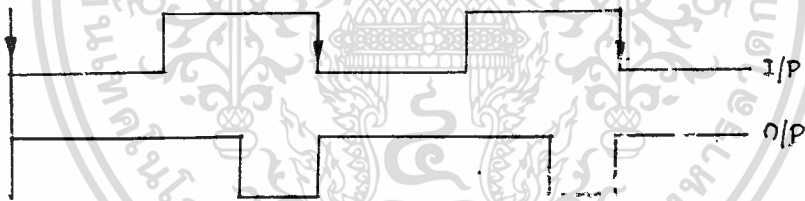
4.4 ในบล็อกไดอะแกรมที่ 3 จะนำเอาสัญญาณจากส่วนของวงจรเช็คระดับเข้าสู่เส้นศูนย์ที่นำผ่านบัฟเฟอร์ (Buffer) กับสัญญาณความถี่อ้างอิง 60 เฮิรท์ซ มาเป็นอินพุตของ IC เบอร์ LM 556 ซึ่งภายในตัวมันประกอบด้วยโมโนสเตเบิล (Monostable) 2 ตัว โดยออกแบบให้โมโนสเตเบิลทั้ง 2 มีคาบของเวลา (t_{on}) เท่ากัน ฉะนั้นเราจะได้สัญญาณที่ขาเอาต์พุตของโมโนสเตเบิลทั้ง 2 มีแอมพลิจูดเท่ากันและมีความกว้างของพัลส์ (pulse width) เท่ากัน แต่จำนวนของพัลส์ที่เกิดจะไม่เท่ากันขึ้นอยู่กับความถี่อินพุตที่เข้ามา กล่าวคือถ้ามีความถี่มากกว่า 60 เฮิรท์ซ ก็จะทำให้สร้างจำนวนพัลส์ได้มากกว่า ข้อจำกัดคือถ้าความถี่ที่เข้ามาสูงจนมีคาบเวลาน้อยกว่า t_{on} ของโมโนสเตเบิลจะทำให้การทำงานผิดพลาด ในการออกแบบค่า t_{on} เรากำหนดอยู่ในช่วง 58 เฮิรท์ซ ถึง 62 เฮิรท์ซ ซึ่งลักษณะของสัญญาณทางเอาต์พุตของโมโนสเตเบิล ทั้ง 2 จะเกิดได้ 3 กรณี ดังรูปที่ 4-4



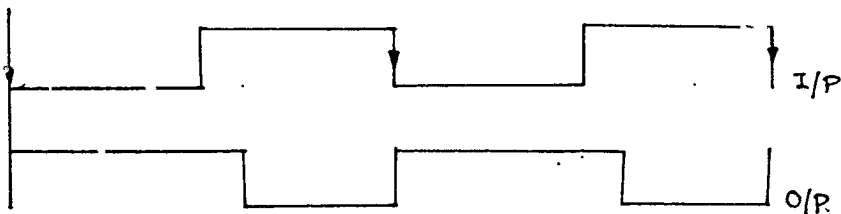
รูปที่ 4-4 แสดงวงจรที่ ๑



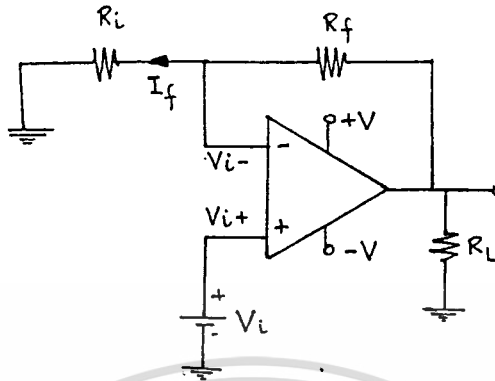
รูปที่ 4-4(ข) แสดงสัญญาณขาออกของโมโนสเตเบิล เมื่อความถี่เข้ามาถี่กว่า 60 เฮิรตซ์



รูปที่ 4-4(ค) แสดงสัญญาณขาออกเมื่อความถี่ที่เข้ามาเท่ากับ 60 เฮิรตซ์



1.5. นำสัญญาณเอาต์พุตทั้ง 2 ของโมโนสเตเบิลมาขยายเพิ่มแรงดัน โดยวงจรขยายแบบนอนอินเวอร์ตติ้ง (Non-inverting) โดยให้มีอัตราขยายเท่ากัน แสดงวงจรได้ดังรูปด้านล่าง



รูปที่ 4-5 แสดงวงจรรวมอินเวอร์ตติ้ง

เนื่องจากวงจรรวมอินเวอร์ตติ้งมีชุดความต้านทานบ้อนกลับ R_i กับ R_f บ้อนกลับเข้าสู่อินพุตลบจากเอาต์พุตของออปแอมป์ ซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้ด้วย การนำเอารูปแบบของสัญญาณออปแอมป์ทางอินพุต มาเป็นหลักในการพิจารณานั้นคือ เมื่อแรงดันอินพุต (V_{i+}) ไปต่อเข้าสู่อินพุตบวก จากแรงดัน $V_{i+} = V_{i-}$ ดังนั้นเราก็จะได้แรงดัน $V_{o} = V_{i+}$ ด้วย ผลคือแรงดันบ้อนกลับที่คร่อมค่าความต้านทาน R_i จะมีค่าเท่ากับแรงดันอินพุต V_{i+} และจากการที่ความต้านทานภายในของออปแอมป์ (r_{on}) มีค่าสูงมาก จึงทำให้ทางอินพุตของออปแอมป์เปรียบเหมือนไม่ได้ดึงกระแสเลยและได้กระแสบ้อนกลับ I_f ที่ตั้งมาจากแรงดันเอาต์พุต (V_o) ไหลผ่าน R_i

ดังนั้นกระแส I_f สามารถคำนวณได้จากกฎของโอห์มคือ

$$I_f = V_{i+} / R_i$$

และจากกฎแรงดันของเคอร์ชอฟฟ์ลอร์วี่ จะได้แรงดัน

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

เพราะฉะนั้นได้

$$V_o = (V_{i+} / R_i) * (R_i + R_f)$$

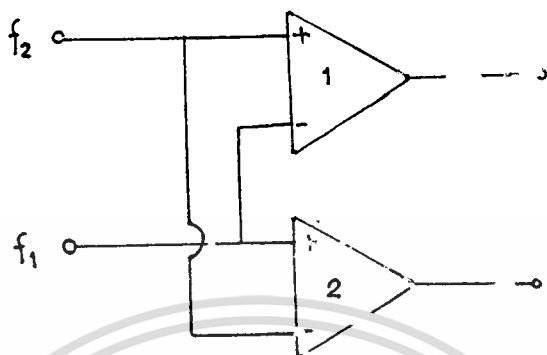
จะเห็นได้ว่าอัตราขยายแรงดันเมื่อมีการบ้อนกลับ $= 1 + (R_f / R_i)$ แต่จะขยายแรงดันได้สูงสุด $= V_{cc}$ ที่บ้อนให้แก่ออปแอมป์

4.6 นำสัญญาณที่เอาต์พุตของวงจรรวมอินเวอร์ตติ้ง ทั้ง 2 มาทำการกรองด้วยค่า R และ C เดียวกันทั้ง 2 วงจร ฉะนั้นถ้าความถี่ที่เข้ามามีความถี่มากกว่า 60 เฮิรตซ์ นั่นคือมี $E_{uv} = E_{in} * (t_c / T)$ เนื่องจาก t_{on} มีค่าเท่ากับหมดแต่ T น้อยกว่า ผลคือ E_{uv} ที่ได้จึงมีแอมพลิจูดสูงกว่าพัลส์ที่เกิดจากความถี่อ้างอิง ในทำนองเดียวกันถ้าความถี่ที่เข้ามามีความถี่ต่ำกว่า 60 เฮิรตซ์ ก็จะทำให้ T มีค่ามาก ฉะนั้น E_{uv} ที่ได้จึงน้อยกว่า E_{uv} ที่ได้จากการกรองของความถี่อ้างอิง ในส่วนนี้เราต้องเลือก R และ C ให้เหมาะสม ถ้า C มีค่าน้อยเกินไปจะทำให้ไม่ทำงานใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเหตุเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้ F_{ripple} มีริพเพิล (ripple) มาก แต่ถ้ามีขนาดใหญ่เกินไปจะทำให้การตอบสนองของระบบช้าลง

4.7. นำ E_{ripple} ที่ได้จากการกรองพัลส์ของความถี่ที่เข้ามากับความถี่อ้างอิงมาผ่านวงจร

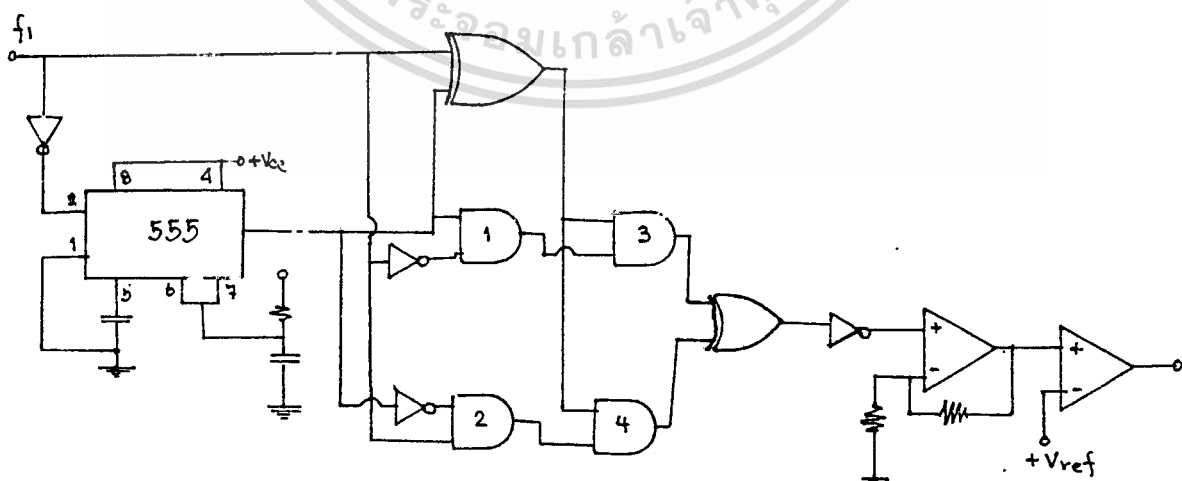
เปรียบเทียบระดับแรงดัน 2 ชุด ดังรูปที่ 4-6



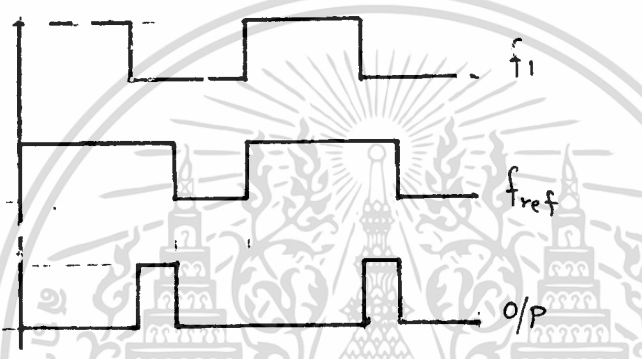
รูปที่ 4-6 แสดงการต่อวงจรเปรียบเทียบระดับแรงดัน 2 ชุด

จะเห็นว่าถ้าความถี่ของระบบที่เช็คได้ (f_1) มีความถี่มากกว่าความถี่อ้างอิง (f_2) ก็จะทำให้มี E_{ripple} สูงกว่า ผลคือขาเอาต์พุทของออปแอมป์ตัวที่ 2 จะมีสถานะสูง แต่ถ้า f_1 มีความถี่น้อยกว่า f_2 ก็จะมี E_{ripple} น้อยกว่า ฉะนั้นเอาต์พุทของออปตัวที่ 1 จะมีสถานะสูง ปัญหาที่เกิดขึ้นคือที่สถานะที่ $f_1 = 60$ เฮิรตซ์ แทนที่ออปแอมป์ ทั้ง 2 จะมีเอาต์พุทสถานะต่ำทั้งคู่ แต่ปรากฏว่าขาเอาต์พุทของออปแอมป์ทั้ง 2 มีการเปลี่ยนแปลงสถานะสูงและสถานะต่ำไปมาไม่แน่นอน จึงต้องออกแบบวงจรบางส่วน ดังบล็อกไดอะแกรมที่ 4 มาทำการ รีเซ็ต (reset) สัญญาณนาฬิกาที่ป้อนให้แก่สเตปปีงมอเตอร์ เมื่อ f_1 มีค่าใกล้เคียง 60 เฮิรตซ์

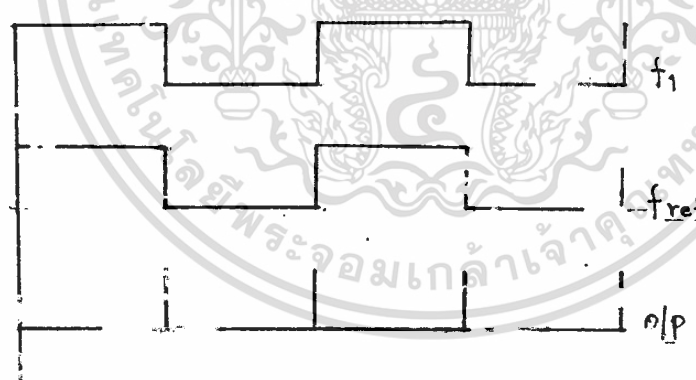
4.8 ในบล็อกไดอะแกรมที่ 4 แสดงวงจรได้ดังรูปด้านล่างคือ



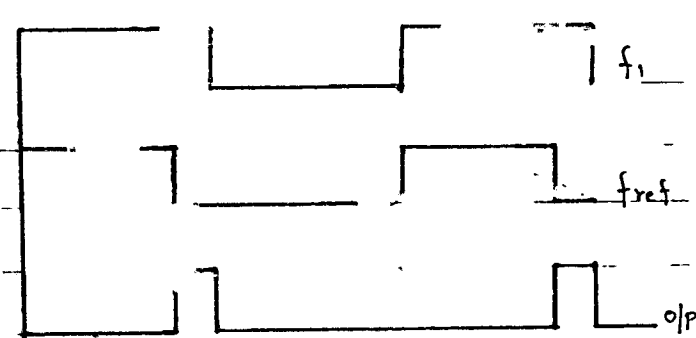
จากรูปจะมีการดึงสัญญาณเอาต์พุตของวงจรถ่ายระดับเข้าสู่เส้นศูนย์ผ่านบัฟเฟอร์มาใช้ โดยสัญญาณความถี่ของระบบที่เช็คได้ นั้นส่วนหนึ่งจะถูกนำเข้ามา 2 ซึ่งเป็นขาอินพุตของโมโนสเตเบิลที่ออกแบบให้มีค่า $t_{on} = 8.33 \text{ ms}$ ดังนั้นทางขาเอาต์พุตของโมโนสเตเบิล จะสร้างความถี่ 60 เฮิรตซ์ ออกมาซึ่งจะเกิดพร้อมกันกับ f_1 จากนั้น f_1 และสัญญาณที่ออกมาจากโมโนสเตเบิล จะถูกนำเข้าสู่วงจรเปรียบเทียบความกว้างของพัลส์ที่เข้ามา (pulse-width comparater) ซึ่งเป็นวงจรตรวจเช็คความแตกต่างของความกว้างพัลส์ ทั้ง 2 แล้วแสดงผลเอาต์พุตเป็นพัลส์ผลต่างของความกว้างของพัลส์ ทั้ง 2 ดังรูปที่ 4-8 กรณี ความถี่ f_1 มากกว่า 60 เฮิรตซ์



กรณี ความถี่ f_1 มีค่าประมาณ 60 เฮิรตซ์



กรณี ความถี่ f_1 มีค่าน้อยกว่า 60 เฮิรตซ์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า รูปที่ 4-8 แสดงสัญญาณที่ออกมาจากวงจร เปรียบเทียบความแตกต่างของความกว้างพัลส์ ไม่มีการผิดเพี้ยน อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

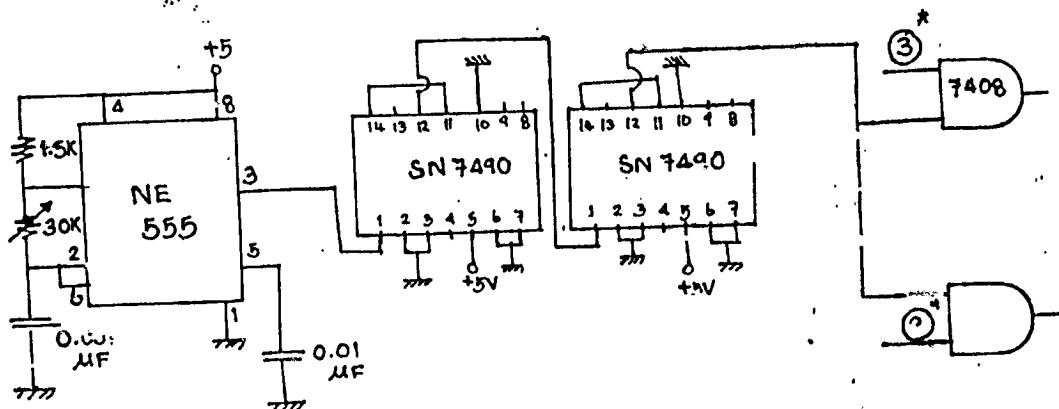
กรณีความถี่มากกว่า 60 เฮิรท์ซ แล้วผลของการเปรียบเทียบความแตกต่างของความกว้างพัลส์ จะได้ผลลัพธ์ของความแตกต่างระหว่างความถี่ทั้ง 2 ทางขาเอาต์พุทของแอนท์เกต (And gate) ตัวที่ 1 แต่ถ้าความถี่น้อยกว่า 60 เฮิรท์ซ ก็จะได้ผลลัพธ์ของความแตกต่างระหว่างความถี่ทั้ง 2 ทางขาเอาต์พุทของแอนท์เกตตัวที่ 2 จากเอาต์พุทของแอนท์เกตตัวที่ 1 และ 2 จะนำมาמודูเลชันกับเอาต์พุทที่ออกจากเอ็กซ์คลูซีฟ ออล (exclusive OR) ที่แอนท์เกตตัวที่ 3 และ 4 ฉะนั้นถ้าความถี่ที่เข้ามามีค่า 60 เฮิรท์ซ จะทำให้ขาเอาต์พุทของเอ็กซ์คลูซีฟ ออลจะมีสถานะต่ำ ผลคือขาเอาต์พุทของแอนท์เกตตัวที่ 3 และ 4 มีสถานะต่ำด้วย ในการใช้งานเรากำหนดให้ช่วงความถี่ใช้งานอยู่ในช่วง 58.5 - 62.5 เฮิรท์ซ ผลคือจะได้พัลส์แคบๆทางเอาต์พุทของแอนท์เกต ตัวที่ 3 หรือ 4 นำเอาต์พุทของแอนท์เกตตัวที่ 3 และ 4 มาเข้า อินพุทของเอ็กซ์คลูซีฟ ออลเพื่อยุบให้มีเอาต์พุทเพียง 1 เอาต์พุทแล้วนำผ่านวงจรอินเวอร์เตอร์ (inverter) เพื่อให้ได้พัลส์ตรงข้ามที่ใหญ่ขึ้น นำเข้าสู่วงจรขยายแรงดันแบบอนอินเวอร์ตติ้ง แล้วถูกกรองผ่านวงจร R และ C เพื่อให้ได้แรงดันไฟฟ้าตรงเรียบๆ และมีขนาดแอมพลิจูดที่ใหญ่

4.9 นำแรงดันไฟฟ้าตรงที่ได้จากส่วนวงจรกรองเข้าสู่วงจรเปรียบเทียบระดับแรงดันไฟฟ้าเพื่อเปรียบเทียบกับแรงดันไฟฟ้าตรงที่เราสร้างขึ้นจากการตีวายเคอร์แรงดันไฟฟ้า 15 โวลต์ลงมาเพื่อใช้เป็นแรงดันไฟฟ้าอ้างอิง กล่าวคือเอาต์พุทของวงจรเปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้า จะมีสถานะสูง เมื่อความถี่ที่เข้ามามีค่าอยู่ในระหว่าง 58.5 ถึง 62.5 เฮิรท์ซ โดยให้แรงดันไฟฟ้าอ้างอิงเข้าขาบวกของ LM 311 และแรงดันไฟฟ้าตรงที่ได้จากวงจรกรองเข้าขาลบของ LM 311 ซึ่งจะเห็นว่าความถี่เอกเหนือจากความถี่ในช่วง 58.5-62.5 เฮิรท์ซ แล้วจะทำให้เอาต์พุทของ LM 311 มีสถานะต่ำตลอด เพราะแรงดันไฟฟ้าตรงที่เข้ามามีค่าน้อยกว่าแรงดันไฟฟ้าอ้างอิง ซึ่งเอาต์พุทของบล็อกไดอะแกรมที่ 4 นี้จะนำไปใช้เป็นส่วนของสัญญาณรีเซ็ตในส่วนของบล็อกไดอะแกรมที่ 5 ต่อไป

4.10 ในบล็อกไดอะแกรมที่ 5 จะเป็นการควบคุมการหมุนของมอเตอร์ให้หยุดชั่วคราวหรือหมุนซ้ำและหยุดนิ่ง เพื่อปรับคันเร่งของเครื่องยนต์เบนซินเพื่อให้ความถี่ = 60 เฮิรท์ซ ณ ภาระทางไฟฟ้าต่างๆ ซึ่งอธิบายวงจรแต่ละขั้นตอนคือ

4.11 ใช้เอสเตเบิลส์สร้างความถี่ 2400 เฮิรท์ซ แล้วใช้วงจรหาร 10 เป็นจำนวน 2 ครั้ง ฉะนั้นจะได้สัญญาณนาฬิกามีค่า 240 เฮิรท์ซออกมาสำหรับใช้กับสเตปป์มอเตอร์ จากนั้นนำมอดูเลชันกับสัญญาณขาออกของวงจรเปรียบเทียบระดับแรงดันไฟฟ้า 2 ชุดของบล็อกไดอะแกรมที่ 3 ดังรูปที่ 4-9

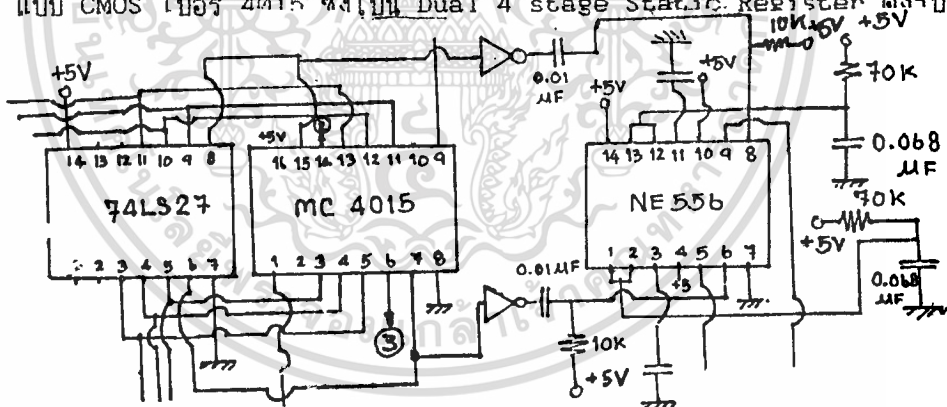
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-9 แสดงการต่อวงจรสร้างควมถี่ 24 เฮิรตซ์และวงจรมอดูเลขชั้น

จากวงจรจะเห็นว่าแอนท์เกททั้ง 2 จะผลัดกันทำงาน ฉะนั้นจะเห็นว่าถ้าความถี่ของระบบที่เข้ามามีค่ามากกว่า 60 เฮิรตซ์ ก็จะทำให้ขาออกของแอนท์เกทตัวที่ 1 มีสัญญาณนาฬิกาที่มีความถี่ 24 เฮิรตซ์ออกมา แต่ถ้าความถี่ของระบบที่เข้ามามีค่าน้อยกว่า 60 เฮิรตซ์ ก็จะทำให้ได้สัญญาณนาฬิกาที่ขาออกของแอนท์เกทตัวที่ 2

4.12 จากนั้นเอาเอาท์พุทของแอนท์เกททั้ง 2 มาเข้าสู่วงจรเรียงลำดับเฟส (logic sequence) โดยใช้ IC เบอร์ 7427 ซึ่งเป็น Triple 3-Input Positive-NOR Gate และ IC แบบ CMOS เบอร์ 4015 ซึ่งเป็น Dual 4 stage Static Register ดังรูปที่ 4-10

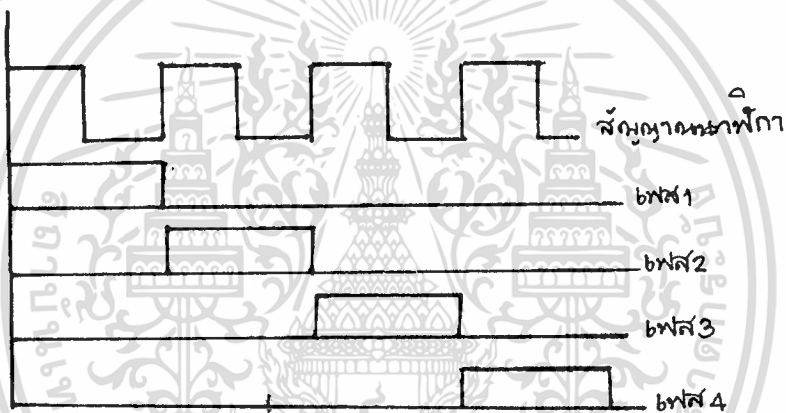


รูปที่ 4-10 แสดงวงจรเรียงลำดับเฟส

จากรูป ตัวไอซีเบอร์ 4015 เป็นวงจรเลื่อนสัญญาณนาฬิกาออกไปขนาด 4 บิต อยู่ 2 ชุด แต่ละชุดแยกจากกันและการเลื่อนสัญญาณนาฬิกาเป็นแบบอนุกรม ฉะนั้นมันจะเกิดการสร้างพัลส์ที่ขา Q1 ถึง Q3 และขา data เลื่อนกันไปเรื่อยเมื่อสัญญาณนาฬิกาเข้ามาแต่ละ 1 พัลส์ ส่วนไอซี 7427 จะนำเอา Q1 ถึง Q3 มาต่อเข้ากับขาอินพุท แล้วขาเอาท์พุทของ 7427 จะนำไปต่อเข้ากับ ขา data ของ 4015 ฉะนั้นเมื่อ Q1 ถึง Q3 มีสถานะต่ำหมดก็จะทำให้ขาเอาท์พุทของ 7427 มีสถานะสูงและนำสถานะสูงนี้ไปเก็บที่ขา data ของ 4015 เมื่อสัญญาณนาฬิกาลำดับต่อมาเข้ามาถึงมันก็จะส่งสถานะสูงให้กับ Q1 ฉะนั้นจะได้พัลส์ 4 ชุด ที่เรียงลำดับ

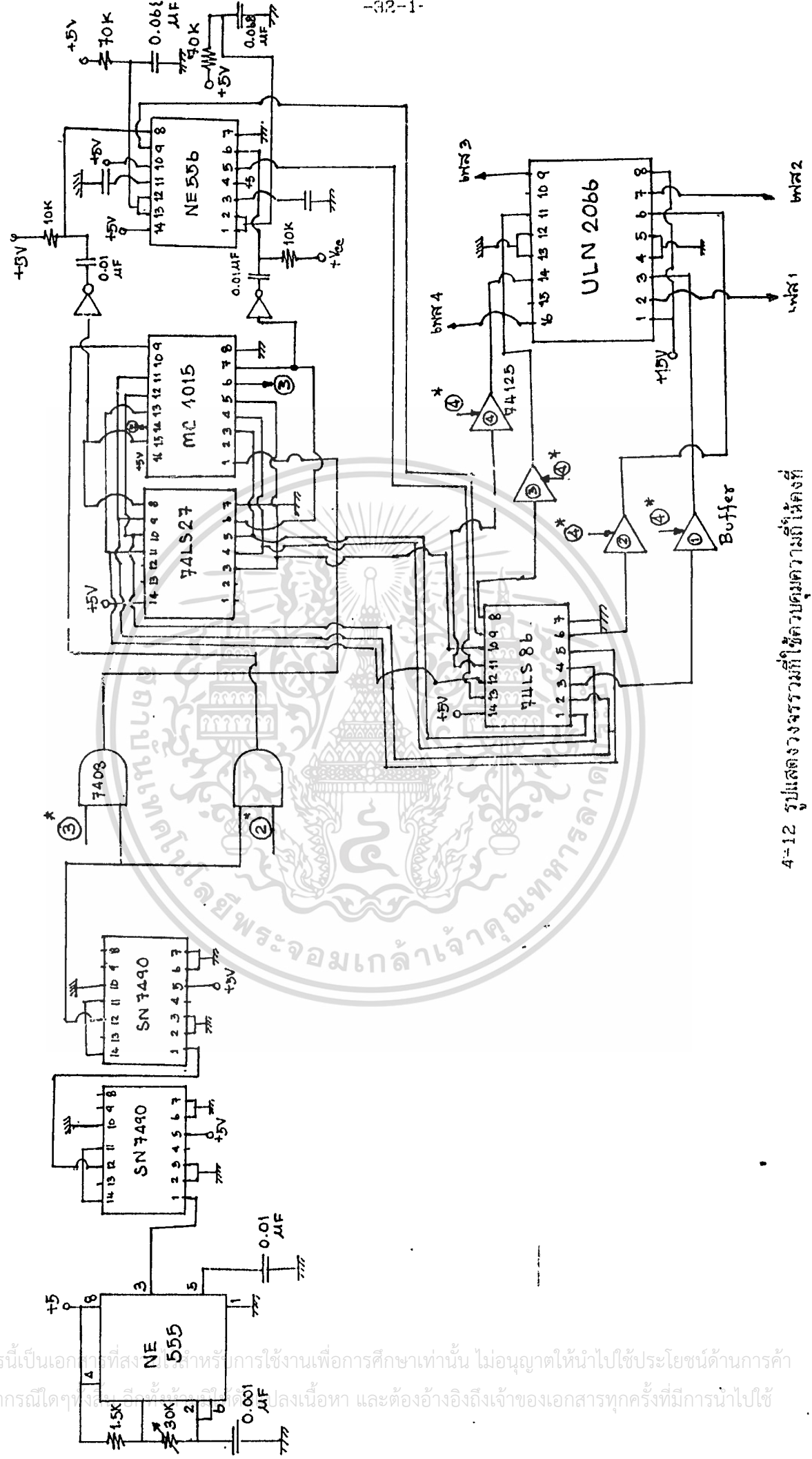
กันไป เนื่องจากมีสัญญาณนาฬิกา 2 ชุด เราต้องสร้างวงจรเรียงลำดับเฟส 2 ชุดด้วยดังรูป ไม่ว่าการณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดลองพบว่าถ้าเราป้อนสถานะต่ำให้กับขา 6 ของ 4015 ซึ่งเป็นขา CLEAR พบว่า Q1 ถึง Q3 มีสถานะต่ำ ส่วนขา data มีสถานะสูง ซึ่งจะก่อให้เกิดปัญหา เพราะในสภาวะที่วงจรเรียงลำดับเฟสชุดที่ 1 สำหรับกรณีความถี่ของระบบที่เข้ามาที่มีความถี่น้อยกว่า 60 เฮิรตซ์ ทำงานนั้นวงจรเรียงลำดับเฟสชุดที่ 2 สำหรับกรณีความถี่ของระบบที่เข้ามาที่มีความถี่มากกว่า 60 เฮิรตซ์ จะต้องไม่ทำงานคือมีสถานะต่ำทุกขา ทางแก้ปัญหาคือเราจะต้องนำสัญญาณของขา data ทั้ง 2 วงจรของวงจรเรียงลำดับเฟสมาเข้าสู่วงจรโมโนสเตเบิลในแต่ละชุด และออกแบบให้สัญญาณขาออกของโมโนสเตเบิลในแต่ละชุดมีความกว้างของพัลส์เท่ากับพัลส์อินพุทของขา data ในแต่ละชุดก็จะแก้ปัญหาคือได้ เพราะวงจรโมโนสเตเบิลจะทำงานในสภาพสัญญาณอินพุทเปลี่ยนจากสถานะสูงไปสู่สถานะต่ำเท่านั้น เราเขียนสัญญาณที่ออกมาจากวงจรเรียงลำดับเฟสเมื่อเทียบกับสัญญาณนาฬิกาที่เข้ามาได้ดังรูปที่ 4-11



รูปที่ 4-11 แสดงสัญญาณที่ออกมาจากวงจรเรียงลำดับเฟส

4.13 จากนั้นนำสัญญาณขาออกของวงจรเรียงลำดับเฟสทั้ง 2 ชุดมาลดวงจรลงให้เหลือเอาาร์พุทเพียง 1 ชุด โดยใช้วงจรเอ็กซ์คลูซีฟ ออลล์ และทำการกลับเฟส (phase sequence) ระหว่างเฟสที่ 3 และ 4 เพื่อให้สเตปป์มอเตอร์สามารถหมุนกลับทิศได้ จากนั้นนำสัญญาณขาออกของเอ็กซ์คลูซีฟ ออลล์ทั้ง 4 มาเข้าขาอินพุทของ ไอซีเบอร์ 74125 ซึ่งเป็น Quadruple Bus Buffer Gate with Three-State Output โดยมีขาควบคุมการส่งผ่านสัญญาณอินพุทออกสู่ภายนอก ฉะนั้นที่ขาควบคุมนี้เราจะนำเอาสัญญาณจากบัสลอคไดอะแกรมที่ 4 ซึ่งทำหน้าที่รีเซ็ตไม่ให้มีการป้อนสัญญาณนาฬิกาให้แก่สเตปป์มอเตอร์ เมื่อความถี่ของระบบอยู่ในช่วงการใช้งานของเรา จากนั้นจะนำเอาสัญญาณขาออกของบัฟเฟอร์นี้ไปเข้าสู่วงจรขับกระแสเพิ่มเพื่อให้เหมาะสมกับลักษณะของสเตปป์มอเตอร์ที่ใช้ ซึ่งเราใช้ ไอซี เบอร์ ULN 2068B ซึ่งมีการต่อทรานซิสเตอร์อยู่แล้วเพื่อเพิ่มกระแสให้เหมาะสมกับสเตปป์มอเตอร์



4-12 รูปแสดงวงจรรวมที่ใช้ควบคุมความถี่ให้คงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ขอสงวนสิทธิ์ในเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

การทดลองและผลการทดลอง

ในทอมแรกเป็นการควบคุมแรงดันไฟฟ้าขาออกของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับที่มีตัวขับเคลื่อนเป็นมอเตอร์กระแสตรงให้คงที่ ณ 220 โวลต์ โดยการใช้ phase control มาควบคุมแรงดันไฟฟ้าฟูลเวฟบริดจ์ (full wave bridge voltage) ที่ช่วงของภาระทางไฟฟ้าหนึ่ง แสดงข้อมูลดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 แสดงการควบคุมแรงดันไฟฟ้าให้คงที่ โดยให้ความเร็วของมอเตอร์คงที่

ลักษณะของภาระทางไฟฟ้า	V_f Vrms Ⓞ	I_f Vrms Ⓞ	Vdc	Speed	V_{oc}	I_{ac}	มุมเฟส หาคะเรส
แบบโหลดไฟชานกัน	125	.33	2.6	1500	236.5	.3	72°
2 ดวง	114.8	.22	2.85	1500	227	.3	86.4°
	102.5	.2	3.1	1500	220	.3	90°
	92	.2	3.185	1500	217	.3	93.6°
	93	.2	3.25	1500	212	.3	100.8°
	75	.18	3.6	1500	191	.3	108°
แบบโหลดไฟ 1ดวงอนุกรม	147	.3	2.8	1500	232	.15	80.18°
	108	.22	3.1	1500	223.5	.18	89.26°
	95	.2	3.39	1500	215	.18	95.51°
แบบโหลดไฟ 2 ดวงอนุกรม	122	.3	2.8	1500	230	.08	80.816°
	108	.22	3.05	1500	224	.08	88.16°
	99	.2	3.26	1500	218	.08	95.51°
แบบโหลดไฟ 1 ดวง อนุกรม L(2.4mH)	117	.23	2.9	1500	227	.15	80.816°
	109	.22	2.95	1500	225	.14	88.16°
	91	.19	3.375	1500	114	.12	95.51°
แบบโหลดไฟ 2 ดวง อนุกรมกันและอนุกรม	118	.24	2.8	1500	231	.08	80.816°
	105	.22	3.1	1500	224	.08	88.16°

กับ L(2.4mH)	98	.2	3.375	1500	216	.07	95.51°
แบบหลอดไฟ 2 ดวง	118	.3	2.8	1500	229	.3	80.816°
ชานกันและอนุกรม	108	.26	3	1500	223	.28	88.16°
กับ L(2.4mH)	91	.26	3.4	1500	210	.26	95.51°

ในตอนที่ 2 เป็นการควบคุมความถี่ของแรงดันไฟฟ้าขาออกของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับที่มีตัวขับทางกลเป็นเครื่องยนต์เบนซิน โดยการใช้สแต็ปปีงมอเตอร์มาควบคุม จากการทดลองได้ข้อมูลดังตารางที่ 5.2.

ตารางที่ 5.2.1 ลักษณะการควบคุม เป็นแบบปล่อยไปตามสภาวะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยไม่ได้ควบคุมตัวแปรใดเลย

ลักษณะของภาระทางไฟฟ้า	V_r (V)	If (A)	V_{ac} (V)	I_{ac} (A)	f (Hz)
หลอดไฟ 2 ดวงชานกัน	32	16.55	265	1.2	69.5
หลอดไฟ 6 ดวงชานกัน	28	14.5	252	2	68.5
หลอดไฟ 10 ดวงชานกัน	25.8	13.2	230	4.6	63.29
หลอดไฟ 18 ดวงชานกัน	20.4	10.5	174	7.2	61
หลอดไฟ 23 ดวงชานกัน	18	9.3	150	8	60.24
หลอดไฟ 29 ดวงชานกัน	16.6	8.6	130	9.8	59.52

ตารางที่ 5.2.2 ลักษณะการควบคุมเป็นการควบคุมความถี่ให้คงที่ ณ 60 เฮิร์ตซ์

ลักษณะของภาระทางไฟฟ้า	V_r (V)	If (A)	V_{ac} (V)	I_{ac} (A)	f (Hz)
หลอดไฟ 18 ดวงชานกัน	23	11.9	210	6.2	60.25
หลอดไฟ 20 ดวงชานกัน	21.8	11.3	175	7.4	60
หลอดไฟ 25 ดวงชานกัน	20	10.3	160	9	60.5
หลอดไฟ 28 ดวงชานกัน	17	8.8	140	10.4	60

ตารางที่ 5.2.3 ลักษณะการควบคุมเป็นการบ่อนแรงดันไฟฟ้าภายนอกให้แก่ขดลวดสนามแม่เหล็กแล้วควบคุมให้มีความถี่คงที่ และทำการควบคุมให้แรงดันไฟฟ้าขาออกที่ 140 โวลต์

ลักษณะของภาระทางไฟฟ้า	% ของการchop	V_{ac}	I_{ac}	Vf	If
หลอดไฟ 8 ดวงชานกัน	17.8	174	2.2	20	8.6
หลอดไฟ 12 ดวงชานกัน	35.71	172	4.4	20	8.6
หลอดไฟ 16 ดวงชานกัน	53.57	165	6.2	20	8.6
หลอดไฟ 20 ดวงชานกัน	64.21	160	7.5	20	8.6
หลอดไฟ 24 ดวงชานกัน	76.78	145	8.9	20	8.6

ตารางที่ 5.2.4 ลักษณะการควบคุมเป็นการป้อนแรงดันไฟฟ้าภายนอกให้แก่ขดลวดสนามแม่เหล็ก แล้วควบคุมให้มีความถี่คงที่ และทำการควบคุมให้แรงดันไฟฟ้าขาออกที่ 130 โวลต์

ลักษณะของภาระทางไฟฟ้า	% ของการchop	V_{sc}	I_{sc}	V_f	I_f
โหลดไฟ 9 ดวงขนานกัน	32.1	175	1.5	15.5	8
โหลดไฟ 10 ดวงขนานกัน	42.8	165	4	15.5	8
โหลดไฟ 18 ดวงขนานกัน	66	150	6.5	15.5	8
โหลดไฟ 28 ดวงขนานกัน	100	130	9	15.5	8



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

บทวิจารณ์และสรุปผลการทดลอง

จากเทอมแรกใช้ตัวขับทางกลเป็นมอเตอร์กระแสตรง ฉะนั้นการควบคุมความถี่ของแรงดันไฟฟ้าขาออกของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทำได้โดยการควบคุม การบ่อนแรงดันไฟฟ้าตรงเข้าที่ส่วนสนามแม่เหล็กกระตุ้นหรือการควบคุมแรงดันที่บ่อนให้แก่ส่วนอาร์มาเจอร์ของมอเตอร์กระแสตรง ทำให้ความเร็วของตัวขับทางกลมีค่าค่อนข้างคงที่

ส่วนในเทอมที่ 2 ใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับที่มีตัวขับทางกลเป็นเครื่องยนต์เบนซิน การปรับความเร็วของเครื่องยนต์ทำได้โดยการปรับอัตราการจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงและอัตราส่วนของอากาศที่เข้าผสมกับน้ำมัน ในขณะที่หัวเทียนเกิดสปาร์ค (spark) และมีการเผาไหม้น้ำมันเชื้อเพลิงในกระบอกสูบ ซึ่งอัตราเร็วของเครื่องยนต์ที่ได้นี้ไม่ค่อยคงที่มีการเปลี่ยนแปลงมากขณะที่การทางไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยและไม่สม่ำเสมอ ไม่ต่อเนื่องทุกช่วงของการบ่อนการทางไฟฟ้า ทำให้ลักษณะของกระแสไฟฟ้าตรงที่เข้าสู่สนามแม่เหล็กกระตุ้นมีค่าไม่แน่นอนเกิดการสวิตช์ ส่งผลให้แรงดันไฟฟ้าขาออกของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับมีการเปลี่ยนแปลงไปไม่แน่นอน

ในจุดประสงค์ตอนแรกต้องการควบคุมให้แรงดันไฟฟ้าและความถี่มีค่า 220 โวลท์ 50 เฮิร์ตซ์ โดยหวังว่าจะใช้กับระบบที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน แต่เนื่องจากไม่สามารถจัดหาเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดังกล่าวได้ โดยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ใช้งานนี้มีฉลาก Nameplate ดังนี้

R.P.M.	1800	CYCLE	60
VOLT	220	PHASE	1
K.V.A.	3	P.F.	0.8
AMPS	13		

ปัญหาที่เกิดขึ้น

1. ที่การทางไฟฟ้าต่ำ จะทำให้ความถี่มีค่ามากกว่า 60 เฮิร์ตซ์มาก และลักษณะของเครื่องยนต์เดินไม่เรียบสม่ำเสมอ แม้ว่าจะได้แรงดันไฟฟ้ามากกว่า 220 โวลท์ (230 โวลท์) และทำให้ลักษณะของแรงดันที่บ่อนให้แก่สนามแม่เหล็กเปลี่ยนแปลงไปเกิดการสวิตช์ไปมา ส่งผลให้แรงดันไฟฟ้าที่ขาออกของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับมีค่าไม่คงที่ ทางแก้ไขเลยลองต่อแรงดันภายนอกบ่อนให้แก่สนามแม่เหล็กกระตุ้น ค่อยแก้ปัญหาได้แต่ไม่สามารถทดลองที่ฝึกดีการทางไฟฟ้าได้เพราะส่วนของกระแสที่เข้าสู่สนามแม่เหล็กกระตุ้นมีค่าสูงกว่า 15 แอมป์ ทำให้ฟิวส์ของออโตทรานส์ฟอร์มเมอร์ (Auto transformer) ขาด

2. เมื่อทำการทดลองที่ภาระทางไฟฟ้ามาก เครื่องยนต์ค่อยเดินเร็วขึ้นแต่ลักษณะของแรงดันไฟฟ้าที่ออกมาจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามักต่ำกว่า 220 โวลต์มาก ฉะนั้นเพื่อให้ทำการเปลี่ยนมาควบคุมแรงดันไฟฟ้าที่ต่ำกว่า 220 โวลต์ ดังตารางผลการทดลอง

3. ช่วงเวลาในการตอบสนองของเครื่องยนต์เบนซินช้ามาก กล่าวคือเมื่อสแตมป์ชี้คได้ว่าความถี่ที่เข้ามาเป็น 60 เฮิรท์ซแล้ว แต่สถานการณ์ปรับตัวของเครื่องยนต์ ยังไม่ไวต่อการเปลี่ยนแปลง (sensitive) จึงทำให้เกิดลักษณะของการ oscillate ของความเร็วผลคือทำให้สแตมป์หมุนกลับไปมาในช่วงหนึ่ง ทางแก้ไขจึงต้องหยุดการป้อนสัญญาณไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่สแตมป์ชั่วคราวเพื่อให้เครื่องยนต์ตอบสนองตามมาได้ทัน

สรุปโครงการ

โครงการ Generator set ได้ดัดแปลงแก้ไขเงื่อนไขของการควบคุมให้สอดคล้องกับอุปกรณ์ที่ใช้ในโครงการที่มีอยู่ และได้พยายามแสดงให้เห็นถึง วิธีการในการควบคุมความถี่และแรงดันไฟฟ้าตามหลักการทางทฤษฎีที่ได้ศึกษามา แม้ว่าจะต่างจากสภาวะจริงที่มีใช้กันอยู่ในปัจจุบัน เนื่องจากอุปกรณ์ที่จัดหาได้นั้น ไม่เอื้ออำนวยที่จะทำการควบคุมที่สภาวะดังกล่าวได้ โดยถ้าจะให้บรรลุวัตถุประสงค์ตามที่ตั้งไว้จะต้องดำเนินการจัดหาเครื่องกำเนิดไฟฟ้ารวมทั้งตัวขับเคลื่อนที่เหมาะสมสอดคล้องกับสถานการณ์ควบคุม โดยขดลวดสนามแม่เหล็กกระตุ้นของ เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับจะต้องพันไว้ให้มีลักษณะของการ over excited และตัวขับเคลื่อนจะต้องปรับเปลี่ยนความเร็วรอบได้อย่างต่อเนื่อง โครงการนี้จึงเพียงแสดงถึงแนวทางและหลักการตามทฤษฎี ซึ่งให้ผลเป็นที่น่าพอใจระดับหนึ่ง

กิติกรรมประกาศ

ใบปริญญาบัตรนี้ได้รับความอนุเคราะห์จาก อาจารย์สุวงษ์ โสมพงศ์ และ อาจารย์ วีระศักดิ์ วงศ์วิวัฒน์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาที่ให้ความสนับสนุนและช่วยเหลือด้วยดี ตลอดมาและขอขอบคุณอาจารย์ทุกท่านมา ณ ที่นี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



38
40
1520

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนังสืออ้างอิง

1. Maginot, J and Oliver, W. (1970) " Step motor drive circuitry and open loop control "
2. S.B Dewan A Strauphen " Power Semiconductor circuit "
3. Samuel Weber " Circuits for electronics engineers "
4. Bryan Norris " Digital integrated Circuit and Operational-Amplifier and Optoelectronic Circuit Design "



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5404/7404 Hex Inverter

	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	CF	C	P	M	CF	C	P	M	CF	C	P	M	CF	C	P	M	CF				
T.I.	SN54S04	J	Q	W1	SN54H04	J	Q	W1	SN54LS04	J	Q	W2	SN54L04	J	Q	W2	SN54L04	J	Q	W2	SN54L04	J	Q	W2
FAIRCHILD	SN74S04	J	I	ND	SN74H04	J	I	ND	SN74LS04	J	I	ND	SN74L04	J	I	ND	SN74L04	J	I	ND	SN74L04	J	I	ND
MOTOROLA	FMS4S04/FM3S04	DC	Q		FMS4H04/FM3H04	DC	Q		FMS4LS04/FM3LS04	DC	Q		FMS4L04/FM3L04	DC	Q		FMS4L04/FM3L04	DC	Q		FMS4L04/FM3L04	DC	Q	
N.S.C.	DM74S04	DC	ND		DM74H04/FC9H04	DC	ND		DM74LS04	DC	ND		DM74L04/FC9L04	DC	ND		DM74L04/FC9L04	DC	ND		DM74L04/FC9L04	DC	ND	
PHILIPS	N74S04		Q		N74H04		Q		N74LS04		Q		N74L04		Q		N74L04		Q		N74L04		Q	
SIGNETICS	SS4S04	F	Q	W1	SS4H04	F	Q	W1	SS4LS04	F	Q	W2	SS4L04	F	Q	W2	SS4L04	F	Q	W2	SS4L04	F	Q	W2
SIEMENS	N74S04	F	Q	W1	N74H04	F	Q	W1	N74LS04	F	Q	W2	N74L04	F	Q	W2	N74L04	F	Q	W2	N74L04	F	Q	W2
FUJITSU									74LS04				M8418		Q	W2	M8418		Q	W2	M8418		Q	W2
HITACHI	HD74S04	I	Q		HD74H04	I	Q		HD74LS04	I	Q		HD74L04/HD2522	I	Q		HD74L04/HD2522	I	Q		HD74L04/HD2522	I	Q	
MITSUBISHI	M55004		Q		M74H04		Q		M74LS04		Q		M53204		Q		M53204		Q		M53204		Q	
NEC	74S04		Q		74H04		Q		74LS04		Q		74L04		Q		74L04		Q		74L04		Q	
TOSHIBA									74LS04				74L04				74L04				74L04			

Electrical Characteristics SN54LS04/SN74LS04

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	SN74LS	0°C to 100°C
				-65°C to 150°C

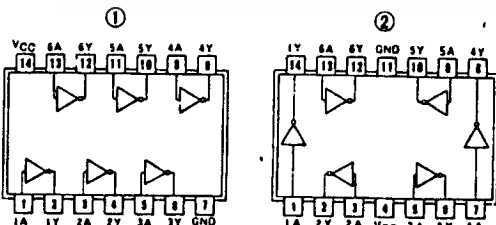
recommended operating conditions

	SN54LS04			SN74LS04			UNIT
	MIN	NOM	MAX	MIN	NOM	MAX	
Supply voltage, V _{CC}	4.5	5	5.5	4.75	5	5.25	V
High-level output current, I _{OH}			-400			-400	μA
Low-level output current, I _{OL}			4			8	mA
Operating free-air temperature, T _A	-55		125	0		70	°C

electrical characteristics over recommended operating free-air temperature range

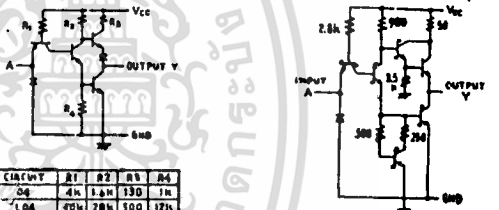
PARAMETER	TEST CONDITIONS †	MIN	TYP ‡	MAX	UNIT	
V _{IH}	High-level input voltage		2		V	
V _{IL}	Low-level input voltage			0.8	V	
V _I	Input clamp voltage	V _{CC} = MIN, I _I = -10mA		-1.5	V	
V _{OH}	High-level output voltage	V _{CC} = MIN, V _{IL} = V _{IL} max, I _{OH} = MAX	2.7	3.4	V	
V _{OL}	Low-level output voltage	V _{CC} = MIN, V _{IH} = 2V, I _{OL} = 4mA		0.4	V	
I _I	Input current at maximum input voltage	V _{CC} = MAX, V _I = 7V		0.1	mA	
I _{IH}	High-level input current	V _{CC} = MAX, V _{IH} = 2.7V		20	μA	
I _{IL}	Low-level input current	V _{CC} = MAX, V _{IL} = 0.4V		-0.4	mA	
I _{OS}	Short-circuit output current *	V _{CC} = MAX	54LS Family	-20	-100	mA
I _{CCH}	Supply current	V _{CC} = MAX	Total, outputs high	1.2	2.4	mA
I _{CCL}	Supply current	V _{CC} = MAX	Total, outputs low	3.6	6.6	mA
I _{CC}	Supply current	V _{CC} = 5V	Average per gate (50% duty cycle)	0.8		mA
t _{PLH}	Propagation delay time, low-to-high-level output	V _{CC} = 5V, T _A = 25°C, C _L = 15PF, R _L = 2KΩ		9	15	ns
t _{PHL}	Propagation delay time, high-to-low-level output	V _{CC} = 5V, T _A = 25°C, C _L = 15PF, R _L = 2KΩ		10	15	ns

Pin Assignments (Top View)



positive logic:
Y = A

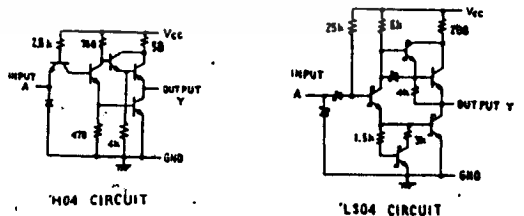
Schematics (each-gate)



CIRCUIT	RT	RT	RT	RT
	2.2k	2.2k	1.5k	1.5k
	1.0k	1.0k	1.0k	1.0k

*Input clamp diodes not on SN54L73N74L circuits.

'04, 'L04 CIRCUITS



'M04 CIRCUIT

'L304 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} = 5V, T_A = 25°C.
* Not more than one output should be shorted at a time, and for SN54H/SN74H and SN54S/SN74S, duration of short-circuit should not exceed 1 second.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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	CF	C	P	M	CF	C	P	M	CF	C	P	M	CF	C	P	M	CF						
T.I.									SN54LS27	J	D		WD	SN5427	J	D		WD								
F.A.									SN74LS27	J	D	N	D	SN7427	J	D	N	D								
MOTOROLA									MS4LS27/FMS4LS27	N	D		P	D	FMS427/FMSN27	D	D		P	D						
N.S.C.									SN74LS27				P	D	SN7427				P	D						
PHILIPS									DM54LS27				D	DM5427				J	D	N	D					
SIGNECS									DM74LS27				D	DM7427				J	D	N	D					
SIEMENS									N74LS27				D	N7427				D								
FUJITSU									N74LS27				A	D	N7427				A	D						
HITACHI									HD74LS27				P	D	HD7427				D	P	D					
DAIICHI									M53LS27				P	D	M5327				P	D						
TOSHIBA									74LS27				C	D												

Electrical Characteristics SN54LS27/SN74LS27

absolute maximum ratings over operating free-air temperature range

Supply voltage, V _{CC}	7V	Operating free-air temperature range	SN54LS	-55°C to 125°C
Input voltage	7V		SN74LS	0°C to 70°C
Interconnect voltage	5.5V	Storage temperature range		-65°C to 150°C

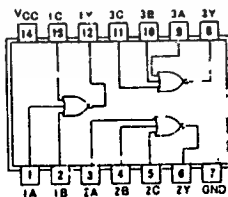
recommended operating conditions

	SN54LS27			SN74LS27			UNIT
	MIN	NOM	MAX	MIN	NOM	MAX	
Supply voltage, V _{CC}	4.5	5	5.5	4.75	5	5.25	V
High-level output current, I _{OH}			-400			-400	mA
Low-level output current, I _{OL}			0			8	mA
Operating free-air temperature, T _A	-55		125	0		70	°C

electrical characteristics over recommended operating free-air temperature range

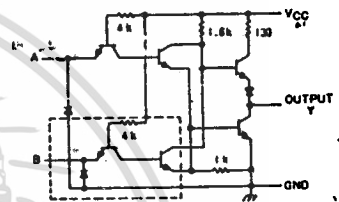
PARAMETER		TEST CONDITIONS†	MIN	TYP‡	MAX	UNIT
V _{IH}	High-level input voltage			2		V
V _{IL}	Low-level input voltage				0.8	V
V _I	Input clamp voltage	V _{CC} - MIN, I _I = -18 mA			-1.5	V
V _{OH}	High-level output voltage	V _{CC} - MIN, V _I L = V _I L MAX	2.7	3.4		V
V _{OL}	Low-level output voltage	V _{CC} - MIN, V _I H = 2 V, I _{OL} = 4 mA		0.25	0.4	V
I _I	Input current at maximum input voltage	V _{CC} - MAX, V _I = 7 V			0.1	mA
I _{IH}	High-level input current	Data inputs V _{CC} - MAX, V _I H = 2.7 V			20	µA
I _{IL}	Low-level input current	Data inputs V _{CC} - MAX, V _I L = 0.4 V			-0.4	mA
I _{OS}	Short-circuit output current	V _{CC} - MAX	SNLS Family	-20	-100	mA
I _{CSH}	Supply current	V _{CC} - MAX	Total, outputs high	2.0	4	mA
I _{CSL}	Supply current	V _{CC} - MAX	Total, outputs low	3.4	6.8	mA
I _{CC}	Steady current	V _{CC} = 5 V, T _A = 25°C	Average per gate (50% duty cycle)	0.9		mA
t _{PLH}	Propagation delay time, low-to-high-level output	V _{CC} = 5 V, T _A = 25°C		10	15	ns
t _{PHL}	Propagation delay time, high-to-low-level output	C _L = 15 pF, Z _{TH} = 2kΩ		10	15	ns

Pin Assignment (Top View)

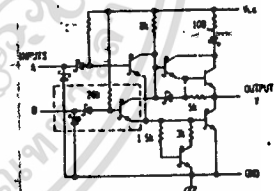


positive logic:
Y = A + B + C

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.

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 V, T_A = 25°C.
• Not more than one output should be shorted at a time.

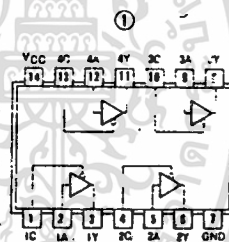
54125/74125 Quadruple Bus Buffer Gate with Three-State Output

	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		
	C	P	M	CF	C	P	M	CF	C	P	M	CF	C	P	M	CF	C	P	M	CF	
T.I.													SN54125	J	D		WD				
FAIRCHILD													SN74125	J	D		WD				
MOTOROLA									F74LS125			P	Q								
N.S.C.									SN74LS125			P	Q								
PHILIPS									DM54LS125			Q					DM74125			N	Q
SIGNETICS									DM74LS125			Q									
SIEMENS													54125				74125				
FUJITSU																					
HITACHI																	HD74125			P	J
MITSUBISHI																	M74125			P	J
NEC																					
TOSHIBA																					

Electrical Characteristics SN54LS125/SN74LS125

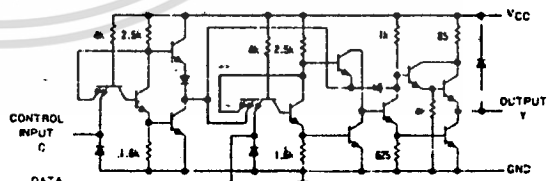
absolute maximum ratings over operating free-air temperature range				
Supply voltage, VCC	TV	Operating free-air temperature range	SN54LS125 -55°C to 125°C SN74LS125 0°C to 70°C	
Input voltage	TV	Storage temperature range	-65°C to 150°C	
recommended operating conditions				
	SN54LS125		SN74LS125	
	MIN	MAX	MIN	MAX
Supply voltage, VCC	4.5	5	4.75	5
High-level output current, IOH		-1		-2.5
Low-level output current, IOL		12		24
Operating Power temperature, TA	-55	125	0	70

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

electrical characteristics over recommended operating free-air temperature range				
PARAMETER	TEST CONDITIONS †	MIN	TYP ‡	MAX
V _{IH}	High-level input voltage		2	
V _{IL}	Low-level input voltage			0.8
V _I	Input clamp voltage	V _{CC} = MIN, I _I = -18 mA		-1.5
V _{OH}	High-level output voltage	V _{CC} = MIN, V _{IH} = 2 V, V _{IL} = 0.8 V, I _{OH} = MAX	54LS Family 2.4 74LS Family 2.4	
V _{OL}	Low-level output voltage	V _{CC} = MIN, V _{IH} = 2 V, V _{IL} = 0.8 V, I _{OL} = MAX	0.35	0.5
I _{O(off)}	Off-state (high-impedance state) output current	V _{CC} = MAX, V _{IH} = 2 V, V _{IL} = 0.8 V, V _O = 0.4 V		20
I _I	Input current at maximum input voltage	V _{CC} = MAX, V _I = 7 V		0.1
I _{IH}	High-level input current	V _{CC} = MAX, V _{IH} = 2.7 V		20
I _{IL}	Low-level input current	V _{CC} = MAX, V _{IL} = 0.4 V		0.4
I _{OS}	Short-circuit output current †	V _{CC} = MAX	54LS Family 80 74LS Family 40	225
I _{CC}	Supply current	V _{CC} = MAX, DATA INPUT = 0 V, OUTPUT CONTROL = 4.5 V	11	20
t _{PLH}	Propagation delay time, low-to-high-level output	V _{CC} = 5 V T _A = 25°C		9
t _{PHL}	Propagation delay time, high-to-low-level output		CL = 45 pF, RL = 667 Ω	7
t _{ZH}	Output enable time to high level			12
t _{ZL}	Output enable time to level			15
t _{HZ}	Output disable time from high level		CL = 5 pF, RL = 667 Ω	20
t _{LZ}	Output disable time from low level			20

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

‡ All typical values are at V_{CC} = 5 V, T_A = 25°C.

§ Not more than one output should be shorted at a time.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5408/7408 Quadruple 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	CF	C	P	M	CF	C	P	M	CF	C	P	M	CF	C	P	M	CF
T.I.	SN54S08	J	D	W					SN54LS08	J	D	W	SN5408	J	D	W				
	SN74S08	J	D	W					SN74LS08	J	D	W	SN7408	J	D	W				
FAIRCHILD	FMS4S08/FMS28	ND			FM54H08/FM9H08	D			FMS4LS08/FMS28	ND			FMS408/FM9H08	DX						
	FC74S08/FC3508	ND			FC74H08/FC9H08	DX			FC74LS08/FCW308	ND			FC7408/FC9H08	DX						
MOTOROLA					MC3001	LC							MC7408							
					MC3001	L	P	F	SN74LS08	P			MC7408							
N.S.C.					DM54H08	J	D		DM54LS08	P			DM5408	J	D	W			DM54L08	
					DM74H08	J	D		DM74LS08	P			DM7408	J	D	W			DM74L08	
PHILIPS	N74S08				N74H08				N74LS08				N7408							
					S54H08	F	D	A	W				S5408	F	D	A	W			
SIGNETICS	N74S08	A			N74H08	F	D	A	W				N7408	F	D	A	W			
SIEMENS													FLH381							
FUJITSU									74LS08	M										
HITACHI									HD74LS08	P			HD7408/HD2550	D						
MITSUBISHI									M74LS08	P			M53208	P						
NEC									74LS08	C			μPB234	DX						
TOSHIBA													TD3408	P						

Electrical Characteristics SN54LS08/SN74LS08

absolute maximum ratings over operating free-air temperature range

Supply voltage, VCC	7V	Operating free-air temperature range	SN54LS08	-55°C to 125°C
Input voltage	7V		SN74LS08	0°C to 70°C
Intermittent voltage	5.5V	Storage temperature range		-65°C to 150°C

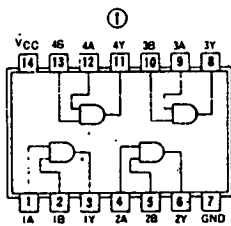
recommended operating conditions

	SN54LS08			SN74LS08			UNIT
	TYP	NOM	MAX	MIN	TYP	MAX	
Supply voltage VCC	4.5	5	5.5	4.75	5	5.25	V
High-level output current IOH			-800			-800	μA
Low-level output current IOL			4			8	mA
Operating free-air temperature TA	-55		125	0		70	°C

electrical characteristics over recommended operating free-air temperature range

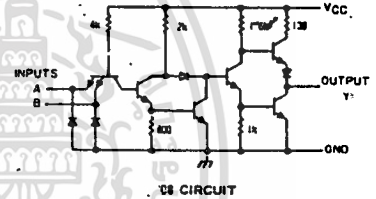
PARAMETER	TEST CONDITIONS †	MIN	TYP ‡	MAX	UNIT	
V _{IH}	High-level input voltage		2		V	
V _{IL}	Low-level input voltage			0.8	V	
V _I	Input clamp voltage	V _{CC} = MIN, I _I = -18 mA		-1.5	V	
V _{OH}	High-level output voltage	V _{CC} = MIN, I _{OH} = MAX, V _{IH} = 2V	2.7	3.4	V	
V _{OL}	Low-level output voltage	V _{CC} = MIN, V _{IH} = 2V, I _{OL} = 4mA	0.2	0.4	V	
I _I	Input current at maximum input voltage	V _{CC} = MAX, V _I = 7V		0.1	mA	
I _{IH}	High-level input current	V _{CC} = MAX, V _{IH} = 2.7V		20	μA	
I _{IL}	Low-level input current	V _{CC} = MAX, V _{IL} = 0.4V		-0.4	mA	
I _{OS}	Short circuit output current †	V _{CC} = MAX	54LS Family	-20	mA	
			74LS Family	-20	mA	
I _{CC}	Supply current	V _{CC} = MAX	Total, outputs high	2.4	4.8	mA
			Total, outputs low	4.4	6.8	mA
I _{CC}	Supply current	V _{CC} = 5V	Average per gate (50% duty cycle)	0.85		mA
t _{PLH}	Propagation delay time, low-to-high-level output	V _{CC} = 5V, T _A = 25°C, C _L = 15pF, R _L = 2kΩ		8	15	ns
t _{PHL}	Propagation delay time, high-to-low-level output			10	20	ns

Pin Assignment (Top View)

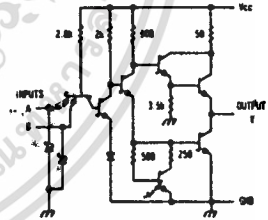


positive logic:
Y = AB

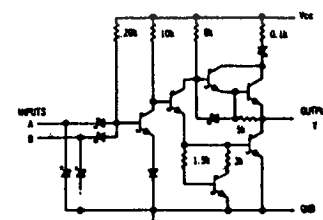
Schematics (each gate)



5408 CIRCUIT



7408 CIRCUIT



7408 CIRCUIT

Resistor values shown are nominal and in ohms.

† For conditions shown as MIN or MAX, use the appropriate values specified under recommended operating conditions.
‡ All typical values are at V_{CC} = 5V, T_A = 25°C.
• Not more than one output should be shorted at a time, and for SN54S/74S, duration of output short circuit should not exceed one second.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5430 / 7490 Decade Counter

	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	CF	C	P	M	CF	C	P	M	CF	C	P	M	CF	C	P	M	CF	
T.I.									SN54LS90	J	N	W	SN5490A	J	N	W	SN54LS90A	J	N	W	
FAIRCHILD									SN74LS90	J	N	W	SN7490A	J	N	W	SN74LS90A	J	N	W	
MOTOROLA									74LS90	J	N	W	74LS90	J	N	W					
N. S. C.									DM54LS90	J	N	W	DM5490	J	N	W	DM54LS90	J	N	W	
PHILIPS									74LS90	J	N	W	74LS90	J	N	W					
SIGNETICS									74LS90	J	N	W	74LS90	J	N	W					
SIEMENS									74LS90	J	N	W	74LS90	J	N	W					
FUJITSU									74LS90	J	N	W	74LS90	J	N	W					
HITACHI									HD74LS90	J	N	W	HD7490A HD2519	J	N	W					
mitsubishi									74LS90	J	N	W	M53290	J	N	W					
NEC									74LS90	J	N	W	uPB219	J	N	W					
TOSHIBA									74LS90	J	N	W	TC3490A	J	N	W					

Electrical Characteristics SN54LS/SN74LS90A

absolute maximum ratings over operating free-air temperature range

Supply voltage, V _{CC}	7V	Operating free-air temperature range	SN54LS -55°C to 125°C
Input voltage	7V	SN74LS 0°C to 70°C	
Intermitter voltage (see Note 1)	5.5V	Storage temperature range	-65°C to 150°C

recommended operating conditions

	SN54LS90A			SN74LS90A			UNIT
	MIN	NOM	MAX	MIN	NOM	MAX	
Supply voltage, V _{CC}	4.5	5	5.5	4.75	5	5.25	V
High-level output current, I _{OH}			-400			-400	μA
Low-level output current, I _{OL}			4			8	mA
Count frequency, f _{count}	A input	0	32	0	32		MHz
	B input	0	16	0	16		
Pulse width, t _w	A input	15	15	15			ns
	B input	30	30	30			
Reset inputs	12	15					ns
Reset inactive-state setup, t _{setup}	25	25					ns
Operating free-air temperature, T _A	-55	125	0	70			°C

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} =MIN, I _I =-18mA		-1.5	V	
V _{OH}	High-level output voltage	V _{CC} =MIN, V _{IH} =2V, V _{IL} =0.8V, I _{OH} =-400μA	2.7	3.4	V	
V _{OL}	Low-level output voltage	V _{CC} =MIN, V _{IH} =2V, V _{IL} =0.8V, I _{OL} =8mA		0.35	0.5	V
I _I	Input current	Any reset	V _{CC} =MAX, V _I =7V		0.1	
	maximum input voltage	A input	V _{CC} =MAX, V _I =5.5V		0.2	
I _{IH}	High-level input current	Any reset	V _{CC} =MAX, V _I =2.7V		20	
	A input	V _{CC} =MAX, V _I =2.7V		40		
I _{IL}	Low-level input current	Any reset	V _{CC} =MAX, V _I =0.4V		-0.4	
	A input	V _{CC} =MAX, V _I =0.4V		-2.4		
I _{OS}	Short-circuit output current*	V _{CC} =MAX	SN54LS -20	-100	mA	
I _{CC}	Supply current	V _{CC} =MAX. See Note 2	SN74LS -20	-100	mA	
f _{max}	from A to output Q _A		32	42	MHz	
	from B to output Q _B		16			
I _{PLM}	from A to output Q _A		10	16	ns	
I _{PHL}	from A to output Q _D		12	18		
I _{PLH}	from A to output Q _D		32	48		
I _{PHL}	from B to output Q _B		34	50		
I _{PLH}	from B to output Q _C		10	16	ns	
I _{PHL}	from B to output Q _C		14	21		
I _{PLH}	from B to output Q _D		21	32		
I _{PHL}	from B to output Q _D		23	35		
I _{PLH}	from B to output Q _D		23	35	ns	
I _{PHL}	from Set-to-0 to Any output		26	40		
I _{PLH}	from Set-to-0 to output Q _A , Q _D		20	30	ns	
I _{PHL}	from Set-to-0 to output Q _B , Q _C		26	40		

† V_{CC}=5V, T_A=25°C, C_L=15pF, R_L=2kΩ

Pin Assignment (Top View)

NC-No internal connection

Function Table

COUNT	OUTPUT				COUNT	OUTPUT				RESET-COUNT							
	Q _D	Q _C	Q _B	Q _A		Q _D	Q _C	Q _B	Q _A	R ₀₁	R ₀₂	A ₁₁	R ₀₁	R ₀₂	Q _D	Q _C	Q _B
0	L	L	L	L	0	L	L	L	L	H	H	L	L	L	L	L	L
1	L	L	L	L	1	L	L	L	L	H	H	L	L	L	L	L	L
2	L	L	L	L	2	L	L	L	L	H	H	L	L	L	L	L	L
3	L	L	L	L	3	L	L	L	L	H	H	L	L	L	L	L	L
4	L	L	L	L	4	L	L	L	L	H	H	L	L	L	L	L	L
5	L	L	L	L	5	H	L	L	L	H	H	L	L	L	L	L	L
6	L	L	L	L	6	H	L	L	L	H	H	L	L	L	L	L	L
7	L	L	L	L	7	H	L	L	L	H	H	L	L	L	L	L	L
8	H	L	L	L	8	H	L	L	L	H	H	L	L	L	L	L	L
9	H	L	L	L	9	H	L	L	L	H	H	L	L	L	L	L	L

Functional Block Diagram

*SN54LS90, SN74LS90 DECADE COUNTER

- NOTES:
- This is the voltage between two emitters of a multiple-emitter transistor. For the output, the rating applies between the two R₀ inputs, and it also applies between the two R₀ inputs.
 - I_{CC} is measured with all outputs open, both R₀ inputs grounded following momentary connection to 4.5 V, and all other inputs grounded.
 - Output Q_A is connected to input B for BCD count. Output Q_D is connected to input A for binary count. H=high level, L=low level, X=irrelevant.
 - The J and K inputs shown without connection are for reference only and are functionally at a high level.
- † For conditions shown as MIN or MAX, use the appropriate value specified under recommended operating conditions for the applicable type.
 ‡ All typical values are at V_{CC}=5V, T_A=25°C.
 § Not more than one output should be shorted at a time.
 ¶ Q_A outputs are tested at I_{OL}=16mA plus the limit value for I_I for the B input. The inputs driving the B input while maintaining full fan-out capability.
 * f_{max}=maximum count frequency.
 † t_{PLH}=propagation delay time, low to high-level output
 ‡ t_{PHL}=propagation delay time, high-to-low-level output

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าการณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้